



Graz University of Technology

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf Richtlinien der Straßeninfrastruktur

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Michael Wimmesberger

bei

Univ. Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, am 01. Juni 2018

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 01.10.2011
Genehmigung des Senats am 28.02.2011

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, _____

Dipl.-Ing. Michael Wimmesberger

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, _____

Dipl.-Ing. Michael Wimmesberger

Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung und gute Zusammenarbeit universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf und Herrn Dipl.-Ing. Stefan Flucher.

Weiters danke ich Herrn Fellendorf, dass er mir die Mitarbeit im Arbeitsausschuss „Automatisiertes Fahren“ der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr ermöglichte und mir dadurch erste Einblicke in die normative Umsetzung aktueller Forschung gewährte. In diesem Zug bedanke ich mich ebenso bei den Mitgliedern des Arbeitsausschusses für ihre Unterstützung und Wertschätzung meiner Arbeit.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte. Hervorzuheben sind hier die zahlreichen Rechtschreibkorrekturen meiner Mutter. Danke für die jahrelange und zeitintensive Unterstützung!

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Michael Wimmesberger, BSc.

Graz, 23.08.2017

Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf Richtlinien der Straßeninfrastruktur

Problemstellung

Die Entwicklung der Geschwindigkeitsregelanlage (Tempomat) vor mehr als 50 Jahren, basierend auf relativ einfacher Mess- und Regelungstechnik, stellte den Beginn der Entwicklung von Fahrassistenzsystemen dar. In den 70er Jahren wurden die ersten ABS Systeme vorgestellt und Mitte der 90er kamen die ersten ESP-Systeme zum Einsatz. Mit dem Voranschreiten der Sensortechnik gelangen der Fahrzeugindustrie neue Durchbrüche in der Automatisierung von Fahrzeugen. Vor etwa 20 Jahren wurden die ersten aktiv eingreifenden und in Serie verbauten Bremsassistenten vorgestellt, vor weniger als 10 Jahren die ersten aktiven Fahrspur- und Einparkassistenten. Seit diesen Entwicklungen schreitet die Automatisierung von Fahrzeugen stetig voran. Automatisierte, selbstfahrende Fahrzeuge sind damit nicht länger nur Fiktion, sondern werden uns tatsächlich bald den Alltag erleichtern.

Trotz der zu erwartenden Vorteile der automatisierten Fahrzeugtechnologie, wird diese auch neue Probleme und Herausforderungen mit sich bringen. Die bestehende Straßeninfrastruktur ist auf die menschliche Interpretationsfähigkeit und das dadurch resultierende Verkehrsverhalten abgestimmt. Komplexe und nicht eindeutige straßenbauliche Gegebenheiten können aufgrund Erfahrung und logischem Denken von Menschen sicher bewerkstelligt werden. Übernimmt zukünftig Fahrzeugsensorik die Umfeldwahrnehmung, muss eine eindeutige Interpretation der Situation mittels Steuerungssoftware möglich sein – Widersprüche müssen vermieden werden. Derzeit wird diskutiert, ob die bestehende Straßeninfrastruktur Anpassungen erfordert um unsichere Verkehrssituationen durch automatisiert fahrende Fahrzeuge zu vermeiden. Beispielsweise stellen Baustellenbereiche auf Autobahnen komplexe und unübersichtliche Verkehrssituationen dar, die bereits heute einige Fahrzeuglenker vor schwierige Interpretationsaufgaben im Bezug auf die Verkehrsführung stellen.

Es ist zu prüfen, ob mit voranschreitender Automatisierung der Fahrzeuge die Anforderungen an die Infrastruktur steigen und straßenbauliche Richtlinien diesbezüglich anzupassen sind. Um weiterhin eine funktionsfähige Infrastruktur bereitstellen zu können, die die Verkehrssicherheit unter Umständen sogar verbessert, ist die Kompatibilität von Richtlinien für automatisiert gesteuerte Fahrzeuge bezüglich Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen und Straßenverkehrszeichen zu überprüfen. Trassierungsvorschriften müssen den bestehenden Möglichkeiten der Sensortechnik angepasst, die Grenzen der Steuerungssysteme ausgelotet und deren Einsatzbereich rechtlich festgelegt werden.

Zukünftig wird es notwendig sein, die Zusammenarbeit zwischen der Fahrzeugindustrie und den Infrastrukturbetreibern zu intensivieren. Es ist zu erwarten, dass die Grenzen zwischen der Fahrzeugsteuerung und der Infrastruktur immer mehr verschmelzen.

Aufgabenstellung

In dieser Masterarbeit soll die Relevanz bestehender österreichischer Straßenbaurichtlinien (RVS) auf automatisiertes Fahren geprüft werden. Dabei sollen im Detail die Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen und Anforderungen an die Trassierung bearbeitet werden. Des Weiteren sollen Anforderungen an Ingenieurbauwerke der Straßeninfrastruktur, im Speziellen die Anforderungen an Tunnelgestaltung, untersucht werden. Es soll geklärt werden, welche Straßeninfrastruktur benötigt wird, um einen reibungslosen Ablauf des Verkehrs mittels automatisierter Fahrzeuge gewährleisten zu können. Der Änderungsbedarf einzelner RVS soll aufgezeigt und die Grenzen von automatisiertem Fahrbetrieb erarbeitet werden.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- Prüfen relevanter Richtlinien im Hinblick auf den Einsatz von CAV. Betrachtung der Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen, Trassierung und Ingenieurbauwerke
- Literaturrecherche zu Sensorik, Aktorik und Fahrdynamik von CAV, Verwendung von HD-Karten und Grundlagen der Datenübertragung von CV.
- Experteninterviews mit Herstellern von CAV (OEM und Zulieferern) bezüglich der Schnittstelle „Straßeninfrastruktur und Fahrzeug“.
- Analyse von Straßeninfrastrukturelementen und technischer Möglichkeiten der CAV – Ausarbeiten möglicher Problempunkte der Schnittstellen.
- Ergänzungsbedarf bestehender Richtlinien der Straßeninfrastruktur definieren.

Die Arbeit erfolgt in enger Abstimmung mit dem Arbeitsausschuss „Automatisiertes Fahren“ der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV, Arbeitsausschuss GV11).

Für die Anfertigung der Masterarbeit stehen Unterlagen des erwähnten Arbeitsausschusses und der Technischen Universität Graz zur Verfügung. Der Diplomand verpflichtet sich, die bereitgestellten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu nutzen und bei der Aufbereitung und Analyse der zur Verwendung gestellten Unterlagen Datenschutzrichtlinien einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Masterarbeitstext, Präsentationen sowie allen Modelldaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf
Tel. 0316 873 - 6220
martin.fellendorf@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Betreuer

Dipl.-Ing. Stefan Flucher
Tel. 0316 873 - 6227
stefan.flucher@tugraz.at
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
TU Graz
Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Die Entwicklung seitens der Automobilindustrie schreitet in großen Schritten voran. Automatisiertes Fahren könnte schon in naher Zukunft, zumindest auf einigen Straßenabschnitten und unter bestimmten Bedingungen, möglich werden. Durch den Einsatz automatisierter Fahrzeuge könnten völlig neue Mobilitätskonzepte entstehen und zudem die allgemeine Sicherheit im Straßenverkehr steigen. Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge könnte einen Beitrag leisten, den wachsenden Anforderungen an das Mobilitätsnetzwerk, wie steigende Effizienz, Ressourcen Minimierung sowie ständige Verfügbarkeit gerecht zu werden.

Neben zahlreichen Vorteilen, die der Einsatz automatisierter Fahrzeuge durch Übertrag der Fahrzeugsteuerung an ein maschinelles System mit sich bringt, ist jedoch auch mit neuen Herausforderungen zu rechnen. Werden Fahrzeuge nicht mehr manuell sondern maschinell gesteuert, ist zu erwarten, dass sich Anforderungen speziell an die Straßeninfrastruktur verändern.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese Anforderungen an die Einrichtungen der Straßeninfrastruktur zu erfassen und notwendigen Änderungsbedarf österreichischer straßenbaulicher Richtlinien (RVS) aufzuzeigen.

Durch Prüfung der RVS wird die Relevanz einzelner Richtlinien im Hinblick auf die Nutzung automatisierter Fahrzeuge ermittelt. Dabei werden im Detail die Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen und Anforderungen an die Trassierung analysiert. Des Weiteren werden Anforderungen an Ingenieurbauwerke der Straßeninfrastruktur, im Speziellen an die Tunnelgestaltung, untersucht. Anhand einer umfangreichen Literaturrecherche der Themenbereiche Sensorik, Aktorik, Fahrdynamik und Kommunikationstechnologien automatisierter Fahrzeuge, sowie zum Aufbau digitaler Infrastruktur (hochgenaue und aktuelle digitale Karten), werden zukünftige Ausführungs- und Gestaltungsansätze infrastruktureller Einrichtungen erarbeitet. Zusätzlich werden persönlich Interviews mit Experten des Bereiches Forschung und Entwicklung von automatisierten Fahrsystemen geführt, um die Erkenntnisse inhaltlich abzusichern. Abschließend werden Empfehlungen zur Anpassung und Ergänzung bestehender Richtlinien basierend auf den Ergebnissen der Experteninterviews angeführt.

Diese Arbeit wurde in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem Arbeitsausschuss „Automatisiertes Fahren“ der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV, Arbeitsausschuss GV11) erstellt.

Abstract

Developments in the auto industry are progressing rapidly. At least on some stretches of the road and under certain conditions automated driving may be possible in the near future. The use of 'self-driving' vehicles will increase access to mobility and overall road safety. Automated vehicles may lessen the demand on transportation networks and minimize the demand on resources.

While the use of automated vehicles brings numerous advantages by transferring the vehicle control to a mechanical system, we must also expect new challenges. If vehicles are no longer controlled by human drivers but by computer chips and software, we must expect that requirements will change, especially in road infrastructure.

The goal of this paper is to record the requirements of automated systems related to road infrastructure facilities and to highlight the needed changes in Austrian road construction guidelines (RVS).

Examining the RVS will determine the relevance of individual policies for the use of automated vehicles. Topics such as road markings, guidance systems, traffic signs and routing requirements are analyzed in detail. Furthermore, requirements for road infrastructure engineering, in particular tunnel designs, are investigated.

Based on comprehensive research of relevant literature in the areas of sensor, actuator and communication technologies of automated vehicles and the construction of a digital infrastructure (highly accurate and up-to-date digital maps), future implementation and design approaches of infrastructure facilities are developed. Personally conducted interviews with experts in research and development of automated driving systems also contributed to these findings. Finally, recommendations for adapting and supplementing existing guidelines based on these expert interviews are provided.

The work for this paper was performed in close cooperation with the Working Committee "Automated Driving" of the Austrian Research Association Road, Rail, Transport (FSV, Working Committee GV11).

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	v
Abkürzungen.....	vi
Begriffsbestimmungen.....	viii
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	2
1.2 Aufbau.....	2
2 Vorschreitende Automatisierung im Individualverkehr.....	4
2.1 Was ist Automatisierung?.....	4
2.2 Stufen der Automatisierung.....	4
2.2.1 Stufe 0.....	6
2.2.2 Stufe 1.....	6
2.2.3 Stufe 2.....	7
2.2.4 Stufe 3.....	7
2.2.5 Stufe 4.....	7
2.2.6 Stufe 5.....	7
2.3 Zeitliche Entwicklung.....	8
2.4 Allgemeine Auswirkungen durch automatisiertes Fahren.....	10
2.4.1 Sicherheitseffekte.....	10
2.4.2 Umwelt- und Kapazitätsauswirkungen.....	13
2.4.3 Auswirkung auf den ÖV.....	15
2.5 Rechtliche Situation.....	15
2.5.1 Zulassung von automatisierten Fahrzeugen.....	15
2.5.2 Haftung, Datenspeicher, Fahrausbildung.....	17
2.6 Reaktion verschiedener Länder.....	18
2.6.1 USA.....	18
2.6.2 Japan.....	18
2.6.3 Australien.....	19
2.6.4 Großbritannien.....	19
2.6.5 Schweden.....	20
2.6.6 Deutschland.....	20
2.6.7 Österreich.....	21
3 Technische Grundlagen von automatisierten Fahrzeugen.....	22

3.1	Sensorik	23
3.1.1	Ultraschall.....	24
3.1.2	Radar	25
3.1.3	Lidar.....	27
3.1.4	Kamerasensorik.....	29
3.1.5	Zusammenfassung und Ausblick der Sensorik	31
3.2	Aktorik	32
3.2.1	Beschleunigungsregelung	33
3.2.2	Bremssysteme	33
3.2.3	Lenksysteme.....	34
3.2.4	Getriebe	35
3.2.5	Zusammenfassung und Ausblick der Aktorik	35
3.3	Fahrdynamik von automatisierten Fahrzeugen	35
3.4	Verwendung digitaler Karten	37
3.4.1	Bestehende Ortungstechniken.....	38
3.4.2	Multilateration	38
3.4.3	Zusammenfassung und Ausblick der Verwendung digitaler Karten	39
3.5	Datenübertragung von automatisierten Fahrzeugen.....	39
3.5.1	Car2Backend.....	40
3.5.2	Car2Infrastructure.....	41
3.5.3	Car2Car.....	41
3.5.4	Übertragungsstandards.....	42
3.5.5	Zusammenfassung und Ausblick der Datenübertragung.....	42
3.6	Zusammenfassung und Ausblick der technischen Grundlagen automatisierter Fahrzeuge	43
4	Prüfen relevanter Richtlinien im Hinblick auf den Einsatz automatisierter Fahrzeuge	45
4.1	Untersuchte RVS.....	45
4.2	Leiteinrichtungen.....	52
4.2.1	Bodenmarkierungen.....	52
4.2.2	Straßenverkehrszeichen.....	53
4.2.3	Leitpföcke, Rückhaltesysteme und Schneestangen	55
4.2.4	Lichtsignalanlagen.....	56
4.2.5	Digitale Leiteinrichtungen	57
4.3	Trassierung	58
4.3.1	Bauliche Trassierung	58
4.3.2	Fahrgeschwindigkeiten	64
4.3.3	Kategorisierung von Straßen.....	65
4.3.4	Oberbaubemessung.....	66
4.4	Ingenieurbauwerke	67

4.4.1	Brücken	67
4.4.2	Tunnel.....	67
4.5	Baustellenbereich	69
4.6	Straßenerhaltung.....	70
4.7	Zusammenfassung der Richtlinienüberprüfung	72
5	Schnittstellenerhebung – „Straßeninfrastruktur und Fahrzeug“	74
5.1	Hintergrund der Befragung	74
5.2	Anlage der Befragung	74
5.3	Interview-Leitfaden	74
5.4	Experteninterviews.....	76
5.4.1	Interview – BMW Group	76
5.4.2	Interview – Magna Steyr	80
5.4.3	Interview – TU-Darmstadt.....	83
5.4.4	Interview – Arndt-IDC.....	86
5.4.5	Interview – Audi AG	89
5.4.6	Interview – Volkswagen AG	92
6	Analyse von Straßeninfrastrukturelementen und technischer Möglichkeiten automatisierter Fahrzeuge – Ausarbeiten möglicher Problempunkte der Schnittstellen	95
6.1	Leiteinrichtungen.....	95
6.2	Trassierung	96
6.3	Ingenieurbauwerke	99
6.4	Baustellenbereich	99
6.5	Straßenerhaltung.....	100
6.6	Spezielle Einrichtungen für automatisiertes Fahren	101
6.7	Digitale Infrastruktur	102
7	Handlungsansätze und Empfehlungen für Infrastrukturbetreiber und Richtliniengestaltung ...	104
8	Resümee und Ausblick.....	110
	Literaturverzeichnis.....	112
	Anhang	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Automatisierungsgrade – VDA	5
Abbildung 2:	Automatisierungsgrade – SAE	6
Abbildung 3:	Einführung automatisierter Fahr- und Parkfunktionen.....	9
Abbildung 4:	Eigenschaften der Sensorsysteme.....	32
Abbildung 5:	Bewertung der technischen Reife und des Innovationspotentials von Technologien des automatisierten Fahrens	44
Abbildung 6:	Beleuchtungsstärken von VZ verschiedener Standorte	54
Abbildung 7:	Übersicht zur Instandhaltung von VLSA gemäß ÖNORM V 2030	57
Abbildung 8:	Eingangsparameter für Sehpunkt und Zielpunkt zur Ermittlung der erforderlichen Sichtweite	59
Abbildung 9:	Erforderliche Sichtweiten in [m].....	59
Abbildung 10:	Skizze zur Sichtweitenberechnung in Kreisbogenradien	61
Abbildung 11:	Kreisbogenradien in Abhängigkeit der räumlich-verkehrlichen Straßenklassifizierung	62
Abbildung 12:	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Freilandsstraßen	64
Abbildung 13:	Beispiel für eine Kategorisierung von Straßen	66
Abbildung 14:	Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite b_f	66
Abbildung 15:	Schematischer Verlauf der Leuchtdichte.....	68
Abbildung 16:	Ausführung von Verkehrszeichenträger bei drei Fahrstreifen	69
Abbildung 17:	Gefahrenzeichen - Baustelle.....	70
Abbildung 18:	Kontrollhäufigkeit auf Landesstraßen	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklungszeiträume Fahrzeugtechnologien.....	9
Tabelle 2:	Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik	23
Tabelle 3:	Vor- und Nachteile von Ultraschallsensoren	25
Tabelle 4:	Vor- und Nachteile von Radarsensoren.....	26
Tabelle 5:	Vor- und Nachteile von Lidar-Sensoren.....	28
Tabelle 6:	Vor- und Nachteile von Kamerasensoren.....	30
Tabelle 7:	Gegenüberstellung der Anhaltewege von manuell- und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen	37
Tabelle 8:	Gegenüberstellung berechneter Sichtweiten in Kreisbogenradien mit Anhaltewegen von manuell- und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen	62

Abkürzungen

A und S	Autobahn- und Schnellstraßennetz
ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control (Abstandsregeltempomat)
AF (<i>engl.: AV</i>)	Automatisierte(s)(n) Fahrzeug(e)(n) (<i>engl.: Automated Vehicles</i>)
ASR	Antriebsschlupfregelung
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMVO	Bodenmarkierungsverordnung
BNLW	Bemessungsnormlastwechsel
C2B	Car to Backend
C2C (<i>engl.: V2V</i>)	Car to Car (<i>engl.: Vehicle to Vehicle</i>)
C2I (<i>engl.: V2R</i>)	Car to Infrastructure (<i>engl.: Vehicle to Roadside</i>)
C2X (<i>engl.: V2X</i>)	Car to X (<i>engl.: Vehicle to X</i>)
ca.	Circa
CAV	Connected Automated Vehicles (vernetzte automatisierte Fahrzeuge)
ECE	Economic Commission for Europe
EHB	elektrohydraulische Bremsen
EMB	elektromechanische Bremsen
EN	Europäische Norm
engl.	Englisch
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
etc.	et cetera
ev.	eventuell
F&E	Forschung und Entwicklung
FAS (<i>engl.: ADAS</i>)	Fahrerassistenzsysteme (<i>engl.: Advanced Driver Assistance Systems</i>)
FASI	Fahrstreifensignale
FRS	Fahrzeugrückhaltesystemen
FSG	Führerscheingesezt
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPS	Global Positioning System
ICS	ITS Central Stations
inkl.	inklusive
IRS	ITS Roadside Stations
ITS	Intelligent Transport Systems

IV	Individualverkehr
KFG	Kraftfahrgesetz
lt.	laut
max.	maximal
min.	minimal
NHTSA	National Highway Traffic Administration
ÖNORM	Österreichische Norm
ÖV	öffentlicher Verkehr
PKW	Personenkraftwagen
RSU	Roadside Unit
s (sek)	Sekunde(n)
SAE	Society of Automotive Engineers
StVG	Straßenverkehrsgesetzes
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZVO.	Straßenverkehrszeichenverordnung
UN	United Nations
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
VZ	Verkehrszeichen
WÜ	Wiener Übereinkommen
z.B.	zum Beispiel

Begriffsbestimmungen

Automatisiertes / Autonomes Fahrzeug (AF)

Als Automatisierung von Fahrzeugen wird das Übertragen von Teilen oder der gesamten Längs- und/oder Querführung eines Fahrzeugs vom Menschen auf das Fahrzeug, eventuell in aktiver digitaler Kopplung mit Teilen der Infrastruktur, bezeichnet. Als automatisiert werden somit Fahrzeuge bezeichnet, die die teilweise oder vollständige Längs- und Querführung übernehmen können. Anfänglich wurden derartige Fahrzeuge auch als autonom fahrende Fahrzeuge bezeichnet. Mit Autonomie ist jedoch im deutschsprachigen Raum der Begriff „Selbstbestimmung“ assoziiert. Da jedoch zumindest das Ziel einer Fahrt vom Fahrer oder Passagier festgelegt wird, ist für Fahrzeuge der Begriff „automatisiert“ zutreffender.

Automatisierungsstufe 0 – nicht automatisiert

Bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 0 hat der Fahrer dauerhaft die Längs- und Querführung des Fahrzeugs zu übernehmen. Im Fahrzeug selbst gibt es keine eingreifenden Systeme, eventuell zum Teil warnende Systeme.¹

Automatisierungsstufe 1 – Fahrerassistenz

Bei Automatisierungsstufe 1 hat der Fahrer dauerhaft die Längs- oder Querführung eines Fahrzeugs zu übernehmen, das System übernimmt die jeweils andere Funktion. Der Fahrer muss das System jedoch dauerhaft überwachen und zu jedem Zeitpunkt im Stande sein, dieses zu übernehmen, um die komplette Fahrzeugführung auszuführen.²

Automatisierungsstufe 2 – Teilautomatisiert

Das Assistenzsystem übernimmt die komplette Quer- und Längsführung in spezifischen Anwendungsfällen. Der Fahrer muss die Umgebung und das Fahrzeug dauerhaft überwachen und zu jedem Zeitpunkt in der Lage sein, die Steuerung des Fahrzeugs zu übernehmen.²

Automatisierungsstufe 3 – Bedingte Automatisierung

Ähnlich der Stufe 2 übernimmt das System im spezifischen Anwendungsfall Längs- und Querführung, jedoch muss die Fahrt nicht vom Fahrer überwacht werden. Das System erkennt die Einsatzgrenzen und weist den Fahrer, mit ausreichender Reaktionszeit, auf die Übernahme der Fahraufgabe hin. Der Fahrer muss also zu jeder Zeit im Stande sein, nach Aufforderung das Steuer übernehmen zu können. Alleine ist das System nicht im Stande aus jeder Ausgangssituation einen risikominimalen Zustand herbeizuführen.²

Automatisierungsstufe 4 – Hochautomatisiert

In speziellen Anwendungsfällen ist kein Fahrer erforderlich. Das System erkennt alle Systemgrenzen und fordert bei Verlassen eines Anwendungsfalls den Fahrer mit ausreichend Zeitreserve zur Übernahme der Fahrtätigkeit auf. Wird das Steuer nicht von menschlicher Hand übernommen, dann

¹ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; SAE International 2016

² Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

ist das System in der Lage, aus jeder Ausgangssituation einen risikominimalen Zustand herbeizuführen. Als risikominimaler Zustand ist meist der Stillstand eines Fahrzeugs zu erachten.³

Automatisierungsstufe 5 – Vollautomatisiert

Das System ist im Stande, die Fahraufgabe flächendeckend zu übernehmen. Ein Fahrer und somit Fahrzeugsteuerungseinrichtungen, wie Pedale und ein Lenkrad, sind nicht mehr notwendig. Einrichtungen zur manuellen Steuerung können jedoch auch in einem Level 5-Fahrzeug vorhanden sein.⁴

Car to X, C2X

Der Begriff Car to X fasst im Wesentlichen die drei Kommunikationsschnittstellen automatisierter Fahrzeuge (C2B, C2C, C2I) zusammen.

Car to Backend, C2B

Als Car to Backend-Kommunikation wird die Kommunikationsschnittstelle von AF und einem Backendserver (meist von Fahrzeugherstellern selbst betreiben) bezeichnet. Datenübertragung findet meist über das Mobilfunknetz statt.

Car to Car, C2C

Der Begriff Car to Car bezeichnet die Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeugen. Daten werden meist via W-Lan übertragen.

Car to Infrastructure, C2I

Der Begriff Car to Infrastructure bezeichnet die Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeugen und infrastrukturseitigen kommunikationsfähigen Einrichtungen. Daten werden meist via W-Lan übertragen.

Chance und Risiko

Als Chancen werden in dieser Arbeit positive Abweichungen vom erwarteten Ziel definiert, Risiken sind demnach als negative Zielabweichung anzusehen. Erachtet man beispielsweise die derzeitige Verkehrssituation als Ausgangsszenario, und demnach auch als Minimalanforderung für zukünftige Zielsetzung (die Verkehrssituation soll sich nicht verschlechtern), dann werden alle prognostizierten Szenarien mit positiver Abweichung davon, beispielsweise durch eine Erhöhung der allgemeinen Verkehrssicherheit, als Chance bezeichnet.⁵

Datenschutz

Als Datenschutz wird der Schutz personenbezogener Daten vor unerlaubten Zugriff Dritter verstanden.

³ Vgl. Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

⁴ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; SAE International 2016

⁵ Vgl. Hofstadler und Kummer 2017

Datensicherheit

Als Datensicherheit wird der Schutz von zur Fahrzeugsteuerung notwendigen Daten vor Manipulation bezeichnet.

Fahrerassistenzsysteme (FAS)

Elektrische Systeme, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen und somit eine Steigerung des Komforts oder der Sicherheit im Fahrzeug bewirken.⁶

Fail-safe-Prinzip

Das Fail-safe-Prinzip bedeutet, dass im Falle eines Systemausfalls ein sicherer Systemzustand herbeigeführt wird.

Fail-operational-Prinzip

Fail-operational bedeutet, dass im Falle eines Systemausfalls ein Notbetrieb eingeleitet wird.

Kurvigkeit

Unter Kurvigkeit versteht man die „*Summe der Winkeländerungen der Bezugslinie einer Straße im betrachteten Abschnitt geteilt durch dessen Länge [gon/km]*“.⁷

Mobilität – im verkehrlichen Kontext:

Mobilität ist die Möglichkeit zur Ortsveränderung im Personenverkehr und ermöglicht damit die Teilnahme an Aktivitäten.⁸

Platooning

Unter Platooning, oftmals auch als elektronische Deichsel bezeichnet, versteht man das elektronische Koppeln mehrerer Fahrzeuge zu einem Fahrzeugzug oder Konvoi (Platoon). Mehrere Fahrzeuge fahren in sehr geringem Abstand hintereinander und werden während der Fahrt im Platoon ausschließlich vom vordersten Fahrzeug gesteuert. Hauptsächlich wird derzeit Platooning für den Schwerverkehr angedacht.

Valet Parking

Unter Valet Parking wird fahrerloses, vollautomatisiertes Einparken von Fahrzeugen verstanden. Auf dafür vorgesehenen Flächen wird ein Fahrzeug abgestellt und Passagiere können dieses verlassen (Übergabezonen). Anschließend sucht das Fahrzeug automatisiert einen freien Stellplatz auf und nimmt seine Parkposition ein. Über eine Kommunikationsschnittstelle wird dieses bei Bedarf wieder „gerufen“ und fährt anschließend automatisiert zurück zur Übergabefläche.

⁶ Vgl. Isermann 2017

⁷ FSV August 2012

⁸ Vgl. Fellendorf und Kohla 2015

Winkelauflösung

Die Winkelauflösung gibt bei Punkten gleicher Entfernung zum Sensor an, welchen tangentialen Mindestabstand diese haben müssen, um als zwei unterschiedliche Punkte wahrgenommen zu werden.⁹

⁹ Vgl. Wolff

1 Einleitung

„Startschuss für autonomes Fahren in Österreich“¹⁰ titelt im Juni 2016 das österreichische Nachrichtenformat „Kleine Zeitung“. Auch hierzulande, nach Ländern wie beispielsweise den USA, Großbritannien oder Schweden, halten automatisierte Fahrzeuge¹¹ Einzug in das österreichische Straßennetz. Vorerst ist automatisiertes Fahren im öffentlichen Raum zwar lediglich auf ausgewiesenen Teststrecken mit Einzelgenehmigungen möglich. Mit voranschreitender technischer Weiterentwicklung werden jedoch aller Wahrscheinlichkeiten nach schon in den nächsten Jahren erste teilautomatisierte Serienfahrzeuge auf Österreichs Straßen anzutreffen sein.

Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge könnte helfen, den wachsenden Anforderungen an das Mobilitätsnetzwerk gerecht zu werden. Neben steigendem Mobilitätsbedarf von Menschen und Gütern wachsen zudem die gesellschaftlichen Qualitätsansprüche. Mobilität soll rund um die Uhr gewährleistet und zudem ressourcenschonend, effizient und mit hoher Rücksicht auf klimatische Bedingungen ermöglicht werden. Weltweit können, aufgrund stetiger Urbanisierung und daraus resultierendem (Park-)Platzmangel, politische Initiativen zur Verdrängung des Individualverkehrs in Ballungszentren beobachtet werden. Durch voranschreitende Automatisierung und letztendlich durch die Entwicklung fahrerloser, selbstfahrender Fahrzeuge entsteht die Möglichkeit völlig neuer Mobilitätskonzepte. Die Besitzstruktur von Fahrzeugen könnte sich grundlegend verändern. Autos müssten nicht mehr individuell und für mehrere Jahre angeschafft werden, sondern könnten auf Bestellung für einzelne Fahrten gebucht werden. Die Auslastung der Fahrzeuge könnte enorm erhöht und derzeit benötigte Abstellflächen dementsprechend reduziert werden. Zudem könnten auch Personen, die derzeit aufgrund körperlicher, geistiger, finanzieller oder auch altersbedingter Einschränkungen nicht am Individualverkehr teilnehmen können, von zukünftigen Mobilitätskonzepten und der Automatisierung von Fahrzeugen profitieren.

Auch Fahrzeuge, die noch nicht vollständig selbstfahrend betrieben werden können, bieten Vorteile gegenüber konventionell gesteuerten Fahrzeugen. Muss eine Fahrt nicht ununterbrochen von einem Fahrzeugführer überwacht werden, kann die Fahrzeit für andere Tätigkeiten genutzt und so ein „Zeitgewinn“ erzielt werden. Durch entsprechende Ausstattung könnten beispielweise in einem Fahrzeug Büroarbeiten durchgeführt werden.

Neben den bereits erwähnten Vorteilen und Möglichkeiten, die durch Automatisierung von Fahrzeugen entstehen, wird zudem eine Erhöhung der allgemeinen Sicherheit im Bereich der Straßeninfrastruktur erwartet. Durch den Einsatz entsprechender Sensorik und zusätzlicher Vernetzung der Fahrzeuge untereinander oder mit infrastrukturellen Einrichtungen sollen Unfallzahlen reduziert werden. Neben den Vorteilen von AF für primäre Nutzer resultiert somit ein gesamtgesellschaftlicher Vorteil.

Um automatisiertes Fahren tatsächlich zu ermöglichen, werden nicht nur seitens der Fahrzeugindustrie Entwicklungs- und Innovationsprozesse voranzutreiben sein, auch Infrastrukturbetreiber werden teils neue Gestaltungs- und Ansatzpunkte für die Straßeninfrastruktur verfolgen müssen. Werden Fahrzeuge zukünftig nicht manuell, sondern

¹⁰ Kleine Zeitung 2016

¹¹ In dieser Arbeit wird anstatt des Begriffes „autonom“, der Begriff „automatisiert“ verwendet – Erläuterung der Verwendung ist bei den Begriffsbestimmungen zu finden

maschinell gesteuert, ist zu erwarten, dass sich Anforderungen an die Straßeninfrastruktur verändern werden. Um eine möglichst homogene Anpassung des Straßennetzes zu erreichen, sollten im Vorhinein eindeutige Richtlinien oder zumindest konkrete Leitfaden erarbeitet werden. Weiters sollten, um Straßenabschnitte tatsächlich den Anforderungen zukünftiger automatisierter Fahrzeuge entsprechend auszurüsten und zu gestalten, Vertreter der Automobilindustrie bereits bei der Entwicklung entsprechender Richtlinien miteinbezogen werden.

1.1 Ziel der Arbeit

Wie bereits erwähnt werden, um hochautomatisiertes Fahren mit hoher Ausfallssicherheit zu ermöglichen, Anpassungen der Straßeninfrastruktur erfolgen müssen. Ziel dieser Arbeit ist es, eventuellen Anpassungsbedarf bestehender und für automatisiertes Fahren relevanter österreichischer Straßenbaurichtlinien (RVS) zu erarbeiten. Zudem soll, nach umfangreicher Recherche zu Funktionsweisen automatisierter Fahrzeuge, die Relevanz bestehender RVS auf automatisiertes Fahren geprüft werden. Dabei sollen im Detail die Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen und Anforderungen an die Trassierung bearbeitet werden. Des Weiteren sollen Anforderungen an Ingenieurbauwerke der Straßeninfrastruktur, im Speziellen die Anforderungen an Tunnelgestaltung, untersucht werden. Um zukünftig erforderliche Schnittstellen zwischen Infrastruktur und Fahrzeug zu erfassen, sollen Interviews mit Vertretern der Automobilindustrie geführt werden. Es ist zu klären, welche Straßeninfrastruktur benötigt wird, um einen reibungslosen Ablauf des Straßenverkehrs mittels automatisierter Fahrzeuge gewährleisten zu können. Der Änderungsbedarf einzelner RVS soll aufgezeigt und die Grenzen von automatisiertem Fahrbetrieb erarbeitet werden.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- Prüfen relevanter Richtlinien im Hinblick auf den Einsatz von CAV. Betrachtung der Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen, Trassierung und Ingenieurbauwerke
- Literaturrecherche zu Sensorik, Aktorik und Fahrdynamik von CAV, Verwendung von HD-Karten und Grundlagen der Datenübertragung von CV.
- Experteninterviews mit Herstellern von CAV (OEM und Zulieferern) bezüglich der Schnittstelle „Straßeninfrastruktur und Fahrzeug“
- Analyse von Straßeninfrastrukturelementen und technischer Möglichkeiten der CAV – Ausarbeiten möglicher Problempunkte der Schnittstellen.
- Ergänzungsbedarf bestehender Richtlinien der Straßeninfrastruktur definieren

Die Arbeit erfolgt in enger Abstimmung mit dem Arbeitsausschuss „Automatisiertes Fahren“ der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (FSV, Arbeitsausschuss GV11).

1.2 Aufbau

Zu Beginn der Arbeit werden grundlegende Informationen hinsichtlich der voranschreitenden Automatisierung von Fahrzeugen des Straßenverkehrs angeführt. Es wird die stufenweise internationale Kategorisierung, basierend auf den Fähigkeiten automatisierter Fahrzeuge und der Eingriffsnotwendigkeit eines menschlichen Fahrers in die Fahrzeugsteuerung erläutert, voraussichtliche zeitliche Entwicklung der Automatisierung angeführt und allgemeine Auswirkungen

und Effekte auf die Straßenverkehrssicherheit, Umwelt, Kapazitäten und den öffentlichen Personenverkehr aufgezeigt. Zudem enthält diese Arbeit einen kurzen Abschnitt über die rechtliche Situation der Zulassung und Haftung in Verbindung mit automatisiertem Fahren. Überblicksmäßig werden Reaktionen verschiedener Länder im Umgang mit den zukünftigen Herausforderungen durch voranschreitende Automatisierung angeführt.

Um infrastrukturelle Anforderungen tatsächlich definieren zu können, ist ein gewisses Grundverständnis hinsichtlich der Funktion von AF Voraussetzung. In Kapitel 3 werden deshalb, basierend auf umfangreicher Literaturrecherche, technische Grundlagen von AF erläutert. Dabei werden im Detail die Themenbereiche Sensorik, Aktorik, digitale Infrastruktur und Datenübertragung behandelt.

In Kapitel 4 werden unterschiedliche Straßenbaurichtlinien der Themenbereiche Leiteinrichtungen, Trassierung, Ingenieurbauwerke, Baustellenabsicherung und Straßenerhaltung hinsichtlich ihrer Relevanz auf automatisiertes Fahren untersucht. Eventuell mit den Fähigkeiten von AF inkompatible Abschnitte bestehender RVS werden angeführt. Anschließend werden in Kapitel 5 Interviews mit führenden Experten der Fahrzeugindustrie angeführt. Es wurden insgesamt sechs Interviews mit Vertretern von Fahrzeugherstellern und Entwicklern, Forschungseinrichtungen des Fachgebietes Fahrzeugtechnik und Infrastruktur-Consulting Unternehmen geführt.

Im Anschluss werden, basierend auf den Ergebnissen der geführten Expertenbefragung, mögliche Problem- aber auch Schnittstellen bestehender Straßeninfrastruktur mit den erwarteten technischen Möglichkeiten von zukünftigen AF aufgezeigt. Kapitel 6 ist in die Abschnitte Leiteinrichtungen, Trassierung, Ingenieurbauwerke, Baustellenbereiche, Straßenerhaltung, spezielle Einrichtungen für AF und digitale Infrastruktur unterteilt.

Abschließend werden in Kapitel 7 aufgrund der mit dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen Empfehlungen zu zukünftigen infrastrukturellen Gestaltungsansätze und eventueller Änderungsbedarf bestehender Straßenbaurichtlinien angeführt.

2 Voranschreitende Automatisierung im Individualverkehr

In diesem Kapitel wird zu Beginn der Begriff Automatisierung erläutert, anschließend die Stufen der Automatisierung im Individualverkehr und die zeitliche Entwicklung von AF beschrieben, die Chancen und Risiken, die mit voranschreitender Automatisierung einhergehen, diskutiert und abschließend ein Überblick der rechtlichen Situation und der Reaktion verschiedener Nationen auf die voranschreitende Automatisierung von Fahrzeugen angeführt.

2.1 Was ist Automatisierung?

Um in die Thematik „automatisiertes Fahren“ einzutauchen und diese besser verstehen zu können, wird in diesem Abschnitt versucht, den Begriff „Automatisierung“ zu erläutern. Dazu wird die Definition von „Automatisierung“ des Gabler Wirtschaftslexikons herangezogen.

„Übertragung von Funktionen des Produktionsprozesses, insbesondere Prozesssteuerungs- und -regelungsaufgaben vom Menschen auf künstliche Systeme.“¹²

Diese Definition bezieht sich vorrangig auf die Automatisierung von Herstellungsprozessen im Maschinenbau, kann allerdings sinngemäß auch auf die voranschreitende Automatisierung von Fahrzeugen umgelegt werden. Als Produkt einer Fahrt kann die Ortsverlagerung von Menschen und Gütern angesehen werden. Demnach ist die „Fahrt“, also die Bewegung von Ort A nach Ort B als Produktionsprozess und das Steuern des Fahrzeugs (Längs- und Querführung), das derzeit noch zum größten Teil von Menschen, also vom Fahrer, übernommen wird, als Prozesssteuerungs- und Regelungsaufgabe zu betrachten. An der Stelle des künstlichen Systems steht beim automatisierten Fahren das Fahrzeug selbst, eventuell in Koppelung mit Teilen der Infrastruktur.

Als Automatisierung von Fahrzeugen wird also das Übertragen von Teilen oder der gesamten Längs- und/oder Querführung eines Fahrzeugs vom Menschen auf das Fahrzeug, eventuell in aktiver digitaler Kopplung mit Teilen der Infrastruktur, bezeichnet. Bereits jetzt weitgehend etablierte Systeme wie ABS oder ein Tempomat, sogenannte Fahrerassistenzsysteme (FAS), können als teilweise Automatisierung von Fahrzeugen betrachtet werden, da derartige Systeme in bestimmten Situationen in die Längs- und/oder Querführung eines Fahrzeugs eingreifen. Als Finalisierung der Automatisierung von Fahrzeugen kann das fahrerlose Fahren in allen Verkehrssituationen angesehen werden.

2.2 Stufen der Automatisierung

Um die einzelnen Schritte von nicht AF, also Fahrzeugen, die zur Gänze von Menschen gesteuert werden, bis vollautomatisierten, fahrerlos betriebenen Fahrzeugen darzustellen, existieren international unterschiedliche Kategorisierungsmodelle aus verschiedensten Publikationen. Am häufigsten angeführt werden vor allem jene der Society of Automotive Engineers (SAE), der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der National Highway Traffic Administration (NHTSA). Im Allgemeinen widersprechen sich die angeführten Modelle nicht, jedoch unterscheiden sich die Begriffsverwendungen und Definitionen zum Teil.¹³

Die gängigste Kategorisierung im deutschsprachigen Raum ist das Fünfstufenmodell der BASt. Die einzelnen Stufen repräsentieren die schrittweise Verschiebung der Steuerungstätigkeit von Mensch zu Maschine. Der Verband der Automobilindustrie (VDA) hat, angelehnt an dieses

¹² Voigt 2017

¹³ Vgl. Uhr 2016; Cacilo et al. 2015; SAE International 2016; Gasser et al. 2012; NHTSA National Highway Traffic Safety Administration 2013

Kategorisierungssystem eine übersichtliche Grafik erstellt (siehe Abbildung 1) und das Modell um eine sechste Stufe erweitert. Die sechste Stufe (Stufe 5) unterscheidet sich zur fünften Stufe (Stufe 4) dadurch, dass unter keinen Umständen ein Eingreifen durch einen menschlichen Fahrer vorgesehen ist, Pedale und Lenkrad sind nicht mehr erforderlich.

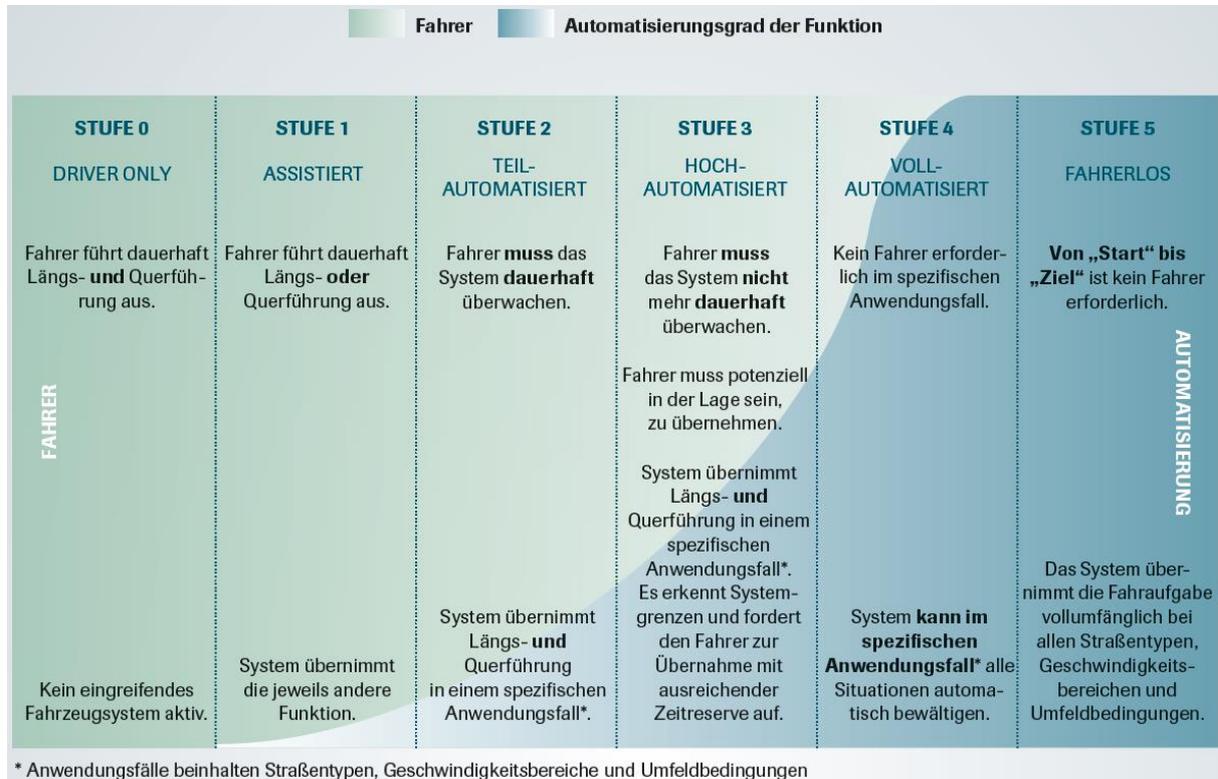


Abbildung 1: Automatisierungsgrade – VDA¹⁴

International wird häufig Bezug auf die Kategorisierungsnorm J3016 der SAE genommen. Diese Kategorisierung unterscheidet sich lediglich hinsichtlich der Namensgebung der einzelnen Levels (ab Level 3) zum Kategorisierungsmodell des VDA. Level 3 wird nach SAE als „Conditional Automation“ – „bedingte Automatisierung“ bezeichnet. Der VDA verwendet für das Automatisierungslevel 3 bereits den Begriff „Hochautomatisiert“. Als „High Automation“ – „Hohe Automatisierung“ wird laut SAE erst Level 4 bezeichnet. Für Level 4 verwendet der VDA bereits den Begriff „Vollautomatisiert“. Jedoch kann das System nur im speziellen Anwendungsfall die komplette Steuerung eines Fahrzeugs übernehmen. Aus diesem Grund wird nach der Kategorisierung der SAE erst das Level 5 als „Full Automation“ – „Volle Automatisierung“ bezeichnet. AF der Automatisierungsstufe 5 können unter allen Bedingungen ohne Eingriff eines menschlichen Fahrers fungieren. Aus diesem Grund verwendet der VDA für diese Stufe den Titel „Fahrerlos“. Es ist jedoch nicht zwingend notwendig, dass Fahrzeuge der Stufe 5 tatsächlich keinen Fahrer zulassen. Somit könnte die Begriffsbestimmung fälschlich interpretiert werden. In Abbildung 2 ist das Kategorisierungsmodell der SAE angeführt.

¹⁴ VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015, S. 15

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Abbildung 2: Automatisierungsgrade – SAE¹⁵

Im Folgenden werden die in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellten Stufen näher beschrieben. Eine Beschreibung der einzelnen Stufen in gekürzter Form ist bei den Begriffsbestimmungen dieser Arbeit zu finden.

2.2.1 Stufe 0

Bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 0 hat der Fahrer dauerhaft die Längs- und Querführung des Fahrzeugs zu übernehmen. Im Fahrzeug selbst gibt es keine eingreifenden Systeme, unter Umständen jedoch warnende Systeme.¹⁶

Automobile, die lediglich mit FAS wie beispielsweise ABS und Tempomat ausgestattet sind, Systeme, die unter Umständen aktiv in die Fahrzeugsteuerung eingreifen, sind nach der Auffassung des Verfassers als Fahrzeuge der Stufe 0 einzustufen. Derartige Systeme übernehmen die Längs- und/oder Querführung eines Fahrzeugs nicht zur Gänze, sondern unterstützen den Fahrer nur bei der Ausführung dieser Tätigkeit.

2.2.2 Stufe 1

Bei Automatisierungsstufe 1 hat der Fahrer dauerhaft die Längs- oder Querführung eines Fahrzeugs zu übernehmen, das System übernimmt die jeweils andere Funktion. Der Fahrer muss das System jedoch dauerhaft überwachen und zu jedem Zeitpunkt im Stande sein, dieses zu übernehmen, um die komplette Fahrzeugführung auszuführen.¹⁷

¹⁵ SAE International 2016

¹⁶ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; SAE International 2016

¹⁷ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

Beispielhaft können an dieser Stelle Systeme wie Adaptive Cruise Control (ACC) oder Parkassistenten genannt werden. Bei Ausstattung mit ACC übernimmt das Fahrzeug die Längsführung adaptiver Geschwindigkeits- und Abstandsregelung. Mit Parkassistenten ausgestattete Fahrzeuge können die Querführung (das Lenken) beim Einparken übernehmen, der Fahrer übernimmt durch Betätigen von Gas und Bremse die Längsführung des Fahrzeugs.¹⁸

2.2.3 Stufe 2

Ab der Automatisierungsstufe 2 spricht man bei den Automatisierungsgraden der BAST und des VDA von teilAF. Auch die SAE bezeichnet Level 2 als teilautomatisiert – „Partial Automation“. Das Assistenzsystem übernimmt die komplette Quer- und Längsführung im spezifischen Anwendungsfall. Der Fahrer muss die Umgebung und das Fahrzeug dauerhaft überwachen und zu jedem Zeitpunkt in der Lage sein, die Steuerung des Fahrzeugs zu übernehmen.¹⁹

Vereinzelt sind Fahrzeuge dieser Automatisierungsstufe bereits in Serie erhältlich. Als spezifischer Anwendungsfall kann hier das Fahren im übergeordneten Autobahn- und Schnellstraßennetz (A und S) mit Autobahn- oder Stauassistenten genannt werden.

2.2.4 Stufe 3

Fahrzeuge der Stufe 3 werden laut VDA als hochautomatisiert bezeichnet. In der Kategorisierung der SAE wird für Level 3 der Begriff „Conditional Automation“ – „bedingte Automatisierung“ eingeführt. Wie bei Stufe 2 übernimmt das System im spezifischen Anwendungsfall Längs- und Querführung, jedoch muss die Fahrt nicht vom Fahrer überwacht werden. Das System erkennt die Einsatzgrenzen und weist den Fahrer mit ausreichender Reaktionszeit auf die Übernahme der Fahraufgabe hin. Der Fahrer muss also zu jeder Zeit im Stande sein, nach Aufforderung das Steuer übernehmen zu können. Alleine ist das System nicht im Stande aus jeder Ausgangssituation einen risikominimalen Zustand herbeizuführen.¹⁹

Da eine Fahrt unter Umständen nicht dauerhaft vom Fahrer überwacht werden muss, kann dieser während der automatisierten Fahrt andere Tätigkeiten im Fahrzeug ausüben.

2.2.5 Stufe 4

Bei der Kategorisierung der BAST ist diese Stufe der Automatisierung die letzte und wird als vollautomatisiert bezeichnet. Die SAE bezeichnet Level 4 als „High Automation“ – „Hohe Automatisierung“. Im speziellen Anwendungsfall ist kein Fahrer erforderlich. Das System erkennt alle Systemgrenzen und fordert bei Verlassen eines Anwendungsfalls den Fahrer mit ausreichend Zeitreserve auf die Übernahme der Fahrtätigkeit zu übernehmen. Wird das Steuer nicht von menschlicher Hand übernommen, dann ist das System in der Lage, aus jeder Ausgangssituation einen risikominimalen Zustand herbeizuführen. Als risikominimaler Zustand ist meist der Stillstand eines Fahrzeugs zu erachten.²⁰

2.2.6 Stufe 5

Die Stufe 5 der Automatisierung ist bei der Kategorisierung des BAST nicht mehr zu finden. Die Einteilung des VDA enthält zur Vollautomatisierung von Fahrzeugen eine Steigerungsform. Als 5. Stufe wird das fahrerlose Fahren bezeichnet. Das System ist im Stande, die Fahraufgabe flächendeckend zu

¹⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

¹⁹ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

²⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015; SAE International 2016

übernehmen, ein Fahrer und somit Fahrzeugsteuerungseinrichtungen wie Pedale und ein Lenkrad, sind nicht mehr notwendig. Einrichtungen zur manuellen Steuerung können jedoch auch in einem Level 5-Fahrzeug vorhanden sein. Demnach ist die Bezeichnung „Fahrerlos“ nicht vollkommen korrekt. Die SAE betitelt das Automatisierungslevel 5 als „Full Automation“ – „Volle Automatisierung“. Unter Umständen könnten Fahrzeuge, trotz der Möglichkeit der vollautomatisierten Steuerung, manuell gesteuert werden.²¹

2.3 Zeitliche Entwicklung

Als gegen Ende des 19. Jahrhunderts Carl Benz seinen Motorwagen, heute bekannt als das erste Automobil, vorstellte, faszinierte er damit die Bevölkerung. Die allgemeine Begeisterung, ohne den Antrieb durch Pferde, also mittels Automobil (Griechisch: autòs = selbst, persönlich, eigen; Latein: mobilis = beweglich), erweiterte Mobilität zu erlangen, war groß. Betrachtet man jedoch den Schritt vom Pferdekarren zum Automobil genauer, dann kann diese Entwicklung unter Umständen hinsichtlich Automatisierung als Rückschritt erachtet werden. Denn selbst wenn ein Kutscher nicht ununterbrochen den Pferdekarren überwachte, konnte man doch davon ausgehen, dass die Pferde den Wagen nicht vom Weg abkommen ließen. Demnach übernahmen die Zugpferde eine ähnliche Funktion wie ein moderner Fahrspurassistent und verliehen einem Pferdekarren damit eine gewisse Autonomie, die beim Umstieg auf ein Automobil verloren ging.²²

Erst etwa 100 Jahre nach der Präsentation des ersten Automobils wurden die ersten, zur Automatisierung von Fahrzeugen beitragenden, Systeme entwickelt. Mit der Vorstellung des Tempomats in den 60er Jahren begann die Revolution der FAS. Mit der Entwicklung von ACC-Systemen zu Beginn der 2000er konnten erstmals Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 1 in Serie vermarktet werden. Fahrzeuge der Stufe 2 – teilautomatisiert - entsprechen derzeit dem aktuellen Stand der Technik (2017). Derartige Systeme sind jedoch zurzeit nur in Fahrzeugen der Oberklasse zu finden. Hochautomatisierte Fahrzeuge der Stufe 3 befinden sich aktuell in der Testphase.²³

Die von der VDA erstellte Grafik (siehe Abbildung 3) bietet einen guten Überblick über derzeit erwartete Entwicklungszeiträume neuer Systeme und Automatisierungsstufen.

²¹ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; SAE International 2016

²² Vgl. Maurer et al. 2015

²³ Vgl. VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; Litman 2017

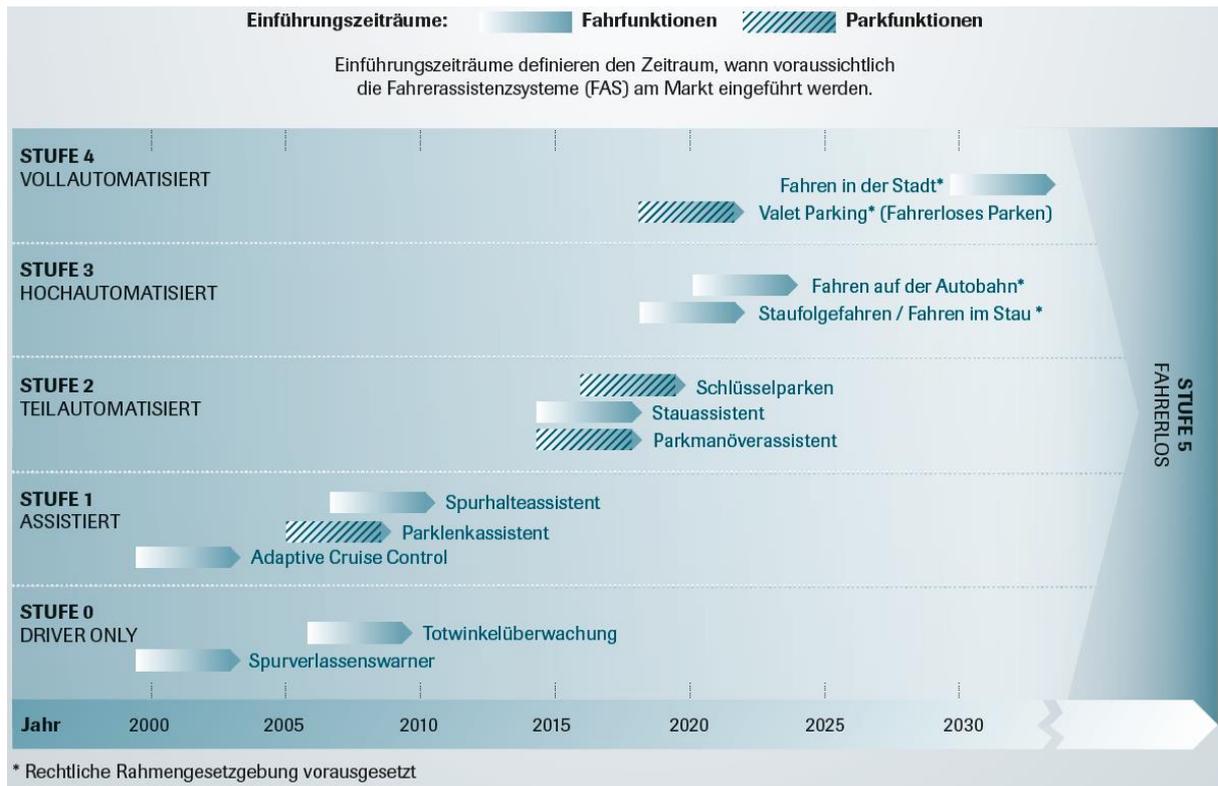


Abbildung 3: Einführung automatisierter Fahr- und Parkfunktionen²⁴

Eine Prognose zur Einführung von Fahrzeugen der Stufe 5 – fahrerlos - ist aus heutiger Sicht nur schwer abzugeben. Zu viele Fragen hinsichtlich Fahrzeugzulassungen, Datenschutz und ethischen Aspekten sind derzeit noch unbeantwortet. Nicht zuletzt wird auch die Akzeptanz von unter Umständen fahrerlosen Fahrzeugen in der Öffentlichkeit eine große Rolle spielen und eventuell den Einführungszeitraum von Stufe 5 – Fahrzeugen beeinflussen.²⁵

Die in Abbildung 3 dargestellten Zeiträume entsprechen dem Zeitraum einer möglichen Markteinführung der Systeme, nicht jedoch der flächendeckenden Nutzung. Litman führt in seiner Arbeit „Autonomous Vehicle Implementation Predictions“ die Zeiträume von der Entwicklung einige Fahrzeugtechnologien bis zur Marktsättigung mit der entsprechenden Technologie an. Er will damit aufzeigen, dass der Zeitraum von der Entwicklung bis zur tatsächlichen flächendeckender Anwendung von neuen Technologien nicht unterschätzt werden darf. Einige der von ihm angeführten Technologien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Entwicklungszeiträume Fahrzeugtechnologien²⁶

Name	Zeitraum von der Entwicklung bis zu Marktsättigung	Gesättigter Marktanteil
Air Bags	25 Jahre (1973-98)	ca. 100%
Automatik Getriebe	50 Jahre (1940er-90er)	90% U.S., 50% weltweit
Navigationssystem	über 30 Jahre (1985-20xx)	nicht bekannt

²⁴ VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015, S. 15

²⁵ Vgl. Uhr 2016

²⁶ Vgl. Litman 2017

Des Weiteren steigt laut Litman der durchschnittliche Nutzungszeitraum von Fahrzeugen an, was eine umfangreiche Markteinführung von Neuwagen mit automatisierten Fahrfunktionen weiter verzögert. Der durchschnittliche Nutzungszeitraum eines PKW in den 1970er Jahren betrug 11,5 Jahre, in den 1990er Jahren bereits 16,5 Jahre, aktuellen Fahrzeugen wird eine Nutzungsdauer von etwa 20 Jahren zugeschrieben. Daraus folgt, dass eine flächendeckende Markteinführung (90%) von neuen Fahrzeugtypen in etwa 30-50 Jahre zu erwarten ist.²⁷

Auch bei hoher Akzeptanz gegenüber Fahrzeugen der höheren Automatisierungsstufen aus der Bevölkerung, wird es immer gewisse Motivationen geben, nicht automatisiert zu fahren. Sei es die Liebe zu Oldtimern oder das Fahrgefühl bei Zweiradfahrten. In jedem Fall ist mit einer langen Übergangszeit mit Mischverkehr zu rechnen.

Nicht nur der IV wird sich durch voranschreitende Automatisierung verändern, sondern auch der ÖV wird sich allen Erwartungen nach durch diese Neuerungen wandeln. Neben automatisiert betriebenen Linienfahrten gibt es verschiedene Ideen für Carsharing Modelle. Derartige Modelle könnten die derzeit noch bestehende Lücke zwischen Haltestelle und Haustür schließen (First – Last Mile). Mittels App könnten fahrerlose Fahrzeuge direkt zum Wohnhaus bestellt werden. Da für derartige Mobilitätsmodelle Fahrzeuge der Stufe 5 oder in speziellen Fällen zumindest Fahrzeuge der Stufe 4 notwendig sind, ist eine Abschätzung des Einführungszeitraumes schwierig durchzuführen. Einige Prognosen gehen davon aus, dass derartige oder ähnliche ÖV-Systeme in etwa 10-20 Jahren in abgegrenzten Gebieten etabliert werden könnten.²⁸

2.4 Allgemeine Auswirkungen durch automatisiertes Fahren

Trotz aller Vorteile und positiver Aspekte, die durch die voranschreitende Automatisierung erwartet werden, ist damit zu rechnen, dass diese Entwicklungen gleichzeitig auch Risiken mit sich bringen. Nicht nur Hersteller von AF werden vor neue Herausforderungen gestellt, sondern auch die Anforderungen an die bestehende Infrastruktur werden, allen Erwartungen nach, neu definiert werden müssen. Neben diesen Aspekten ist im Zuge der voranschreitenden Automatisierung mit ethischen und rechtlichen Divergenzen zu rechnen. In diesem Abschnitt werden mögliche Chancen und Risiken durch das Aufzeigen erwarteter Auswirkungsszenarien angeführt.

Als Chancen werden nach der in dieser Arbeit verwendeten Begriffsdefinition positive Abweichungen vom erwarteten Ziel angesehen. Erachtet man die derzeitige Verkehrssituation, inklusive allen dadurch beeinflussten Gebieten, als Ausgangssituation, welche als Minimalanforderung für die Zielsetzung angesehen werden kann (die Verkehrssituation soll sich nicht verschlechtern), dann werden alle prognostizierten Szenarien mit positiver Abweichung davon als Chance betrachtet. Risiken sind demnach als negative Zielabweichung anzusehen.

Direkte Auswirkungen auf die österreichischen Richtlinien der Straßeninfrastruktur werden in Kapitel 6 dieser Arbeit detailliert diskutiert und aus diesem Grund in diesem Abschnitt nicht explizit behandelt.

2.4.1 Sicherheitseffekte

Einigen Fahrzeugherstellern und Befürworter zur Folge, kann mit einer deutlichen Reduktion der Verkehrsunfälle gerechnet werden. Speziell jene Unfälle, die durch menschliches Fehlverhalten

²⁷ Vgl. Litman 2017; Daten bezogen auf PKW-Nutzung in den USA

²⁸ Vgl. Litman 2017

verursacht werden, sollen durch zunehmende Automatisierung und Fahrzeugvernetzung drastisch minimiert werden. Kritiker weisen darauf hin, dass eine Abnahme der Unfälle in bestehender Art und Weise zwar möglich ist, neuartigen Unfallszenarien könnten jedoch den erwarteten Vorteil kompensieren. Hackerangriffe oder auf psychologisches Fehlverhalten von Lenkern zurückzuführende Unfälle könnten in den Vordergrund rücken. Skeptiker behaupten, dass gerade in der Einführungsphase von AF eine Steigerung der Gesamtzahl von Unfällen zu erwarten sein wird und sich positive Effekte erst mit steigendem Automatisierungs- und Marktdurchdringungsgrad einstellen.²⁹

Grundsätzlich wird sich durch die voranschreitende Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen eine deutliche Reduktion von Unfällen, die auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind, einstellen. Bereits durch den Einsatz von Fahrzeugen der unteren Automatisierungsstufen (Stufe 1 und 2) soll die Anzahl derartige Unfälle verringert werden. FAS können durch kürzere Aufnahme- und Verarbeitungszeiten – Latenzzeiten – in kritischen Situationen den menschlichen Fahrer entlasten und so zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen.³⁰

Jedoch sind gerade in den Anlaufphasen von neuen Systemen auch Negativeffekte zu berücksichtigen. Zu hohes Vertrauen oder ein Überschätzen von FAS können ein vermindertes Situationsbewusstsein bewirken. FAS könnten als Rechtfertigung für erhöhte Geschwindigkeiten und riskante Fahrmanöver missbraucht werden. Derartiges Fehlverhalten von Lenkern kann zu einer Steigerung von Unfallzahlen führen.³¹

Gerade bei Fahrzeugen der Stufe 3 – hochautomatisierte Fahrzeuge³² - vermuten Skeptiker Probleme bei der Übernahme des Steuer durch den Lenker. Um zur Übernahme des Steuer eines Fahrzeugs bereit zu sein, muss sich ein Mensch ein exaktes Bild von der Gesamtsituation machen können und eine Vorstellung von ihrer Entwicklung bilden. Ein aktuelles Situationsbewusstsein muss vorausgesetzt werden können. In unterschiedlichen Forschungsarbeiten zu dieser Thematik werden je nach Situation, Übernahmezeiten von 3 bis 10 Sekunden bis zum Abschalten der Automatik angeführt. Die Zeitdauer, bis sich Fahrer ein vollständiges Bild der Gesamtsituation schaffen könnten (z.B. Blick in die Rückspiegel) wurden mit bis zu 15 Sekunden quantifiziert. Hersteller müssen derart hohe Übernahmezeiten beachten, ansonsten könnten sich solche Situationen wiederum negativ auf Sicherheitseffekte auswirken. Einige Fahrzeughersteller, wie Volvo oder Ford geben aus diesem Grund an, in ihrer Entwicklung die Automatisierungsstufe 3 überspringen zu wollen, um erst Fahrzeuge der Stufe 4 anzubieten.³³

Des Weiteren gibt es Befürchtungen, dass fehlende Interaktion von Lenkern automatisierter Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrer oder PKW-Lenker nicht automatisierter Fahrzeuge) zu ungeklärten Situationen führen könnte. Fehlender Blickkontakt an unregulierten Kreuzungen kann zu Fehlverhalten und Falschinterpretationen führen. Weiters ist denkbar, dass die Unfallvermeidungsstrategie von AF durch andere Verkehrsteilnehmer ausgenutzt

²⁹ Vgl. Litman 2017; Uhr 2016; Lemmer 2016

³⁰ Vgl. Uhr 2016; Eisenkopf et al. 2017a

³¹ Vgl. Uhr 2016

³² Fahrer muss das System nicht dauerhaft überwachen, muss allerdings jederzeit, mit ausreichend Zeitreserve, in der Lage sein das Steuer zu übernehmen.

³³ Vgl. Radlmayr und Bengler 2015; Schlag 2016; Vogelpohl et al. 2016; Golson 2016; Branman 2016; Eisenkopf et al. 2017a, 2017b; Vogelpohl und Vollrath 2016

wird, um sich einen Vorrang zu erzwingen. Durch riskante Fahrmanöver könnten womöglich Unfälle provoziert werden.³⁴

Neben zahlreichen Möglichkeiten von menschlichem Fehlverhalten steigen mit zunehmender Automatisierung und vermehrtem Einsatz von technischen Bauteilen die Risiken eines technischen Gebrechens.³⁵

Ein umfangreiches Prognosemodell zukünftiger Unfallzahlen, unter Berücksichtigung der Einführung von AF mittels verschiedenen Einführungs- und Marktdurchdringungsszenarien, veröffentlichte die Daimler-Unfallforschung. Berücksichtigt wurden Unfälle in Deutschland mit Personenschaden, bei denen PKW-Lenker als Hauptverursacher galten. In die Prognose nicht miteinbezogen wurden zukünftig mögliche Unfälle durch technische Gebrechen von AF. In Bezug auf derartige Unfälle im Jahr 2010, wird mit zunehmendem Automatisierungsgrad und voranschreitender Marktdurchdringung ein Rückgang der Unfälle für 2020 um 10%, für 2050 um 50% und eine vollständige Elimination derartiger Unfälle für das Jahr 2070 prognostiziert. Auch im Jahr 2070 wird eine vollständige Vermeidung von Unfällen nicht realisierbar sein. Mögliche Unfälle durch Softwarefehler oder technische Gebrechen können nach wie vor nicht ausgeschlossen werden. Des Weiteren wird es auch nicht möglich sein, Unfälle mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern als Hauptverursacher oder Unfälle, die von Zweirädern oder Oldtimern verursacht wurden, zur Gänze zu vermeiden.³⁶

Neben bereits geschilderten physischen Sicherheitseffekten (engl.: Safty), wird mit voranschreitender Automatisierung digitale Sicherheit mehr und mehr in den Vordergrund rücken. Schutz von Systemen durch beispielsweise Hackingangriffe (engl. Security) und Schutz der Privatsphäre (engl.: Privacy), synonym zum Datenschutz in der IT-Branche, dürfen zukünftig nicht außer Acht gelassen werden. Moderne Fahrzeuge weisen zunehmend mehr drahtlose Schnittstellen auf, welche es unter Umständen Hackern ermöglicht, von außen Zugriff auf ein Fahrzeug zu erhalten. Es ist nicht nur dem Schutz sensibler personenbezogenen oder fahrzeugbezogenen Daten Beachtung zu schenken, sondern vielmehr gilt, einen möglichen Zugriff auf die Steuerung eines Fahrzeugs durch Dritte zu verhindern. Von diesen Problemstellungen betroffen sind nicht nur zukünftige hochautomatisierte Fahrzeuge. Bereits jetzt in Serie produzierte Fahrzeuge weisen immer mehr digitale Schnittstellen auf. Um die allgemeine Akzeptanz von AF zu erhöhen, sollte zudem schon im Vorhinein einheitlich (zumindest europaweit) festgelegt werden, welche personenbezogenen Daten generiert werden sollten, wie Datensicherheit gewährleistet werden kann, oder wie eine Datenlöschung ermöglicht wird. Um eine breite Zustimmung in der Bevölkerung zu erhalten, sollten derartige Themen mit großen Transparenz aufgearbeitet werden.³⁶

Zu bedenken ist grundsätzlich, dass sich durch voranschreitender Automatisierung das persönliche Fahrerrisiko in ein gesellschaftliches und wirtschaftliches Gesamtrisiko wandeln wird. Fahrmanöver und Geschwindigkeitsentscheidungen wurden bisher, zumindest theoretisch, vom Fahrer in Abwägung mit möglichen Unfallrisiken festgelegt. Zukünftig könnten diese Entscheidungen durch programmierte Szenarien vom Fahrzeug selbst getroffen werden. Kommt es in diesem Fall zu einem Unfall, ist dies nicht mehr zwingend auf ein Fehlverhalten von einzelnen Personen zurückzuführen. Auch wenn die

³⁴ Vgl. Uhr 2016; Sivak und Schoettle 2015

³⁵ Vgl. Berg 2016

³⁶ Vgl. Uhr 2016

allgemeine Sicherheit durch AF tatsächlich gesteigert wird, könnte diese Tatsache unter Umständen problematisch für die Akzeptanz von höher AF in der Bevölkerung werden.³⁷

2.4.2 Umwelt- und Kapazitätsauswirkungen

In diesem Abschnitt werden voraussichtliche Auswirkungen auf Umwelt und Kapazität durch voranschreitende Automatisierung im IV diskutiert. Neben grundsätzlich positiven Entwicklungen in der Automobilbranche aus Sicht des Umweltschutzes, wie die Entwicklung von schadstoffarmen Motoren oder sogar Hybrid- und Elektrofahrzeugen, lassen sich auch durch die Automatisierung von Fahrzeugen positive Auswirkungen auf die Umwelt erhoffen. Erreicht die Automatisierung die höheren Entwicklungsstufen, dann ist zu erwarten, dass durch die Kommunikation zwischen einzelnen Fahrzeugen und unter Umständen auch der Infrastruktur effizientere Fahrweisen erreicht werden können. Sogenannte Start-Stopp-Fahrten, speziell im städtischen Bereich oder bei Staufahrten könnten zum Teil verhindert oder minimiert werden. Bereits in naher Zukunft sollte durch Platooning im höherrangigen Straßennetz, speziell im Bereich des Gütertransportes (Ausrüstung von LKW), eine Effizienzsteigerung, also eine Senkung des Treibstoffbedarfs und damit gleichzeitig eine Senkung des Schadstoffausstoßes erreicht werden. Derartige Entwicklungen wirken sich nicht nur positiv auf die Umwelt aus, sondern sollten gleichzeitig positive Auswirkungen auf die Kapazität der Straßen haben.³⁸

Zur Thematik Steigerungen der Kapazität von Straßenzügen, speziell des höherrangigen Netzes, durch Automatisierung von Fahrzeugen, wurde am ITS World Congress 2017 von Hartmann, et al. die Forschungsarbeit „Impact of Automated Vehicles on Capacity of the German Freeway Network“ präsentiert. Anhand von mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen wurden die Kapazitätseinflüsse von AF auf verschiedene Segmente (Auf-, Abfahrten, Bögen, geradlinige Strecken, etc.) des hochrangigen deutschen Straßennetzes simuliert. Untersucht wurde die Beeinflussung der Kapazität unterschiedlicher Automatisierungsstufen mit vagierenden Anteilen an der gesamten Fahrzeugflotte. Die Simulationen zeigten, dass sogar bei einem Marktanteil von knapp 30%, prognostiziert für 2050, positive Auswirkungen durch AF auf die Kapazität vernachlässigbar gering ausfallen. Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und die Vernetzung von Fahrzeugen mit der Infrastruktur selbst, also der Schritt von AV zu CAV³⁹, ermöglicht das Fahren mit geringeren Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen. Erst in Szenarien mit hoher Marktdurchdringung von CAV, die aus rechtlicher Sicht die Möglichkeit des Einhaltens von kürzeren Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen voraussetzen, wird eine signifikante Steigerung der Kapazität nachgewiesen. Auf Straßensegmenten ohne Zu- und Abfahrten wurde so eine Kapazitätssteigerung von bis zu 45% nachgewiesen. Ähnliche Ergebnisse zur Kapazitätssteigerung durch den Einsatz von AF im hochrangigen Netz liefert eine Studie des VDA. Laut Studie ist im Endzustand der Automatisierung mit einem Kapazitätsgewinn von 30% zu rechnen. Im Einführungsstadium werden bei einer gemischten Fahrzeugflotte jedoch Kapazitätsverluste von bis zu 10% erwartet.⁴⁰

Auch im innerstädtischen Bereich ist mit voranschreitender Automatisierung eine Steigerung der Kapazität zu erwarten. Durch Einhalten von geringeren Zeitlücken von AF und intelligenter Vernetzung von Fahrzeugen mit der Infrastruktur könnte sich die Kapazität von Knoten um bis zu 40% erhöhen.⁴¹

³⁷ Vgl. Lemmer 2016

³⁸ Vgl. Kockelman et al. 2016; Lemmer 2016; Eisenkopf et al. 2017b

³⁹ Als CAV werden vernetzte AF bezeichnet

⁴⁰ Vgl. Hartmann et al. 2017; Krause et al. 2017

⁴¹ Vgl. Friedrich 2015

Weitere Vorteile für die Kapazitäten der Infrastruktur könnten sich durch neue Methoden der Parkraumbewirtschaftung ergeben. Durch sogenanntes Valet Parking, fahrerloses Parken, können Parkflächen effizienter genutzt werden. Derzeit bestehende Mindestgrößen von Parkplätzen könnten unterschritten werden, da Ein- und Aussteigen des Lenkers im Parkplatzbereich nicht mehr notwendig wäre. Um diesen Vorteil nutzen zu können, müssten allerdings speziell für Valet Parking vorgesehene Bereiche bereitgestellt werden, da im Mischbetrieb (AF und konventioneller Fahrzeuge) dieser Vorteil nicht genutzt werden könnte. Auch auf die Umwelt könnte sich Valet Parking positiv auswirken. Durch systematische Vernetzung der Parkinfrastruktur mit AF ist es möglich, freie Parkplätze direkt zuzuordnen, um somit unnötige Fahrten der Parkplatzsuche zu eliminieren und den Schadstoffausstoß zu verringern. Ein weiterer Vorteil könnte sich durch Valet Parking für die Elektromobilität ergeben. Elektrisch betriebene AF könnten Ladestationen selbständig aufsuchen und diese nach abgeschlossenem Ladevorgang wieder freigeben. Ein effektiver Einsatz der Ladeinfrastruktur mit begrenzten Bau- und Anschaffungskosten könnte ermöglicht werden.⁴²

Höppner und Schuster untersuchten anhand mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen die Auswirkungen von fahrerlosem Parken auf die Verkehrsqualität und Kapazität in Parkbauten. Die Untersuchungen zeigten, dass mit derzeitigem Stand der Technik in gewöhnlichen Parkhäusern beim Übergang vom konventionellen zum automatisierten Parken eine Erhöhung der Reise- und Verlustzeit zu erwarten ist. Ein entscheidender Faktor für die Steigerung der Reise- und Verlustzeit sind die derzeit noch höheren Ein- und Ausparkzeiten von AF. Des Weiteren entfallen, solange AF noch keine Vernetzung mit der Infrastruktur aufweisen, die Fahrwege der Parkplatzsuche nicht. Durch eine aktive Vernetzung von AF mit der Parkinfrastruktur und somit einer direkten Zuweisung von freien Stellplätzen, könnte dem entgegengewirkt werden. Bei gleichzeitiger Optimierung von Parkraumbauten für vernetzte AF, könnte so laut Höppner und Schuster eine Reduktion der Reise- und Verlustzeit von knapp 30% erreicht werden. Damit zeigt sich ein klarer Vorteil des zukünftigen Valet Parkings gegenüber dem konventionellen Parken.⁴²

Skeptiker befürchten, dass mit der Weiterentwicklung der Automatisierung auch die Anzahl der durchschnittlichen Personenkilometer ansteigen. Strecken, die in der Vergangenheit eventuell vermieden wurden, da sie mit anstrengenden Autofahrten verbunden waren, könnten in Zukunft bequem, ohne selber das Steuer übernehmen zu müssen, durchgeführt werden. Die Fahrzeit könnte anderwärtig, beispielsweise durch Arbeit am Laptop oder durch Lesen eines Buches, genutzt und überbrückt werden. Des Weiteren besteht das Risiko, dass mit der Einführung von selbstfahrenden Fahrzeugen die Anzahl an Leerfahrten steigt (privates Versenden von Gütern). Fahrten, die bislang als nicht notwendig empfunden wurden, könnten aufgrund des steigenden Komforts trotzdem getätigt werden. Diese grundsätzlich zwar positive Eigenschaft von AF würde sich jedoch negativ auf die Kapazitäten der Infrastruktur und die Umwelt auswirken. Positive Effekte durch Effizienzsteigerung könnten relativ rasch kompensiert werden. Positive Umwelt- und Kapazitätsauswirkungen ergeben sich, glaubt man kritischen Stimmen, erst in fernerer Zukunft (in 20 Jahre und mehr) durch Etablierung von fahrerlosen Carsharing Mobilitätsdienste. Dadurch könnte auch in ländlicheren Gebieten die Notwendigkeit eines privaten Fahrzeugs sinken.⁴³

⁴² Vgl. Höppner und Schuster 2017

⁴³ Vgl. Trommer et al. 2016; Litman 2017; Eisenkopf et al. 2017b

2.4.3 Auswirkung auf den ÖV

Die acatech Studie „Neue autoMobilität“⁴⁴ stellt unterschiedliche Nutzungsszenarien, die sich durch AF, speziell durch den Einsatz fahrerloser Fahrzeuge ergeben könnten, vor. Gezeigt wird, dass in Zukunft durch carsharing-ähnliche Mobilitätsdienste die Grenze zwischen IV und ÖV verschmelzen könnte. Diese Entwicklungen stellen neben den allgemeinen Chancen und Risiken, die sich durch voranschreitende Automatisierung ergeben könnten, speziell auch Verkehrsunternehmen des ÖV vor neue Herausforderungen. Da eine detaillierte Betrachtung dieses Themenbereiches nicht Teil dieser Arbeit ist, wird an dieser Stelle auf das Positionspapier des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) „Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen“⁴⁵ aus dem Jahr 2015 verwiesen.

2.5 Rechtliche Situation

Die technische Entwicklung von automatisierten Systemen schreitet schnell voran. Eventuell könnte bereits in wenigen Jahren, in begrenzten Bereich, vollautomatisiertes Fahren technisch möglich werden. Um allerdings die voranschreitende Automatisierung auch rechtlich zu ermöglichen, muss eine entsprechende gesetzliche Grundlage geschaffen werden. Speziell bei der Zulassungs- und Haftungsfrage automatisierter Fahrzeuge sollte versucht werden, parallel zur technischen Entwicklung auch seitens der gesetzlichen Situation entsprechende Anpassungen zu treffen und einen entsprechenden Rahmen vorzugeben. Neben den bereits erwähnten Themen, Zulassung und Haftung, müssen unter Umständen auch die Themen Datenschutz, speziell Unfalldatenspeicherung, und Fahrausbildung neu geregelt werden.

Der folgende Abschnitt soll nicht als detailliertes Rechtsgutachten bestimmter Gesetzestexte erachtet werden. Vielmehr wird versucht, anhand rechtlicher Analysen verschiedener, bereits abgeschlossener Studien zum Thema automatisierter Mobilität, eventuell bestehende rechtliche Hemmnisse für die Einführung von AF überblicksmäßig aufzuzeigen.

2.5.1 Zulassung von automatisierten Fahrzeugen

Die Zulassung von Fahrzeugen ist neben nationalen Regulierungen auch international über sogenannte völkerrechtliche Verträge geregelt. Die internationale Regelung von Fahrzeugzulassungen hat eine Harmonisierung und somit die Möglichkeit einer grenzübergreifenden Nutzung von Fahrzeugen zur Folge. Zulassungsrechtlich ist nicht nur zwischen Zulassungen für Testfahrten und den serienmäßigen Verkauf zu unterscheiden, sondern speziell auch zwischen den einzelnen Automatisierungsstufen.

Wiener Übereinkommen

Das Wiener Übereinkommen (WÜ, Übereinkommen über den Straßenverkehr) ist ein internationaler Vertrag, der die Harmonisierung der Straßenverkehrsregeln thematisiert. Nach Ratifizierung sind die Vertragspartner dazu verpflichtet, die im Übereinkommen festgelegten Verkehrs- und Zulassungsregelungen zu erlassen. Das 1968 beschlossene Abkommen wurde bis jetzt von 74 Staaten ratifiziert (Stand: Jänner 2018).⁴⁶

⁴⁴ Lemmer 2016

⁴⁵ Röhrleef et al. 2015

⁴⁶ Vgl. Bundeskanzleramt 2018a; Cacilo et al. 2015

Im WÜ ist festgehalten, dass jedes Fahrzeug einen Führer haben und dieser sein Fahrzeug jederzeit beherrschen muss. Mit 23.3.2016 wurde durch Änderung des Artikel 8 des Übereinkommens festgelegt, dass auch automatisierte Systeme als beherrschbar anzusehen sind, wenn sie jederzeit durch den Fahrer übersteuerbar oder ausschaltbar sind oder wenn die Systeme den internationalen UN-Regelungen (ECE-Regelungen) entsprechen. Somit ist seitens des WÜ rein rechtlich der Weg für die Einführung von AF, solange diese über manuelle Steuerungseinheiten verfügen, geebnet bzw. wurde die Zulassungsfrage auf rein technische Vorgaben (UN-Regelungen) reduziert. Fahrerlose Fahrzeuge sind mit bestehender Formulierung des WÜ nicht zulässig.⁴⁷

Die Anpassung des WÜ an den technischen Fortschritt der Automatisierung von Fahrzeugen, hat hinsichtlich der Regelungen des Verhaltens des Fahrers keine Neuerungen gebracht. Nach wie vor besteht Artikel 8, Absatz 6 in folgender Form:⁴⁸

„Der Führer eines Fahrzeugs muss alle anderen Tätigkeiten als das Führen seines Fahrzeugs vermeiden. Die innerstaatlichen Rechtsvorschriften sollten Bestimmungen zur Benutzung von Telefonen durch die Fahrzeugführer vorsehen. In jedem Fall müssen sie die Benutzung von Telefonen ohne Freisprecheinrichtung durch Führer eines sich in Bewegung befindlichen Motorfahrzeugs oder Motorfahrrads verbieten.“⁴⁹

Somit ist die Nutzung von fahrzeuginternem Infotainment, auch bei Fahrzeugen der Stufe 4, während einer automatisierten Fahrt, nicht zulässig. Um möglichen Komfortgewinn während automatisierter Fahrten nicht zu verlieren, sollten weitere Anpassungen des WÜ, einhergehend mit dem technischen Fortschritt, angestrebt werden.

Fahrzeugteileübereinkommen (UN-Regelungen)

Das Fahrzeugteileübereinkommen (FTÜ) ist ein völkerrechtlicher Vertrag. Einzelne Länder (Vertragsparteien) können einzelne Regelungen akzeptieren, sind jedoch nicht dazu verpflichtet. Wurden Regelungen jedoch von einem Staat akzeptiert, dann ist dieser völkerrechtlich verpflichtet, einzelne Teile oder auch Fahrzeuge, die den jeweiligen UN-Regelungen entsprechen, im eigenen Land zuzulassen. Ziel ist es, eine Harmonisierung der technischen Vorschriften innerhalb der Vertragsstaaten zu erreichen, und so Handelsbarrieren abzubauen.⁵⁰

Eine UN-Regelung, die in unterschiedlichen Arbeiten, welche die rechtlichen Rahmenbedingungen des automatisierten Fahrens thematisieren, immer wieder angeführt wird, ist beispielsweise Regelung 79 – Lenkanlagen.

Sobald die automatische Lenkfunktion einsatzbereit ist, muss dies dem Fahrzeugführer angezeigt werden, und die Steuerung muss automatisch ausgeschaltet werden, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit den eingestellten Grenzwert von 10 km/h um mehr als 20 % überschreitet oder die auszuwertenden Signale nicht mehr empfangen werden.⁵¹

Diese Regelung ermöglicht zwar den Einsatz von Systeme wie Einparkassistenten, jedoch sind automatisierte Lenkanlagen für höhere Geschwindigkeit nicht zulässig. Unterstützende Systeme, bei welchen der Fahrer die Hauptverantwortung behält, werden laut ECE-Regelung 79 als „Fahrerassistenz-Lenkanlagen“ bezeichnet und dürfen auch bei höheren Geschwindigkeiten zum

⁴⁷ Vgl. Eisenberger et al. 2016; Uhr 2016

⁴⁸ Vgl. Uhr 2016

⁴⁹ Bundeskanzleramt 2018a

⁵⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015

⁵¹ Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) Januar 2006

Einsatz kommen. Spurhalteassistenten sind demnach zulässig, solange diese lediglich korrigierend wirken und vom Fahrer übersteuert werden können. Der Fahrer muss die Hände am Lenkrad behalten.⁵²

Weiters sind automatisierte Überholmanöver aufgrund der aktuellen UN-Regelungen zurzeit nicht zulässig. Überholmanöver müssen durch Setzen von Blinker angezeigt werden. Laut UN-Regelung 6 müssen Fahrtrichtungsanzeiger jedoch manuell durch den Fahrer ausgelöst werden.⁵³

Nachdem die Zulassungsfrage von AF im WÜ zum Teil auf technische Vorgaben und Regelungen abgewälzt wurde, müssen, um automatisiertes Fahren in Europa zu ermöglichen, einige UN-Regelungen angepasst und abgeändert werden.

Regulierungen auf nationaler Ebene

Mit der 33. Novellierung des Kraftfahrzeuggesetzes (KFG) wurden bereits erste Grundlagen für den Testbetrieb von AF geschaffen. AF dürfen nun auch in Österreich auf öffentlichen Straßen getestet werden. Testfahrten müssen jedoch im Vorhinein beim BMVIT angemeldet und genehmigt werden.⁵⁴ Bevor jedoch der Einzug serienmäßiger automatisierter Fahrzeuge auf Österreichs Straßen erfolgen kann, müssen rechtlich noch viele Fragestellungen geklärt und nationale Regulierungen angepasst werden. Offene, die StVO betreffende Fragestellungen, wie beispielweise der Umgang automatisierter Fahrzeuge mit dem Vertrauensgrundsatz – AF können nicht oder nur schwer zwischen alt und jung bzw. zwischen vertrauenswürdig und nicht vertrauenswürdig unterscheiden – sind zu klären. Unter Umständen sind zudem entsprechende Anpassungen des Führerscheingesetzes (FSG) erforderlich. Eventuell muss, wie im FSG auch zwischen Fahrzeugen mit Schalt- und Automatikgetriebe unterschieden wird, auch zwischen manuell und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen unterschieden werden.⁵⁵

2.5.2 Haftung, Datenspeicher, Fahrausbildung

Aufgrund der Komplexität der Thematik „Haftung“ wird diese in der vorliegenden Arbeit nur überblicksmäßig behandelt. Basierend auf bereits durchgeführten rechtlichen Analysen und Arbeiten, die sich mit möglicher Haftungsproblematik bei Einführung von AF beschäftigt haben, werden hier nur eventuell auftretende rechtliche Herausforderungen angeführt.

Bereits bei Fahrzeugen ab der Automatisierungsstufe 3 wird das Monitoring, also die Überwachung des Umfeldes, teilweise vom Fahrzeug selbst übernommen. Der Lenker muss, nach Aufforderung, und mit ausreichender Übernahmezeit, im Stande sein, das Steuer zu übernehmen. Während einer automatisierten Fahrt soll die Überwachung der Fahrt nicht Aufgabe des Lenkers sein. Schon ab diesem Level der Automatisierung könnten somit bis jetzt unbeachtete Haftungsproblematiken entstehen. Das derzeitige Haftungsrecht baut auf dem Grundsatz, dass eine Fahrt durchgängig von einem menschlichen Fahrer überwacht wird und dieser somit Verantwortung trägt. Übernimmt eine Systematik der Automatisierung die Überwachung, dann wird unter Umständen auch die Haftung übertragen. Es wird nur schwer möglich sein, einem Lenker Verschulden vorzuwerfen, der zum Zeitpunkt eines Unfalls lediglich als Passagier im Fahrzeug war. Genauso schwierig könnte es jedoch sein, ein herstellerseitiges Verschulden nachzuweisen. Ein Unfall könnte beispielsweise aufgrund

⁵² Vgl. Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) Januar 2006

⁵³ Vgl. Cacilo et al. 2015

⁵⁴ Vgl. Bundeskanzleramt 2018b

⁵⁵ Vgl. Eisenberger et al. 2016

fehlerhafter Sensorik, einem Programmfehler oder eventuell auch aufgrund unzureichender infrastrukturseitiger Eingangsdaten resultieren.⁵⁶

Um zukünftig Unfallhergänge rekonstruieren zu können und Unfallursachen festzustellen, wird es notwendig werden, entsprechende Unfalldatenspeicher in Fahrzeugen vorzusehen. Lenker und Halter von Fahrzeugen müsste der Zugriff auf diese Daten gewährt werden. Eine entsprechende Rechtsgrundlage für die Speicherung und Nutzung derartiger Daten müsste jedoch erst geschaffen werden.⁵⁷

2.6 Reaktion verschiedener Länder

2.6.1 USA

Die USA übernahm eine Vorreiterrolle hinsichtlich der Zulassung von AF im Straßenverkehr. Als erster Bundesstaat beschloss Nevada bereits im Sommer 2011 erste Regulierungen für AF. Kurz darauf folgten Kalifornien, Florida und Michigan. Der Begriff „autonomous vehicles“ wurde definiert und der Testbetrieb automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen genehmigt. Senatoren der genannten Bundesstaaten sahen sich selbst als Pioniere eines neuen technologischen Zeitalters und rechtfertigten so ihre Beschlüsse.⁵⁸ Mittlerweile haben 22 Bundesstaaten entsprechende Beschlüsse erlassen.⁵⁹ In Florida dürfen seit April 2018 sogar schon fahrerlose Fahrzeuge (ohne Lenker) getestet werden.⁶⁰

Dass erste politische Schritte speziell in den USA eingeleitet wurden, ist nicht völlig unbegründet. Google, als völliger Quereinsteiger in der Automobilindustrie mittlerweile jedoch ein aktives und führendes Unternehmen in der Entwicklung von Automatisierungssoftware und entsprechender Technologie, nahm großen Einfluss auf die politische Entscheidungsfindung.⁶¹

Rechtliche Rahmendbedingungen der einzelnen Bundesstaaten sind stark an die Empfehlungen der NHTSA angelehnt. Bei der NHTSA handelt es sich um eine US-Bundesbehörde, die wie in Europa als UN-Regelungen bekannte technische Vorschriften für AF festlegt. Beispielsweise veröffentlichte die NHTSA, wie in Abschnitt 2.2 erwähnt, eine weltweit anerkannte Einstufung automatisierter Fahrzeuge. Im Regelwerk der NHTSA wurde der Begriff Lenker – driver – so definiert, dass auch automatisierte Systeme, also eine Software, als Lenker angesehen werden kann. Dies geschah auf Anfrage von Google und eröffnet dem Unternehmen zusätzlichen Handelsspielraum.⁶²

Auch infrastrukturseitig, abseits rechtlicher und gesetzlicher Anpassung, findet in den USA bereits eine Weiterentwicklung statt. In einzelnen Bundesstaaten bestehen mittlerweile Teststrecken für AF und einzelne Straßenabschnitte wurden digital aufgerüstet. Als Beispiel für ein Testgebiet automatisierter Fahrzeuge kann der über 100 km lange „Virginia Automated Corridor“ in Michigan genannt werden.⁶³

2.6.2 Japan

Die japanische Gesetzgebung hinsichtlich der Ausrüstung und Steuerung von Fahrzeugen weist große Ähnlichkeiten mit mitteleuropäischen Vorschriften auf. Auch in Japan gilt der Grundsatz, dass ein

⁵⁶ Vgl. Eisenberger et al. 2016; Lemmer 2016

⁵⁷ Vgl. Lemmer 2016

⁵⁸ Vgl. Schreurs und Steuer 2015; Eisenberger et al. 2016

⁵⁹ Vgl. National Conference of State Legislatures 2018

⁶⁰ Vgl. Leopold 2018

⁶¹ Vgl. Schreurs und Steuer 2015

⁶² Vgl. Eisenberger et al. 2016

⁶³ Vgl. Cacilo et al. 2015

Fahrzeug von einem Fahrer beherrscht werden muss – ähnlich wie das auch im WÜ festgehalten ist. Zudem ist Japan eine Vertragspartei des FTÜ und muss somit bei der Herstellung von Fahrzeugen geltende UN-Regelungen einhalten. Somit gilt auch für die japanische Automobilindustrie Regelung 79 für Lenkanlagen (siehe Abschnitt 2.5.1).⁶³ Trotzdem hat sich die japanische Regierung zum Ziel gesetzt, dass bis zu den olympischen Spielen 2020 selbstfahrende Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen eingesetzt werden. Athleten sollen Strecken, wie beispielsweise vom Flughafen zu den Stadien oder Quartieren, in AF zurücklegen. Um dieses Ziel zu erreichen, investiert Japan in die Ausrüstung der Straßeninfrastruktur mit Verkehrstelematiksensoren. Automatisierte Systeme wie Spurhalteassistenten und Abstandssensoren sollen infrastrukturseitig unterstützt werden. Durch entsprechende Ausstattung soll eine Vernetzung von Mensch, Straße und Fahrzeug erreicht werden.⁶⁴ Obwohl japanische Hersteller wie Toyota, Honda und Nissan hinsichtlich der Automatisierung von Fahrzeugen amerikanischen und europäischen Herstellern hinterherhinken, dürfen seit 2013 AF auf öffentlichen Straßen getestet werden. Es muss jedoch ein Fahrer vorhanden sein, der die Einhaltung der Verkehrsvorschriften sicherstellt.⁶⁴

2.6.3 Australien

Die Entwicklung von Richtlinien, wie auch dementsprechende Forschungsprojekte mit Bezug auf automatisiertes Fahren werden in Australien in enger Kooperation mit neuseeländischen Behörden und Einrichtungen abgewickelt. Auch wenn Australien und Neuseeland anfänglich einen Rückstand auf Staaten wie den USA, Großbritannien oder auch Deutschland hinsichtlich der Möglichkeit des Testens von AF auf öffentlicher Infrastruktur aufzuholen hatte, konnte dieser Rückstand aufgeholt werden. Mittlerweile dürfen sowohl in Neuseeland als auch in Australien Fahrzeuge bis zur Automatisierungsstufe 5 auf öffentlichen Straßen getestet werden. Somit sind die rechtlichen Vorschriften und Möglichkeiten für Entwickler in dieser Hinsicht mit Möglichkeiten in den USA vergleichbar.⁶⁵

2017 veröffentlichte „Austroads“⁶⁶ eine Roadmap für künftige infrastrukturelle Gestaltung in Australien und Neuseeland im Hinblick auf den Einsatz automatisierter Fahrzeuge. Der Bericht „Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles“ behandelt sowohl physische und digitale Infrastruktur als auch straßeninfrastrukturelle Bauarbeiten. Es werden für die jeweiligen Bereiche kurz-, mittel- und langfristig notwendige Maßnahmen angeführt, um die Einführung automatisierter Fahrzeuge zu ermöglichen.⁶⁷

2.6.4 Großbritannien

Großbritannien hat sich zum Ziel gesetzt, als führendes Testfeld für automatisierte Systeme aufzutreten. Da das WÜ von Großbritannien zwar unterzeichnet, bis jetzt jedoch nicht ratifiziert wurde, entfallen die Hürden dieses Abkommens. Dennoch besteht eine aktive Vertragspartnerschaft in Bezug auf die UN-Richtlinien des FTÜ. Regelung 79 – Lenkanlagen ist somit einzuhalten.⁶⁸

⁶⁴ Vgl. Cacilo et al. 2015; Eisenberger et al. 2016

⁶⁵ Vgl. Cunningham et al. 2017

⁶⁶ Austroads ist eine Organisation der Australischen Straßenverkehrsbehörde welche unterstützende und beratende Funktion für Politik, Straßenverwaltung und Richtliniengestaltung einnimmt.

⁶⁷ Vgl. Huggins et al. 2017

⁶⁸ Vgl. Eisenberger et al. 2016; Cacilo et al. 2015; Schreurs und Steuer 2015

Das Testen und Nutzen automatisierter Systeme ist in der englischen Rechtsprechung zwar nicht explizit geregelt. Dem Einsatz zu Testzwecken steht jedoch nichts entgegen. AF dürfen auf allen öffentlichen Straßen getestet werden, solange ein Fahrer zur aktiven Überwachung eingesetzt wird. Bei niedrigen Geschwindigkeiten darf zudem auch fahrerlos getestet werden.⁶⁴

2.6.5 Schweden

Auch in den skandinavischen Ländern halten AF bereits Einzug auf öffentlichen Straßen. Speziell in Schweden findet eine enge Zusammenarbeit der Regierung mit dem schwedischen Fahrzeughersteller Volvo statt. In Kooperation mit Volvo verabschiedete die schwedische Regierung ein Memorandum, welches „gewöhnlichen Menschen“ – ohne spezielle Ausbildung – die Nutzung selbstfahrender Autos zu Testzwecken ermöglicht. Das Projekt „DriveME“ startete bereits 2014 und ist das weltweit erste dieser Art. 100 selbstfahrende Fahrzeuge werden auf ausgewiesenen Strecken in Göteborg seit 2017 getestet. Ab 2020 sollen AF in Serie verfügbar sein.⁶⁹

Neben erhöhter Sicherheit durch voranschreitende Automatisierung der Fahrzeuge betont die schwedische Regierung zudem positive Effekte hinsichtlich Nachhaltigkeit und Umweltschutz. Durch die enge Zusammenarbeit der Regierung mit Volvo sollen zudem gesetzliche Anpassung in Bezug auf neue Technologien frühzeitig eingeleitet werden.⁷⁰

2.6.6 Deutschland

In der Automobilindustrie nehmen deutsche Hersteller eine Vorreiterrolle ein. Bereits 2013 führte der Daimler-Konzern erste Testfahrten mit AF auf öffentlichen Straßen in Deutschland durch. Im selben Jahr wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) der „Runde Tisch Automatisiertes Fahren“ gegründet. Ziel dieser Arbeitsgruppe mit Vertretern aus Bundesministerien, Forschungseinrichtungen, der Automobilbranche und Versicherungen ist es, eine gemeinsame, abgestimmte Position zu wichtigen Themenbereichen des automatisierten Fahrens auszuarbeiten. Es wurde somit bereits sehr früh begonnen den Weg für AF in Deutschland zu ebnet. 2015 wurde Teilabschnitte der A9 in Bayern als Testgebiet für automatisierte Fahrsysteme freigegeben. Teile der Strecke wurden zudem mit Kommunikationseinheiten zum Testen von C2I-Kommunikation ausgestattet. Neben der Freigabe und Ausrüstung von Testgebieten werden in Deutschland zudem zahlreiche Projekte und Studien mit dem Themenschwerpunkt „automatisiertes Fahren“ von unterschiedlichen Organisationen durchgeführt. Durch neue Konkurrenten in der Automobilbranche, beispielsweise Google oder Tesla, stehen auch deutsche Hersteller zusätzlichen Herausforderungen gegenüber.⁷¹

Mit der Mitte 2017 in Kraft getretenen Gesetzesänderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) ist, bei bestimmungsgemäßer Nutzung, der Betrieb von Kraftfahrzeugen mit hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktionen in Deutschland zulässig. Dennoch ist auch Deutschland an das WÜ gebunden, wodurch der Einsatz automatisierter Fahrzeuge eingeschränkt wird.⁷² Zudem sind aus rechtlicher Sicht noch Themenbereiche wie beispielsweise Haftung oder Fahrausbildung zu klären.

⁶⁹ Vgl. Lindholmen Science Park 2017; Schreurs und Steuer 2015

⁷⁰ Vgl. Schreurs und Steuer 2015

⁷¹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Eisenberger et al. 2016

⁷² Vgl. Bundesministerium Deutschland 2017

2.6.7 Österreich

Durch das 2000 gegründeten Unternehmen „ALP.Lab GmbH“ (Austrian Light Vehicle Proving Region for Automated Driving) können auch in Österreich umfangreiche Test mit AF durchgeführt werden. Neben entsprechenden Testgeländen und Einrichtungen zur Datenerfassung sowie -verarbeitung können im Umfeld der Testregion ALP.Lab auch Tests auf öffentlichen Straßen durchgeführt werden. Entsprechende Ausrüstung einzelner Autobahnabschnitte ermöglicht zudem das Testen unterschiedlicher Kommunikationstechnologien.⁷³ Wie bereits in Abschnitt 2.5.1 erwähnt, ist das Testen automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen in Österreich erlaubt, solange Testfahrten vom BMVIT im Vorhinein genehmigt wurden. Ein rechtlicher Rahmen für eine serienmäßige Nutzung automatisierter Fahrzeuge besteht zurzeit noch nicht.

Im Hinblick auf zukünftige infrastrukturelle Gestaltung wäre es sinnvoll, auch für Österreich eine entsprechende Roadmap, ähnlich dem Vorbild aus Australien, zu erarbeiten. Unter Umständen könnte auch diese Arbeit einen Beitrag für zukünftige Gestaltungsansätze liefern.

⁷³ Vgl. ALP.Lab GmbH 2018

3 Technische Grundlagen von automatisierten Fahrzeugen

Um mögliche Missstände der bestehenden Infrastruktur für den Einsatz von AF ermitteln und aufzeigen zu können, wird die Kenntnis der Funktionsweise von AF als Voraussetzung angesehen. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel bereits in Serie verbaute, aber auch in der Testphase befindliche, technische Entwicklungen beschrieben.

Bei AF wird die Steuerung des Fahrzeugs, je nach Ausprägung des Automatisierungsgrades, zum Teil oder zur Gänze vom System, also vom Fahrzeug selbst übernommen. Um sichere und korrekte Fahrmanöver durchführen zu können, sind Informationen zur aktuellen Fahrsituation (Perzeption) und eine Abschätzung möglicher Folgeszenarien (Prädiktion) notwendig. Die Perzeption inkludiert die exakte Positionsbestimmung und Wahrnehmung von allen relevanten Objekten, dazu zählen unter anderem andere Verkehrsteilnehmer, Elemente der Infrastruktur, aber auch beispielsweise Personen im Umfeld der Straße, die nicht direkt am unmittelbaren Verkehrsgeschehen teilnehmen (z.B. am Straßenrand spielende Kinder). Der Mensch erfasst Bilder der aktuellen Verkehrssituation mittels seiner Augen, schließt aufgrund von Erfahrung auf mögliche Entwicklungsszenarien und entscheidet sich, basierend auf der zu erwarteten Situation, für ein Fahrmanöver. AF nutzen Sensoren zur Perzeption, also zur hochgenauen Bestimmung der eigenen Position und zur exakten Bestimmung anderer Objekte (Umfelderfassung). Zusätzlich werden Sensoren zur Erfassung des Fahrzeugzustandes (Erfassung der Fahrdynamik) und zur Überwachung des Innenraumes eingesetzt. Informationen der Fahrzeugsensorik werden in elektronischen Steuergeräten zusammengeführt und von einer Software verarbeitet. Die Software vergleicht die Eingangsdaten der Sensorik mit zahlreichen im Vorhinein programmierten Situationsmodellen und wählt im nächsten Schritt die am besten geeignete Handlungsalternative aus. Nach erfolgter Interpretation der Eingangsdaten werden die Informationen mittels Steuersignale über die Aktorik von AF (Längs- und Querverführung des Fahrzeugs mittels Bremsen, Beschleunigen und Lenken) in angemessene Fahrmanöver überführt. Das Steuergerät inklusive Software bildet demzufolge die Schnittstelle zwischen Sensorik und Aktorik.⁷⁴

Die Reichweite von Sensoren wird zum einen durch topografische Gegebenheiten (Radien, Kuppen, Wannen und andere Sichtbehinderungen) und zum anderen durch technische Möglichkeiten eingeschränkt. Um Situationen über die Reichweite der Sensorik hinweg erfassen zu können, ist der zusätzliche Einsatz von hochgenauen und hochaktuellen digitalen Karten angedacht. Da die Ortungsmöglichkeit mittels GPS für eine fahrstreifenfeine Positionserfassung und eine trajektorien-exakte Routenführung, speziell auch in innerstädtischen Gebieten, nicht ausreichend ist, könnten in zukünftigen digitalen Karten Landmarken verzeichnet werden, die die Positionsbestimmung eines Fahrzeugs unterstützen. Landmarken (beispielsweise Straßenschilder oder Leiteinrichtungen) werden von der Sensorik wahrgenommen und deren relative Position zum Fahrzeug mit der in digitalen Karten verzeichneten absoluten Position abgeglichen. Somit wird die exakte Bestimmung der absoluten Fahrzeugposition relativ zu den erfassten Landmarken möglich. Beispielsweise um den Betrieb von AF der Automatisierungsstufe 3 zu ermöglichen, gelten derartige digitale Karten als absolute Voraussetzung, da Übernahmezeiten von bis zu 15 Sekunden eingeplant werden müssen. Bei einer Fahrt mit 130 km/h auf einer Autobahn wird bei einer Übernahmezeit von 15 Sekunden ein Weg von etwa 540 m zurückgelegt. Die maximale aktuelle Reichweite von Sensoren liegt hingegen derzeit nur bei etwa 200 m.⁷⁵

⁷⁴ Vgl. Cacilo et al. 2015; Dietmayer 2015

⁷⁵ Vgl. Cacilo et al. 2015; Neukirchner 2010

Um beispielsweise Unfall- oder Baustellen in derartigen digitalen Karten verzeichnen zu können und diese Informationen den Fahrzeugen möglichst ohne Zeitverzögerung zur Verfügung zu stellen, ist eine ständige Verbindung von AF mit Fahrzeugherstellern, Verkehrsleitzentralen oder Kartenbetreibern absolut erforderlich. Vorgesehen ist, dass eine derartige, als Car2Backend Communication (C2B) bezeichnete Kopplung mittels Internetverbindung früher oder später flächendeckend über das Mobilfunknetz erreicht wird.⁷⁶

Weitere Vorteile für den Betrieb von AF werden durch die Kopplung dieser untereinander oder der Vernetzung von den Fahrzeugen mit der Infrastruktur erwartet. Bei der digitalen Kopplung von Fahrzeugen untereinander spricht man von Car2Car-Communication (C2C), bei Vernetzung mit Infrastrukturelementen von Car2Infrastructure-Communication (C2I). Beide Arten der Verknüpfung gelten als nicht notwendig, um den Betrieb von AF zu bewerkstelligen, könnten aber die Effizienz und den Komfort steigern, die Reichweiten möglicher Nutzung erhöhen und zur Vermeidung von gefährlichen Situationen beitragen.⁷⁷

3.1 Sensorik

Wie bereits erwähnt befasst sich die Sensorik eines Fahrzeugs mit der Wahrnehmung des Fahrzeugumfeldes (**Sensoren zur Umfelderkennung**) und des Fahrzeugzustandes (**Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik**). Zunehmend gewinnt auch die Überwachung des Innenraums, also die Zustandsüberwachung des Fahrers, an Bedeutung. Die Sensorik übernimmt beim automatisierten Fahren also im weitesten Sinn die Aufgabe der menschlichen Sinnesorgane.

Bei der **Erfassung der Fahrdynamik** erstellt ein Fahrzeug kontinuierlich eine Eigendiagnose in drei Achsen (Längs-, Quer- und Vertikalachse). Die Wechselwirkungen zwischen Mensch, dem Fahrzeug, eventuellem Ladungsgut und der Umwelt werden mittels Sensorik wahrgenommen und in der Steuerungseinheit verarbeitet. Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik kommen bereits jetzt bei modernen Fahrzeugen serienmäßig zum Einsatz und tragen in Form von FAS zur Erhöhung der Sicherheit bei. Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik haben bereits jetzt weitgehend Marktreife erlangt. Weiterentwicklungen sind auch für den Einsatz in hochautomatisierten Fahrzeugen nicht zwingend erforderlich. Folgende Tabelle bietet einen kurzen Überblick über derzeit eingesetzte Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik und deren Funktion.⁷⁸

Tabelle 2: Sensoren zur Erfassung der Fahrdynamik⁷⁸

Typ	Funktion	Einsatz
Raddrehzahlsensor	Liefert Informationen über die Radbewegung hinsichtlich Geschwindigkeit, Beschleunigung und Richtung	ABS, ASR, ESP, ACC
Lenkwinkelsensor	Bestimmt die Lenkradposition durch Messen des Lenkwinkels	ESP, Servolenkung, ACC; Kurvenlicht
Drehratensensor und Beschleunigungssensor	Liefert Informationen über dynamisches Verhalten des	ESP

⁷⁶ Vgl. Cacilo et al. 2015

⁷⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015; Johanning und Mildner 2015

⁷⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015; Mörbe 2015

	Fahrzeugs im Raum. Ermittlung der Drehbewegung Beschleunigung in alle drei Achsen	
Bremsdrucksensor	Ermittlung des Ausmaßes der Bremsdruckveränderung	ESP
Bremspedalwegsensor	Erfassung des Fahrerbremswunsches bei Hybrid-Fahrzeugen	Gekoppelte Ansteuerung generatorischer und hydraulischer Bremsen

Da sich die Erfassung der Fahrdynamik nicht direkt auf die Gestaltung von Infrastrukturelemente auswirkt, werden derartige Systeme in dieser Arbeit nicht näher beschrieben.

Neben den kurz beschriebenen Systemen zur Erfassung der Fahrdynamik spielen mit voranschreitender Automatisierung von Fahrzeugen **Systeme zur Umfelderkennung** eine immer wichtiger werdende Rolle. Unterschieden werden hierbei Ultraschallmessungen, Radarsensoren, Lidarsensoren und Kamerasensorik. Da sich die Gestaltung der Infrastruktur direkt auf die Funktion und Genauigkeit derartiger Sensoren auswirken kann, werden die einzelnen Systeme in den folgenden Abschnitten genauer erläutert.

3.1.1 Ultraschall

Ultraschallsensoren basieren auf dem Prinzip der Laufzeitmessung von Schallwellen in der Luft. Derartige Sensoren erzeugen mittels piezoelektrischem Effekt⁷⁹ Ultraschallwellen und messen den von Objekten reflektierten Schall wiederum mit diesem – sie arbeiten demnach abwechselnd als Sender und Empfänger. Gemessen wird die Zeit zwischen Senden und Empfangen der Schallwellen. Mittels Auswertungselektronik kann so auf den radialen Abstand von Objekten zum Sensor geschlossen werden. Um die Genauigkeit von Messungen zu erhöhen und Fehler zu vermeiden, werden oftmals mehrere Ultraschallsensoren gleichzeitig eingesetzt.⁸⁰

Da durch den Einsatz von Ultraschallsensoren nur Objekte im Nahbereich (Reichweite bis ca. 5 m) detektiert werden können, ist der Einsatz in der Automobiltechnik derzeit auf Parkassistenten und auf die Überwachung des toten Winkels von Außenspiegeln von Fahrzeugen begrenzt. Des Weiteren ist eine Messung derartiger Sensoren im Vergleich zu auf Radar oder Lidar basierenden Systemen eher langsam, wodurch die Ermittlung der Geschwindigkeit von Objekten relativ zum Sensor nur schlecht möglich ist. Aus diesen Gründen spielen Ultraschallsysteme bei der Automatisierung von Fahrzeugen eine eher untergeordnete Rolle. Ihr Einsatzgebiet wird nach derzeitigen Erkenntnissen neben den bereits erwähnten Fahrfunktionen ev. noch auf den Einsatz bei Spurwechselassistenten beschränkt sein. Da die Kosten von Ultraschallsensoren im Gegensatz zu Radar- oder Lidarsensoren mit 10-20 € pro Stück sehr gering sind und der Verbau in Fahrzeugen sehr unauffällig und kompakt möglich ist,

⁷⁹ Ein Piezokristall erzeugt bei mechanischer Deformation eine sich dazu proportional verhaltende elektrische Ladung, die als elektrische Spannung abgenommen werden kann. Umgekehrt kann durch Anlegen einer elektrischen Spannung eine mechanische Deformation des Kristalles erreicht werden. (Noll und Rapps 2015)

⁸⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015; Knoll 2010; Noll und Rapps 2015; Schindler 2009

weist die Anwendung trotz der beschränkten Einsatzmöglichkeiten eine positive Kosten-Nutzen-Relation auf.⁸¹

Folgende Tabelle bietet einen guten Überblick der Vor- und Nachteile von Ultraschallsystemen und wurde aus dem Bericht „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen“ von Cacilio et al. übernommen und teilweise ergänzt.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Ultraschallsensoren⁸²

Ultraschallsensoren: Vor- und Nachteile	
+	Kompaktheit und einfache bauliche Integration
+	Robustheit gegenüber Nebel, Dampf und Schmutz
+	Funktionsfähigkeit bei Nacht
+	Positive Kosten-Nutzen-Relation
-	Langsame Messung
-	schlechte Geschwindigkeitsermittlung
-	horizontale und vertikale Auflösung niedrig
-	Interferenzen bei mehreren Ultraschallsensoren
-	Aufgrund der geringen Reichweite nur für kurze Distanzen einsetzbar (bei höherer Reichweite große Ungenauigkeit)
-	Unzuverlässigkeit bei Regen und Schnee
-	Keine ausreichend genaue Lokalisierung eines Messobjektes in lateraler und vertikaler Richtung möglich
-	Unzuverlässig, wenn sich starke akustische Fremdstrahler in unmittelbarer Fahrzeughöhe befinden (Pressluftgeräusche, metallische Reibgeräusche)

Herausforderungen für Forschung und Entwicklung (F&E) im Bereich der Ultraschalltechnik liegen bei der Verbesserung der Filterung von störenden Objekten und bei der Erhöhung der Messentfernung.⁸³

3.1.2 Radar

Ein in Fahrzeugen verbautes Radargerät (Radio Detection and Ranging – Deutsch: Funkerkennung und Bereichsanpassung) besteht aus einem Funksender und einem Funkempfänger. Durch Aussenden und Empfangen von elektromagnetischen Wellen kann die Position und Geschwindigkeit von Objekten relativ zum Radargerät, also zum Fahrzeug selbst, ermittelt werden. Zur Positionsbestimmung werden Abstand und Winkel von Objekten gemessen. Durch kontinuierliche Messung und Ermittlung der Veränderung der beiden Parameter kann die Geschwindigkeit relativ zur eigenen bestimmt werden. Radargeräte erlauben jedoch durch Nutzung des Dopplereffektes eine zuverlässigere und genauere Messung der relativen Geschwindigkeit von Objekten. Das abgestrahlte Signal erfährt durch den Aufprall von relativ zum Sensor bewegten Objekten eine Frequenzverschiebung. Diese Frequenzverschiebung des Signalechos wird gemessen und so die Geschwindigkeit von Objekten ermittelt. Unterteilt werden Radar-Systeme in Nahbereichsradar (0-30 m), Mittelbereichsradar (Objekterkennung bis 100 m) und Fernbereichsradar (Erkennung von Objekten bis 200 m).⁸⁴

⁸¹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Noll und Rapps 2015; Mosquet et al. 2015

⁸² Vgl. Cacilo et al. 2015; Noll und Rapps 2015; Schindler 2009; Bartl 2012

⁸³ Vgl. Noll und Rapps 2015

⁸⁴ Vgl. Cacilo et al. 2015; Knoll 2010; Schindler 2009

Unterschieden können Radarsysteme weiters durch ihren abgedeckten Frequenzbereich werden. Verfügbar sind derzeit Radarsysteme mit folgenden Bandbreiten: 24,0-24,25 GHz, 21,65-26,65 GHz, 76-77 GHz und 77-81 GHz. Derzeit haben Systeme mit einer Bandbreite von 76-77 GHz den größten Marktanteil. Eine höhere Bandbreite eines Systems (Bereich der abgedeckten GHz) bietet Vorteile durch eine höhere Trennfähigkeit von Objekten und einer genaueren Messung der Relativgeschwindigkeit von Objekten. Langfristig werden sich deshalb 77-81 GHz-Systeme gegenüber Systemen mit einer Bandbreite von 76-77 GHz durchsetzen (Erhöhung der Bandbreite um 3 GHz).⁸⁵

Durch steigende Marktdurchdringung und technische Weiterentwicklungen konnten die Kosten von Radarsystemen in den letzten Jahren stark reduziert werden. Die Kosten für Nahbereichsradar liegen im Bereich von 50-100 € und für Fernbereichsradar im Bereich von 125-150 €⁸⁶. Radarsysteme mit einer Bandbreite von 77-81 GHz sind derzeit noch deutlich teurer als Systeme mit geringeren Bandbreiten, jedoch kann bei voranschreitender Entwicklung und vermehrtem Einsatz auch bei diesen Systemen von einer Senkung der Kosten ausgegangen werden.⁸⁷

Folgende Tabelle bietet einen guten Überblick der Vor- und Nachteile von Radarsystemen und wurde inhaltlich dem Bericht „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen“ von Cacilio et al. übernommen.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile von Radarsensoren⁸⁸

Radarsensoren: Vor- und Nachteile	
+	Wetterunabhängigkeit / Wetterrobustheit
+	Direkte Messung der Relativgeschwindigkeit möglich (mittels Dopplereffekt)
+	Genaue Distanzmessung
+	Kleine, kompakte Bauweise
+	Durchstrahlungsfähigkeit durch Kunststoffe (günstig für Verbau)
+	Hohe Robustheit gegenüber Verschmutzung und Erschütterung
+	Unabhängigkeit von Tageslicht
-	Grobes Auflösungsvermögen (insbesondere Winkelauflösung)
-	Kleiner Erfassungsbereich
-	Unterscheidung und Klassifizierung von Objekten kaum möglich
-	Störeinflüsse durch Interferenz möglich (z.B. durch Fremdradar)
-	Messung in vertikaler Achse ungenau
-	Erkennung von Phantomobjekten möglich

Zukünftige Herausforderungen für F&E der Radartechnik liegen darin, Leistungen wie Genauigkeit, Funktionsfähigkeit bei unterschiedlichen Wetterbedingungen und Geschwindigkeiten, Auflösung – Trennfähigkeit von Objekten, Größe und somit die Integrierbarkeit in Fahrzeugen und die Energieeffizienz zu erhöhen. Da bereits technische Gegenmaßnahmen, um Interferenzeffekten (gegenseitige Beeinflussung von Radarsystemen) entgegenzuwirken, bestehen, ist diesbezüglich auch bei weiterer Marktdurchdringung von Radarsystemen in Automobilen keine Leistungsminderung zu erwarten.⁸⁹

⁸⁵ Vgl. Cacilo et al. 2015; Winner 2015

⁸⁶ Vgl. Mosquet et al. 2015

⁸⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015

⁸⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015; Schindler 2009; Bartl 2012

⁸⁹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Stroh 2014

Die derzeitigen Einsatzbereiche umfassen ACC-Systemen, Einparkassistenten, Spurwechselassistenten und die Fußgängerdetektion.⁹⁰

3.1.3 Lidar

Lidarsensoren (Light Detection and Ranging – Deutsch: Lichterkennung und Bereichsanpassung) funktionieren ihrem Prinzip nach ähnlich wie Radarsensoren. Lichtwellen (Ultraviolett-, Infrarotstrahlen oder Strahlen aus dem sichtbaren Licht) werden gebündelt vom Sendemodul ausgestrahlt und das Echo vom Empfänger aufgenommen. Gemessen wird die Laufzeit zwischen Senden und Empfangen des Laserpulses (Pulslaufzeitverfahren), die sich dabei proportional zur radialen Entfernung eines detektierten Objektes verhält. Mittels dieser Methode können wie bei Radarsystemen die Entfernung und die relative Geschwindigkeit von Objekten zum Sensor gemessen werden. Grundsätzlich ist auch mittels Lidarsensorik die Messung der Relativgeschwindigkeit von Objekten durch die Nutzung des Dopplereffektes möglich. Aufgrund erhöhter Anforderungen beim Messen der Dopplerfrequenz im Lichtspektrum und damit verbundenen Kosten wird die Relativgeschwindigkeit jedoch meist konventionell gemessen. Durch Differenzierung von zwei oder mehreren Messungen wird die Geschwindigkeit von Objekten relativ zum Sensor errechnet. Da mittels einer Laserdiode nur ein Laserimpuls erzeugt wird, kann die Distanz von Objekten nur in eine Richtung ermittelt werden. Um ein vollständiges Bild (die Außenkonturen) eines Objektes zu erhalten, müssen deshalb mehrere Dioden gleichzeitig oder rotierende, mechanische Spiegelsysteme eingesetzt werden.⁹¹

Lidarsensoren können also in ihrer grundsätzlichen Bauweise in zwei unterschiedliche Systeme kategorisiert werden.

1.) Systeme, deren Funktion auf das Mehrstrahlprinzip zurückzuführen ist. Derartige Systeme funktionieren ohne mechanisch bewegte Teile. Mehrere unabhängige Sendekanäle sind nebeneinander angeordnet und erzeugen ein Strahlenbündel. Die gleiche Anzahl an Empfangskanälen nimmt das Echo der Laserpulse auf. Mittels Elektronik werden die Informationen der einzelnen Kanäle verarbeitet und so über die Winkelauflösung (abhängig von der Strahlbreite) und über den lateralen Öffnungswinkel (abhängig von der Anzahl der Strahlen) die Position und relative Geschwindigkeit eines Objektes (inklusive Außenkonturen) ermittelt. Derartige Systeme erreichen Reichweiten von über 150 m.

2.) Die zweite Kategorie der Lidarsensoren sind sogenannte Laserscanner. Ausgestrahlte Lichtwellen werden über rotierende Spiegel abgelenkt oder aus einem rotierenden Sendekanal ausgesandt. Bei dieser Bauweise kann mit nur einer Sende- und Empfangseinrichtung, je nach Montage, der gesamte Bereich (360°) rundum ein Fahrzeug abgetastet werden. Durch den Einsatz von mehreren Laserdioden wird die Auflösung des Bildes eines abgetasteten Bereichs erhöht. Entsprechende Laserscanner ermöglichen so sogar eine 3D-Aufnahme des gesamten Umfeldes eines Fahrzeugs mit der Möglichkeit einer Objektklassifizierung (Bestimmung der Größe und des Typs von umliegenden Objekten).⁹²

⁹⁰ Vgl. Winner 2015

⁹¹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Gotzig und Geduld 2015; Schindler 2009

⁹² Vgl. Cacilo et al. 2015; Schindler 2009; Frost & Sullivan 2016

Das „self-driving car“⁹³ von Google wurde mit einem am Dach angebrachten Laserscanner mit 64 Laserstrahlen ausgestattet und konnte so bei ersten Testfahrten 2009, fast ohne Eingriff des Testfahrers, im Autobahnverkehr bestehen. Jedoch konnten derartige Systeme aufgrund hoher Kosten noch nicht die Marktreife erreichen. Die Kosten des von Google verwendeten Lidarsensors betragen ca. 60.000 € - beim Nachfolgemodel mit nur 16 Laserdioden konnte eine Reduktion der Kosten der Lidarsensoren um ca. 90% erreicht werden. Das Nachfolgemodell des Unternehmens Waymo wurde 2016 präsentiert. Die Installation des Laserscanners am Dach des Fahrzeugs ist sowohl mit optischen Einbußen als auch sicherheitstechnischen Risiken verbunden und bedarf aus diesen Gründen auch noch weiterer Entwicklung.⁹⁴

Systeme, die auf dem einfacheren Mehrstrahlprinzip beruhen und ohne mechanische Komponenten funktionieren, sind in der Lage, 2D-Aufnahmen zu generieren. Der Erfassungsbereich ist jedoch beschränkt (12° - 16° horizontaler Erfassungswinkel beim Hella IDIS). Derartige Systeme können deshalb lediglich für Längsführungsaufgabe eingesetzt werden. Beispielsweise werden im VW-up oder im Ford Focus Lidarsensoren nach dem Mehrstrahlprinzip verbaut und für den aktiven Bremsassistent genutzt. Die Kosten von derartigen Systemen bewegen sich im Bereich von 80-250 € je Sensor (Funktion mittels Mehrstrahlprinzip).⁹⁵

Folgende Tabelle bietet einen guten Überblick der Vor- und Nachteile von Lidarsystemen und wurde aus dem Bericht „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen“ von Cacilio et al. übernommen und teilweise ergänzt.

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Lidar-Sensoren⁹⁶

Lidar-Sensoren: Vor- und Nachteile	
+	Eignung zur Abstandsmessung und (eingeschränkten) Objekterkennung
+	Feine Auflösung und hohe Genauigkeit im Millimeter- bis Zentimeter-Bereich
+	Unabhängigkeit von Tageslicht
+	Großer Winkelerfassungsbereich (Laserscanner)
+	Große Reichweite (bis über 200m)
+	Messung in Lichtgeschwindigkeit ermöglicht schnelles „Abtasten“
+	Sehr genaue Bestimmung von lateraler und vertikaler Entfernung
+	Genaue Bestimmung der Relativgeschwindigkeit
-	Laserscanner mit großer Bauform und hoher Anfälligkeit aufgrund mechanisch beweglicher Teile
-	Störanfälligkeit bei Staub, Regen, Spiegeleffekten Gegenlicht, und lichtabsorbierenden / lichtdurchlässigen Materialien
-	Fahrbahnoberfläche beeinflusst die Rückstreuung

⁹³ 2009 startete Google das Projekt „self-driving car“. Als anfängliches Testfahrzeug wurde ein mit zahlreicher Umfeldsensorik ausgestatteter Toyota Prius eingesetzt. Mit diesem Fahrzeug konnten bereits mehrere 100 km automatisiert ohne den Eingriff des Fahrers absolviert werden. 2016 wurde auf Basis des „self-driving car“ Projekt das Unternehmen „Waymo“ gegründet. Mittlerweile zählen 4 hochautomatisierte Testfahrzeuge zur Fahrzeugflotte des Unternehmens, eines davon ist bereits für den komplett fahrerlosen Betrieb ausgelegt und besitzt kein Lenkrad. (waymo.com)

⁹⁴ Vgl. Cacilio et al. 2015; Amadeo 2017

⁹⁵ Vgl. Cacilio et al. 2015; Schindler 2009

⁹⁶ Vgl. Cacilio et al. 2015; Schindler 2009; Bartl 2012

- Sichtweiteneinschränkung bei Nebel oder Verschmutzung
- Objektklassifizierung nur eingeschränkt möglich
- Preisreduktion von Laserscannern für Marktreife notwendig

Die größte Herausforderung für F&E im Bereich der Lidarsensorik wird neben der Kostenoptimierung die Reduzierung der baulichen Größe von Lidarsystemen darstellen. Beispielsweise Hersteller wie Bosch und Valeo befassen sich zurzeit mit der baulichen Optimierung. Glaubt man den Aussagen einiger namhafter Autohersteller wie Toyota oder Daimler, ist langfristig gesehen davon auszugehen, dass Fahrzeuge höherer Automatisierungsstufen nicht ohne Lidarsensorik auskommen werden.⁹⁷

3.1.4 Kamerasensorik

Die Funktion der Kamerasensorik unterscheidet sich grundlegend von allen bereits beschriebenen Sensortypen, weist dafür eine hohe Ähnlichkeit mit der menschlichen Wahrnehmung auf. Kameras erzeugen ein Bild der Umgebung, welches mittels Software ausgewertet wird. Wie bei Gesichtserkennungssoftware werden Objekte detektiert und zugeordnet. Dadurch ist der Einsatz von Kamerasensorik sehr vielseitig möglich. Einige für die Führung eines Fahrzeugs notwendige Informationen, wie Leitlinien oder die Bedeutung von Straßenschildern, sind nach heutigem Stand der Technik sogar ausschließlich mittels Videodetektion erfassbar.⁹⁸

Durch Messen der relativen Abstände von Objekten und Erfassung der Konturen von Objekten kann mittels Kamerasensorik ein dreidimensionales Bild erzeugt werden, welches in den Punkten spektrale, räumliche und temporäre Auflösung dem menschlichen Auge ähnlich ist. Bei der Umfelderkennung werden Kameras zur Identifikation von Verkehrszeichen und Verkehrsleiteinrichtungen, zur Erfassung des Fahrbahnzustandes und zur Erfassung und Klassifizierung von Verkehrsteilnehmern und deren Intentionen eingesetzt. Weiters werden Kameras für die Überwachung des Fahrzeuginnenraums eingesetzt (beispielsweise zur Überwachung der Übernahmefähigkeit des Fahrers). Da die Kamerasysteme zur Innenraumüberwachung für die Gestaltung der Infrastruktur nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden im Folgenden lediglich Kamerasysteme zur Umfelderkennung beschrieben.⁹⁹

Grundsätzlich können bei der Umfelderkennung zwei verschiedene Kamerasysteme unterschieden werden: Monokameras und Stereokameras. Ist im Fahrzeug eine einzelne Kamera zur Umfelderkennung verbaut, spricht man von einem Monokamerasystem, sind mehrere (meist zwei) Kameras verbaut, dann spricht man von einem Stereokamerasystem. Beide Systeme werden meist hinter der Windschutzscheibe eines Fahrzeugs installiert.¹⁰⁰

Stereokamerasysteme sind in ihrer Funktionsweise dem menschlichen Augen ähnlich. Ein Bild wird aus zwei unterschiedlichen Winkeln erfasst, übereinandergelegt und somit dreidimensional wahrgenommen. Der Vorteil gegenüber Aufnahmen eines Bildes aus nur einem Blickwinkel (Monokamera) ist, dass Entfernungen zu detektierten Objekten besser wahrgenommen und somit besser gemessen werden können. Oftmals werden von Stereokamerasystemen einfarbige Objekte unzureichend wahrgenommen, was sich bei der Zuordnung und Klassifizierung derartiger Objekte als

⁹⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015; Gotzig und Geduld 2015

⁹⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015; Dang et al. 2005; Punke et al. 2015

⁹⁹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Punke et al. 2015

problematisch erweist. Des Weiteren sind zum Synchronisieren und Kalibrieren der beiden Kameras komplizierte Algorithmen notwendig, welche eine hohe Rechenleistung der Systeme voraussetzen.¹⁰⁰

Da im Laufe der Zeit die Auflösung der eingesetzten Kameras deutlich verbessert werden konnte, haben sich die anfänglichen Nachteile von monokularer Bildverarbeitung gegenüber der Bildaufnahme aus zwei Winkeln weitgehend relativiert. Zudem haben Monokameras den Vorteil der kleineren Bauweise und des geringeren Preises gegenüber Stereosystemen. In Kombination mit Radar- oder Lidarsystemen kann auch mit Monokameras eine zufriedenstellende Umfelderkennung realisiert werden. Somit ist der Einsatz von Stereokamerasystemen auch für Fahrzeuge der höheren Automatisierungsgrade nicht zwingend notwendig. Aktuell werden Großteiles Monokamerasysteme für den Serieneinsatz verwendet, wobei mit zunehmender Rechenleistung auch der Einsatz von Stereosystemen zunimmt. Mittlerweile werden Kameras auch häufig in Kombination mit anderen Sensoren (z.B. Lidar oder Radar) in einem gemeinsamen Gehäuse verbaut und eingesetzt. Mittels Sensordatenfusion können so die Vorteile beider Systeme genutzt und so die Genauigkeit und Ausfallsicherheit der Systeme erhöht werden.¹⁰⁰

Folgende Tabelle bietet einen guten Überblick der Vor- und Nachteile von Kamerasensoren und wurde aus dem Bericht „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen“ von Cacilio et al. übernommen und ergänzt.

Tabelle 6: Vor- und Nachteile von Kamerasensoren¹⁰¹

Kamerasensoren: Vor- und Nachteile	
+	Hohe Winkelauflösung sowohl in lateraler als auch in vertikaler Richtung
+	Gute Eignung zur Objekterkennung und Objektklassifikation
+	Bei einer Stereokamera gute Eignung zur Relativgeschwindigkeitsmessung
+	Skalierbarkeit des Funktionsumfangs durch Anpassung der Software
+	Geringe Komplexität der Sensorhardware (Monokamera)
+	Aufzeichnung der Umgebungsszenerie mit einem hohen Detailgrad
+	Kompakte Bauweise (Monokamera)
+	Keine gesetzliche Einschränkung bei der Zulassung
+	Bestehende Infrastruktur ist auf visuelle Wahrnehmung ausgerichtet – idealer Einsatz von Kamerasensorik (Analogie zum menschlichen Auge)
-	Leistung hängt stark von Tageslicht bzw. guter Beleuchtung ab / nachts zusätzliche Beleuchtung bzw. Wärmebildkamera erforderlich
-	Bei schlechten Wetterbedingungen (Nebel, Gewitter) sinken Detektionsrate und Reichweite

Seit dem Einsatz von Rückfahrkameras in Fahrzeugen hat sich das Einsatzgebiet erheblich ausgeweitet, gleichzeitig konnte bei steigender Datenqualität eine Reduktion der Kosten erreicht werden. Die Kosten für Monokameras liegen im Bereich von 125-150 € je Stück, Stereokameras Kosten ca. 150-200 € je Stück.^{102 103}

Kann die Rechenleistung von Systemen weiter gesteigert werden, dann ist auch eine Verbesserung der Bildverarbeitung zu erwarten. Gleichzeitig wird dadurch der Einsatz von Kameras mit höheren

¹⁰⁰ Vgl. Cacilio et al. 2015; Punke et al. 2015

¹⁰¹ Vgl. Cacilio et al. 2015; Stiller et al. 2015; Bartl 2012; Liu 2009

¹⁰² Vgl. Mosquet et al. 2015

¹⁰³ Cacilio et al. 2015

Auflösungen ermöglicht, was wiederum eine Steigerung des Abstraktionspotenzials zur Folge hat. Demnach werden Kameras bei voranschreitender Automatisierung eine unverzichtbare Rolle spielen.¹⁰⁴

3.1.5 Zusammenfassung und Ausblick der Sensorik

Für eine zufriedenstellende direkte, Umfelderkennung werden der kombinierte Einsatz unterschiedlicher Sensorik unumgänglich sein. Zum einen sind Konzepte vorhanden, die die bauliche Kombination von Systemen verfolgen (z.B. Multisensoriksysteme – Integration von Radarsensoren in Kameras), zum anderen wird die Sensordatenfusion weiter verbessert werden. Bei der Sensordatenfusion werden Eingangsdaten verschiedener an einem Fahrzeug montierten Sensoren mittels Elektronik zusammengeführt und über eine Software abgeglichen und ausgewertet. Somit ist es möglich, eine ganzheitliche Ansicht, einen Rundumblick (360°) um ein Fahrzeug zu erstellen und alle Vorteile der einzelnen Systeme auszunutzen.¹⁰⁵

Welche Systemkombinationen tatsächlich bei hochautomatisierten Fahrzeugen zum Einsatz kommen, wird zum einen von der jeweiligen Automatisierungsstufe der Fahrzeuge und zum anderen von zukünftigen Weiterentwicklungen der diversen Sensoren abhängen. Als vielversprechend sind die Entwicklungen in der Kamerasensorik anzusehen. Jedoch werden auch derartige Systeme nicht allen Anforderungen, die für AF der höheren Stufen notwendig sind, gerecht. Beispielsweise wird, allen Erwartungen nach, auch zukünftig die notwendige Reichweite mit rein auf Kameras basierenden Systemen nicht erreicht. Zudem können Kameras in Sonderfällen ausfallen (beispielsweise beim Einfahren in einen dunklen Tunnel an einem sehr hellen Tag).¹⁰⁴

Zusammenfassend werden die Eigenschaften der einzelnen Sensorsysteme in Abbildung 4 dargestellt. Abbildung 4 wurde von Cacilio et al. aus dem Bericht „Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen“ übernommen.

¹⁰⁴ Vgl. Punke et al. 2015

¹⁰⁵ Vgl. Cacilio et al. 2015; Darms 2015

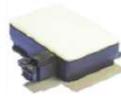
					
Sensortyp	Radar	Kamera	Ultraschall	Lidar (Mehrstrahl)	Lidar (Laserscanner)
Öffnungswinkel	20-70°	50-70°	30-50°	10-30°	180-360°
Maximale Reichweite	50-200 m	50-150 m	2-5 m	10-150 m	150-200 m
Haupt-Messgrößen	Abstand, Relativgeschwindigkeit	Objektkontur, Winkel	Abstand	Abstand, Winkel	Abstand, Winkel, Objektkontur
Umfeldmodell					
Kosten	50-150 Euro	100-200 Euro	10-20 Euro	80-250 Euro	10.000 – 60.000 Euro

Abbildung 4: Eigenschaften der Sensorsysteme¹⁰⁶

Grundsätzlich werden Radar-, Lidar-, und Kamerasensoren als die am vielversprechendsten Technologien in der Umfeldsensorik erachtet. Jedoch könnte unter Umständen bei Weiterentwicklung der Sensorsysteme oder durch die Nutzung digitaler Karten die Anzahl an notwendigen Sensoren und Systemen reduziert werden.¹⁰⁷

3.2 Aktorik

Die Aktorik eines Fahrzeugs bezeichnet die tatsächlichen Vorgänge, die zur Steuerung eines Fahrzeugs notwendig sind. Um ein Fahrzeug zu manövrieren, müssen Lenk-, Brems-, Beschleunigungs- und Schaltvorgänge durchgeführt werden. Bei konventionellen Fahrzeugen werden diese Manöver direkt vom Mensch, also vom Fahrer, aufgrund der durch die menschlichen Sinnesorgane aufgenommenen Umgebungsbedingungen eingeleitet und mechanisch an die Längs- und Querführung weitergeleitet. Bei AF muss die Ansteuerung dieser Vorgänge, abhängig vom Grad der Automatisierung teilweise oder zur Gänze von einer im Fahrzeug verbauten elektrischen Steuereinheit übernommen werden. Informationen der bereits beschriebenen Fahrzeugsensorik in Kombination mit Daten digitaler Karten werden im Steuergerät verarbeitet und in konkrete, elektrische Steuerbefehle für die Aktorik umgewandelt. Das Steuergerät kann somit als Schnittstelle zwischen Sensorik und Aktorik angesehen werden. Der wohl größte Unterschied zwischen der Aktorik konventioneller Fahrzeuge und jener von AF liegt demnach in der Art der Ansteuerung. In AF erfolgt die Ansteuerung der Aktorik nicht mehr mechanisch, sondern elektrisch. Bei Fahrzeugen, die einen Mischbetrieb ermöglichen (Ansteuerung automatisiert und konventionell), werden die mechanisch vom Menschen generierten Steuerbefehle

¹⁰⁶ Cacilo et al. 2015, S. 59

¹⁰⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015

nicht direkt zur Ansteuerung der Längs- und Querführung verwendet, sondern zuvor in elektrische Signale umgewandelt und wieder über ein Steuergerät mit den Lenk-, Brems-, Gas- und Schaltmechanismen verknüpft. Entfallen mechanische Schnittstellen zum Fahrer vollständig, dann spricht man von sogenannten X-by-Wire-Ansätzen (Ansteuerung per Kabel). Folgende by-Wire-Konzepte können zur Längs- und Querführung von Fahrzeugen eingesetzt werden:¹⁰⁸

- Throttle-by-Wire: Elektrisches Gaspedal
- Brake-by-Wire: Elektrische Bremse
- Steer-by-Wire: Elektrische Lenkung
- Shift-by-Wire: Elektrische Schaltung

Im Folgenden werden derartige Systeme zur Anwendung in AF vorgestellt und kurz beschrieben.

3.2.1 Beschleunigungsregelung

Bei konventionellen Fahrzeugen erfolgt die Ansteuerung der Treibstoffzufuhr mechanisch über ein Gestänge ausgehend vom Gaspedal bis zum Motor. Soll die Längsführung jedoch automatisiert möglich sein, beispielsweise mit adaptiver Geschwindigkeitsregelung, muss die Ansteuerung des Motors elektrisch mittels Steuergerät möglich sein. Dazu müssen auch die durch den Menschen mechanisch über das Gaspedal eingeleiteten Steuersignale in elektrische Impulse umgewandelt werden und nicht mehr wie bisher mechanisch über ein Gestänge an die Steuerung übertragen werden. Ein elektronisches Gaspedal wird zwingend erforderlich. Moderne Fahrzeuge werden bereits heute standardmäßig mit einer elektronischen Motoransteuerung ausgestattet. Weiters können durch elektronische Motoransteuerung Beschleunigungsvorgänge, aber auch das Halten einer konstanten Geschwindigkeit hinsichtlich Effizienz optimiert werden. Beschleunigungsvorgänge werden mithilfe von, auf den jeweiligen Motor voreingestellten, Kennlinien durchgeführt. Elektronische Motoransteuerung stellt heute aus Herstellersicht keine Herausforderung mehr dar.¹⁰⁸

3.2.2 Bremssysteme

Entwicklungen zur Unterstützung des Fahrers bei Bremsvorgängen fanden bereits unabhängig und vor den voranschreitenden Entwicklungen des automatisierten Fahrens statt. Aus rein hydraulischen Bremssystemen entwickelten sich mit zunehmenden elektronischen Anteilen von Bremssystemen, elektrohydraulische Bremsen (EHB). Bei EHB wird der gewünschte Bremsdruck über Sensoren am Bremspedal abgenommen und „by wire“ an das Steuergerät weitergeleitet. Das Steuergerät leitet über die hydraulische Steuereinheit den Bremsvorgang ein. Die Bremsen selbst werden konventionell hydraulisch angesteuert. Mittels EHB wird das Bremsen eines Fahrzeugs unabhängig von der Betätigung des Bremspedals, also durch Auslösen mittels Sensorik, ermöglicht. Bereits teilweise etablierte Notbremsassistenten, wie beispielsweise von Volvo oder Mercedes, können somit einen Bremsvorgang ohne steuernden Eingriff des Fahrers einleiten. Der nächste Entwicklungsschritt von Bremssystemen sind vollständige elektrisch funktionierende Systeme. Nicht nur die Ansteuerung von Bremssystemen soll elektrisch funktionieren, sondern auch die Energieübertragung der Bremsen selbst soll elektrisch stattfinden. Derartige Systeme werden als Elektromechanische Bremsen (EMB) bezeichnet. Als große Vorteile dieser Systeme kann der Entfall der bisher erforderlichen Bremsflüssigkeit, die kompakte Bauweise und die Möglichkeit der vollständigen Fremdansteuerung durch FAS genannt werden. Wie im Schienenverkehr werden auch an elektronische Bremssysteme sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der Ausfallssicherheit gestellt. Derartige Systeme müssen nach

¹⁰⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015

dem fail-safe- oder dem fail-operational-Prinzip gestaltet werden. Das bedeutet, dass bei Systemausfall ein sicherer Systemzustand erreicht oder ein Notbetrieb eingeleitet werden muss. Gleichzeitig müssen die Bauteile der Bremssensorik und -aktorik hohen Anforderungen hinsichtlich Robustheit und Wetterbeständigkeit genügen.¹⁰⁹

2015 stellte das Unternehmen Bosch ein Bremssystem vor, das beispielsweise auf Autobahnen im Kolonnenverkehr einen vollautomatisierten Betrieb bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h ermöglicht.¹¹⁰

Aufgrund der hohen Anforderungen an derartige Systeme sind bis zum flächendeckenden Einsatz von Break-by-Wire-Systemen noch Weiterentwicklungen hinsichtlich der Ausfallsicherheit von EMB inklusive Ansteuerung notwendig. Zusätzlich werden sogenannte Hybridlösungen untersucht, bei denen die Vorderradbremse hydraulisch betätigt werden (EHB) und die Hinterradbremse rein elektrisch funktionieren (EMB). Derartige Systeme sind in ihrer Entwicklung bereits weit fortgeschritten und könnten bald Marktreife erlangen.¹¹⁰

3.2.3 Lenksysteme

Die Lenkung eines Fahrzeugs hat zum einen die Aufgabe, die durch die Lenkbewegung des Fahrers aufgebrachte Querführung des Fahrzeugs auf die Räder zu übertragen, und zum anderen über haptische Rückmeldung den Fahrer über die aktuelle Fahrsituation und die Fahrbahnbeschaffenheit zu informieren. Mit der Entwicklung der elektrischen Servolenkung wurde das Lenken eines Fahrzeugs deutlich vereinfacht und gleichzeitig wurde damit der wichtigste Grundstein für Steer-by-Wire-Systeme gelegt. Heute wird die elektrische Lenkunterstützung auch bei Neufahrzeugen der unteren Preisklassen bereits als Standard erachtet und ist im Normalfall nicht mit Zusatzkosten bei der Anschaffung verbunden. Um automatisiertes Lenken grundsätzlich zu ermöglichen, muss lediglich der Elektromotor der Servolenkung mittels Steuergerät angesteuert werden. Tatsächliche Steer-by-Wire-Systeme kommen jedoch komplett ohne mechanische Kopplung des Lenkrades mit der Fahrzeugachse über die Lenksäule aus. Die Lenkbewegung wird über Sensoren am Lenkrad abgenommen und über ein Steuergerät und einen Elektromotor auf die Lenkachse übertragen. In diesem Fall muss auch am Lenkrad ein Elektromotor vorgesehen werden, um die haptische Rückmeldung an den Fahrer zu ermöglichen. Ausgenommen davon wären lediglich fahrerlose Fahrzeuge der Stufe 5.¹¹¹

Bei Steer-by-Wire-Systemen muss nach dem fail-safe oder dem fail-operational-System zusätzlich ein Redundanzsystem vorgesehen werden, welches im Falle eines Ausfalls des Hauptsystems dessen Funktionen übernehmen kann. Dazu könnte eine konventionelle, mechanische Kopplung des Lenkrades mit der Lenkachse eingesetzt werden. Bei Fahrzeugen ohne Lenksäule oder Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen könnte diese Funktion beispielsweise von einem parallel installierten simultanen System übernommen werden. Dieses müsste jedoch eine separate Ansteuerung sowie eine eigene Stromversorgung für den Fall eines Gesamtausfalls des primären Systems besitzen. Es bestehen jedoch auch andere technische Gestaltungsmöglichkeiten für derartige Subsysteme, die entweder die komplette Funktion des primären Systems übernehmen oder mit eingeschränkter Funktion agieren.¹¹¹

Bereits heute werden Fahrzeuge mit entsprechenden Parkassistenten in Serien hergestellt. Derartige Systeme sind in der Lage die komplette Querführung eines Fahrzeugs beim Einparken zu übernehmen.

¹⁰⁹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Remfrey et al. 2015; Bayer et al. 2015; Volvo Car Austria 2011; Daimler AG 2016

¹¹⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015

¹¹¹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Reimann et al. 2015

Aus rechtlichen Gründen dürfen diese Funktionen jedoch derzeit nur bis zu einer Geschwindigkeit von max. 10 km/h betrieben werden.¹¹²

Für den Einsatz von Steer-by-Wire-Systemen bei höheren Geschwindigkeiten müssen einerseits die rechtlichen Rahmenbedingungen angepasst werden und andererseits entsprechende Sensorik an Marktreife gewinnen.

3.2.4 Getriebe

Mit der Entwicklung von Automatikgetrieben in den 1940er Jahren wurde der Betrieb von Fahrzeugen fast ohne Schaltvorgänge ermöglicht. Bei Fahrzeugen mit Automatikgetrieben muss lediglich zwischen den Positionen Vorwärts- und Rückwärtsfahren, Parken und dem Leergang gewählt werden. Für vollautomatisierte Autobahnfahrten wäre dieses heute weitgehend etablierte System bereits ausreichend. Um jedoch auch beispielsweise fahrerlose Valet Parking oder automatisierte Fahrten im innerstädtischen Bereich zu ermöglichen, muss auch das Umschalten zwischen diesen Gängen automatisiert erfolgen. Da bereits ab 2018 im Mercedes Museum in Stuttgart fahrerloses Valet Parking ermöglicht werden soll (gemeinsam entwickelt von Bosch und Daimler), ist davon auszugehen, dass aus technischer Sicht Shift-by-Wire-Systemen nichts mehr im Weg steht.¹¹³

3.2.5 Zusammenfassung und Ausblick der Aktorik

Durch zunehmende Weiterentwicklung der Steuerungsmechanismen mittels elektrischer Steuergeräte in den Bereichen Beschleunigen, Bremsen, Lenken und Schalten verlieren mechanische Steuersysteme zukünftig weiter an Bedeutung. Zu erwarten ist, dass nicht nur die Ansteuerung derartiger Systeme zukünftig vermehrt elektrisch durchgeführt wird, sondern auch die Systeme selbst auf vollständig elektronischer Basis konzipiert werden (elektronisches Gaspedal, EMB).

Aus Sicht der Aktorik sind alle für hochautomatisiertes Fahren notwendigen Systeme bereits in Serie verfügbar. Somit stellt die Aktorik zukünftig kein Hindernis für voranschreitende Automatisierung von Fahrzeugen dar. Der Fokus zukünftiger Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugaktuatorik wird sich auf die Absicherung bestehender Systeme, also die Entwicklung von Redundanzsysteme, verlagern.¹¹²

3.3 Fahrdynamik von automatisierten Fahrzeugen

Grundsätzlich beschreibt die Fahrdynamik das Verhalten eines Fahrzeugs in unterschiedlichen Situationen. Die Fahrdynamik wird durch den Aufbau (Achsabstand, Gewicht, Fahrwerk, Bremsleistung etc.) eines Fahrzeugs bestimmt, kann aber durch unterstützende Systeme wie ABS, ASR oder ESP verbessert werden. Derartige Systeme sind eher den Fahrzeugassistenzsystemen zuzuordnen und weniger als Fahrerassistenzsysteme zu verstehen. Derartige Fahrzeugassistenzsysteme kommen mittlerweile auch bei Fahrzeugen der Kompaktklasse in Serie zur Anwendung oder gelten bereits als rechtliche Voraussetzung. Unterschiede hinsichtlich der Fahrdynamik von konventionellen- zu AF entstehen demnach nicht bei der Arbeitsweise dieser Systeme, sondern bei der Ansteuerung. Ein Vorteil von automatisierter Ansteuerung gegenüber konventioneller, durch den Fahrer angesteuerter Systeme, ist die verkürzte Reaktionszeit (wird bei automatisierten Systemen als Latenzzeit bezeichnet). Die Fahrdynamik von AF ist demnach zu einem großen Teil von Sensordatenverarbeitung und der Verarbeitung von, aus digitalen Karten zur Verfügung stehenden Informationen, abhängig. Auf eine detaillierte Erläuterung des Aufbaues und der Funktion derartiger Software und zugehörigen

¹¹² Vgl. Cacilo et al. 2015

¹¹³ Vgl. Cacilo et al. 2015; Ebberg 2017

Steuergeräten wird in dieser Arbeit, aufgrund geringer Relevanz für die Gestaltung der Infrastruktur und ständiger Weiterentwicklungen im Softwaresektor, verzichtet.¹¹⁴

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts IMPROVE wurden Versuche zu den Bremsverzögerungen von Notbremsystemen unterschiedlicher Fahrzeughersteller durchgeführt. Die Notbremsysteme von Herstellern heutiger Premiumfahrzeuge werden künftig auch bei Standardfahrzeugen eingesetzt. Notbremsysteme weisen eine Latenzzeit von rund 0,2 s auf. Diese Zeitdauer enthält bereits einen Zeitanteil, in dem mit reduzierter Bremsleistung verzögert wird. Die Bremsschwellphase muss somit nicht separat in die Berechnung einfließen. Demnach kann für geschwindigkeitsunabhängige Verzögerung eines Notbremsassistenten von $-9,0 \text{ m/s}^2$ ausgegangen werden.¹¹⁵

Im Folgenden werden, um einen Vergleich darzustellen, die Anhaltewege bei unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten von manuell- und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen gegenübergestellt. Vereinfacht wird bei folgender Berechnung eine Latenzzeit (=Reaktionszeit) von 0,2s und eine anschließende konstante Verzögerung von -9 m/s^2 für SAE 4/5 Fahrzeuge angenommen. Diese Werte sollten mit derartigen Fahrzeugen jedenfalls erreicht werden können. Vergleichend dazu wird mit einer Verzögerung von $-5,0 \text{ m/s}^2$ und einer Reaktionszeit von 1,0 s gerechnet.¹¹⁶ Diese Werte entsprechen einer menschlich ausgelösten Vollbremsung ohne Nutzung von Assistenzsystemen. Der Einfluss der Bremsschwellphase wird aufgrund der Schwankungsbreite der Reaktionszeit vernachlässigt. Für Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 3 wird bei der Berechnung des Anhaltewegs eine Übernahmezeit (Übernahme des Steuers + Reaktion auf Verkehrsgeschehen) von 10 s angenommen.

Anhalteweg s_A :¹¹⁷

$$s_A = s_R + s_S + s_B \quad (1)$$

Mit:	s_A	Anhalteweg – Gesamt zurückgelegter Weg bis zum Stillstand
	s_R	Reaktionsweg – Zurückgelegter Weg während der Reaktionszeit
	s_S	Zurückgelegter Weg während der Bremsschwellphase (wird vernachlässigt)
	s_B	Bremsweg – Zurückgelegter Weg bei voll betätigter Bremse

Reaktionsweg s_R :

$$s_R = v_A * t_R \quad (2)$$

Mit:	v_A	Ausgangsgeschwindigkeit
	t_R	Reaktionszeit (bei Menschen) / Latenzzeit (bei SAE 4/5 Fahrzeugen) / Übernahmezeit bei SAE 3 Fahrzeugen)

¹¹⁴ Vgl. van Zanten und Kost 2015

¹¹⁵ Vgl. Haberl et al. 2016

¹¹⁶ Bei erwarteter Situation min. 0,3 s (Vgl. Reif 2010) (wird jedoch in anderer Literatur mit min. 0,7 Sekunden angegeben (Vgl. Abendroth und Bruder 2015)); bei überraschenden Situationen im Schnitt 1,5 Sekunden (Vgl. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung); Steigerung um ca. 50% unter Alkoholeinfluss (0,8 ‰) oder Müdigkeit (Vgl. bussgeldkatalog.org)

¹¹⁷ Vgl. Gratzler und Becke 2009

Bremsweg s_B :

$$s_B = \frac{v_A^2}{2a} \quad (3)$$

Mit: a Bremsverzögerung (wird positiv eingesetzt)

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Anhaltewege von manuell- und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen

Ausgangs- geschwindigkeit	Anhalteweg		
	Mensch ($a = -5 \text{ m/s}^2$; $t_R = 1,0 \text{ s}$)	Fahrzeuge SAE 3 ($a = -5 \text{ m/s}^2$; $t_R = 10,0 \text{ s}$)	Fahrzeuge SAE 4/5 ($a = -9 \text{ m/s}^2$; $t_R = 0,2 \text{ s}$)
20 km/h	9 m	59 m	3 m
30 km/h	15 m	90 m	6 m
50 km/h	33 m	158 m	13 m
60 km/h	44 m	194 m	19 m
70 km/h	57 m	232 m	25 m
80 km/h	72 m	272 m	32 m
100 km/h	105 m	355 m	48 m
110 km/h	124 m	399 m	58 m
130 km/h	167 m	492 m	80 m
160 km/h	242 m	642 m	119 m

Die Gegenüberstellung zeigt, dass durch automatisierte und somit idealisierte Ansteuerung der Bremsen und der deutlich kürzeren Reaktionszeit / Latenzzeit hochautomatisierter Systeme etwa eine Halbierung des resultierenden Anhaltewegs im Vergleich zu einem konventionell durchgeführten Bremsmanöver erreicht werden kann. Muss bei AF der Stufe 3 vor Einleitung des Bremsmanövers das Steuer von einem menschlichen Fahrer übernommen werden, erhöhen sich durch die erforderliche Übernahmezeit, die Anhaltewege maßgeblich. Ausgehend von einer Sensorreichweite von 200 – 250 m wäre die automatisierte Nutzung von Fahrzeugen der Stufe 3 ausschließlich bis zu einer Geschwindigkeit von max. 70 km/h vertretbar. Bei höheren Geschwindigkeiten kann manuell nicht mehr innerhalb des mittels on-board Sensorik erfassbaren Bereiches angehalten werden (dick hervorgehobener Bereich in Tabelle 7).

3.4 Verwendung digitaler Karten

Um hochautomatisiertes Fahren grundsätzlich zu realisieren, müssen dementsprechende Fahrzeuge in der Lage sein, eine präzise Eigenlokalisierung durchzuführen. Möglichkeiten, die relative Eigenposition eines Fahrzeugs zu anderen Verkehrsteilnehmern oder Objekten der Infrastruktur festzustellen, wurden bereits in Abschnitt 3.1 vorgestellt. Um nun die absolute Position eines Fahrzeugs, also die absoluten Koordinaten auf der Weltkarte zu lokalisieren, werden dementsprechende Ortungstechniken und digitale Karten benötigt. Die absolute Position eines Fahrzeugs gilt grundsätzlich nicht als essentiell, um ein sicheres und unfallfreies automatisiertes Fahren gewährleisten zu können, jedoch wird diese benötigt, um Routen zu planen, Trajektorien festzulegen und vorrausschauendes und somit effizientes Fahren zu optimieren. Werden AF über digitale Karteninformationen über den Straßenzustand, Baustellen, eventuellen Verkehrsstaus oder auch über Grünphasen bei VLSA in

Kenntnis gesetzt, können diese Daten bei der Routenplanung und bei der Geschwindigkeitswahl berücksichtigt und so der Fahrkomfort weiter gesteigert werden. Durch den Einsatz von digitalen Karten wird also die Umfeldwahrnehmung über die Grenzen der Sensorik hinaus erweitert.¹¹⁸

3.4.1 Bestehende Ortungstechniken

Zur präzisen Definition der Eigenposition eines Fahrzeugs werden sechs Angaben benötigt:¹¹⁸

- Geografische Länge
- Geografische Breite
- Geografische Höhe
- Ausrichtung / Orientierung
- Fahrzeug Längsneigung
- Fahrzeug Querneigung

Um all diese Informationen zu erhalten, werden unterschiedliche Ortungssysteme benötigt. Beispielsweise die Fahrzeuglängs- und Querneigung, aber auch die relative Positionierung eines Fahrzeugs können mittels on-board installierter Sensorik erfasst werden. Zur Erfassung der absoluten Positionierung werden jedoch extern gestützte Systeme benötigt.¹¹⁸

Zurzeit erfolgt die absolute Positionsbestimmung von Fahrzeugen mittels Satellitentechnik. Das bekannteste und am weitest verbreitete System der GNSS-Methodik ist die Ortung via GPS. Weitere GNSS-Systeme sind GLONASS, Beidou und das Galileo-System. All diese Systeme nutzen Satelliten zur Positionsbestimmung. Bei der derzeitigen Satellitenverfügbarkeit ist mittels GPS im freien Feld (z.B. auf Autobahnen) eine Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit im Submeterbereich (in der Ebene bei 3-5 m, Höhenbestimmung 10-20 m) möglich. Durch den Einsatz zusätzlicher on-board Sensorik (Drehraten- und Beschleunigungsmesser) lassen kurzzeitig auch Fahrten in Bereichen ohne aktive Satellitenverbindung nachverfolgen. Problematisch sind jedoch oft Fahrten in dicht bebauten Stadtgebieten, bei denen oft über längere Zeiträume keine Verbindung zu Satelliten hergestellt werden kann.¹¹⁹

Für reine Navigation und sogar für hochautomatisiertes Fahren auf einem großen Teil der Autobahnabschnitte ist die Genauigkeit von bestehenden Systemen bereits ausreichend. Um jedoch innerstädtisch automatisiertes Fahren zu ermöglichen oder eine möglichst effiziente Trajektorienwahl automatisiert durchführen zu können, müssen bestehende Ortungssysteme verbessert oder erweitert werden.¹¹⁸

3.4.2 Multilateration

Wie bereits erwähnt, ist die Genauigkeit der Eigenlokalisierung von Fahrzeugen, um automatisiertes Fahren im innerstädtischen Bereich zu ermöglichen und um eine Fahrstreifen genaue Trajektorienwahl gewährleisten zu können, mittels rein auf GNSS basierende Systeme unzureichend. Um hochautomatisiertes Fahren auch außerhalb gewisser Autobahnabschnitte zu ermöglichen, muss eine Eigenlokalisierung mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern erreicht werden.¹¹⁸

Durch den Einsatz von Multilateration soll eine derart genaue Lokalisierung ermöglicht werden. Multilateration stellt eine Ergänzung zu rein Satelliten gestützten Karten mittels kartenbasierender Lokalisierung dar. Mittels on-board verfügbarer Sensorik sollen in den Karten genau verzeichnete

¹¹⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015

¹¹⁹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Neukirchner 2010; Kleine-Besten et al. 2015

Landmarken lokalisiert und so über die exakte Bestimmung der relativen Eigenposition vom Fahrzeug zu diesen Landmarken, die absolute Eigenposition errechnet werden. Als Landmarken könnten beispielsweise Verkehrsleiteinrichtungen oder fixe Objekte im Straßenumfeld eingestellt werden. Somit könnte mittels GNSS Ortung in Abgleich mit Sensormessdaten von AF eine ausreichend exakte absolute Eigenpositionsbestimmung, um vollautomatisiertes Fahren auch innerstädtisch zu ermöglichen, realisiert werden.¹²⁰

Um Landmarken mittels fahrzeuginterner Sensorik zu lokalisieren und den in Karten verzeichneten Punkten richtig zuzuordnen, müssen Sensoriksysteme eine ausreichende Reichweite und Auflösung aufweisen. Zurzeit entsprechen nur Lidarsensoren in Form von Laserscannern derart hohen Anforderungen. Derartige Systeme haben jedoch aufgrund ihrer unzureichenden baulichen Integrationsfähigkeit und der hohen Kosten noch nicht die Marktreife erreicht. Lokalisierung von Landmarken mittels Kamerasensorik ist mit derzeitiger Auflösung dieser Sensoren noch nicht möglich.¹²¹

3.4.3 Zusammenfassung und Ausblick der Verwendung digitaler Karten

Für den Zweck der reinen Navigation von Fahrzeugen ist die Genauigkeit von auf GNSS basierenden Ortungstechniken bereits ausreichend. Durch Erweiterung konventioneller Navigationskarten mit Informationen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen und Fahrspurtopologien oder einer Integration eines Höhenprofils genügen bestehende Systeme sogar für hochautomatisiertes Fahren auf großen Teilen der Autobahnabschnitte. Um jedoch eine trajektorienexakte Routenplanung und somit auch innerstädtisch hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, ist eine präzisere Eigenlokalisierung erforderlich. Mittels Multilateration, Positionsbestimmung anhand von Umfeldmerkmalen, könnte eine Lokalisierung mit zureichender Genauigkeit erreicht werden. Dazu müssten in bestehende digitale Navigationskarten sogenannten Landmarken ergänzt werden. Die grobe Ortung eines Fahrzeugs erfolgt mittels auf GNSS basierenden Systemen, zur exakten Lokalisierung wird die relative Position eines Fahrzeugs zu den verzeichneten Landmarken mittels sensorischer Detektion ermittelt. Um derartige Landmarken jedoch zuverlässig lokalisieren und zuordnen zu können, sind hinsichtlich der derzeit zur Verfügung stehende Sensorik Weiterentwicklungen erforderlich.¹²²

Um digitale Karten zuverlässig für hochautomatisiertes Fahren einsetzen zu können, muss die Aktualität dieser Karten gewährleistet werden. Dazu ist die Möglichkeit eines ständigen Informationsaustausches zwischen Kartenbetreiber und Nutzer notwendig. Erfolgt dieser Informationsaustausch in beide Richtungen, dann könnten sowohl Betreiber als auch Nutzer davon profitieren. AF könnten wie auch beispielsweise Verkehrskameras ganzheitlich als Umfeldsensoren angesehen werden und relevante Informationen über Straßenzustände oder Verkehrssituationen den Kartenbetreibern in Echtzeit übermitteln und über diesem Weg anderen Verkehrsteilnehmern Informationen zur Verfügung stellen. Mögliche Methoden zur Datenübertragung werden im folgenden Abschnitt erläutert.

3.5 Datenübertragung von automatisierten Fahrzeugen

Bei der Datenübertragung von AF kann grundsätzlich zwischen drei Arten der Übertragung unterschieden werden. Der Begriff C2B beschreibt die Kommunikation zwischen Fahrzeugen mit einem

¹²⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015; Lategahn und Stiller 2012

¹²¹ Vgl. Cacilo et al. 2015

¹²² Vgl. Cacilo et al. 2015; Kleine-Besten et al. 2015

Backendserver, der entweder herstellerseitig oder von Verkehrsleitzentralen betrieben wird. Unter Car2Infrastruktur wird die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Elementen der Straßeninfrastruktur verstanden und unter dem Begriff C2C versteht man die direkte Kommunikation zwischen AF. Alle drei Kommunikationsvarianten werden oftmals mit dem Begriff Car to X (C2X) Kommunikation zusammengefasst. Derartige Datenübertragungssysteme funktionieren grundsätzlich in beide Richtung, das heißt ein Fahrzeug kann sowohl Informationen empfangen wie auch senden. Durch C2X Kommunikation kann durch Bereitstellung von Echtzeitinformationen und der damit verbundenen Umfeldwahrnehmung zum einen die Sicherheit von AF erhöht werden und zum anderen ist mit einer Steigerung des Fahrkomforts und der Effizienz zu rechnen. Beispielsweise könnten Informationen über Baustellen oder Unfälle auf bestimmten Streckenabschnitten bereitgestellt werden, um so gefährliche Bremsmanöver zu vermeiden oder Verkehrsstaus vor dem Entstehen zu verhindern.¹²³

Um eine Kommunikation eines Fahrzeugs mit externen Systemen grundsätzlich zu ermöglichen, wird im Fahrzeug spezielle Hardware benötigt. Um diese Vernetzung herzustellen, existieren derzeit zwei verschiedene Lösungen. Fahrzeuge der unteren Preisklassen werden derzeit vorrangig mit auf Smart-Phone-basierenden Systemen ausgestattet. Durch Kopplung des Smart-Phones mit dem Fahrzeug via Bluetooth oder WLAN wird eine Kommunikationsschnittstelle über das Mobilfunknetz geschaffen. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass derartige Systeme von einem Drittgeräte (dem Smart Phone) abhängig sind und dies grundsätzlich eine Sicherheitslücke darstellt. Als zweite Variante der Vernetzung von AF über das Mobilfunknetz kann eine fahrzeugeigene SIM-Karte installiert werden. Fahrzeuge werden mit entsprechender Hardware inkl. SIM-Karte ausgestattet und können somit unabhängig von einem Smart-Phone betrieben werden. Gleichzeitig müssen somit jedoch Fahrzeughersteller, zumindest teilweise, die Funktion eines Mobilfunkbetreibers übernehmen. Weiters wird im Fahrzeug eine sogenannte on-board-Unit (OBU) oder eine Telematic Control Unit (TCU) benötigt, um von außen erhaltene Informationen zu verarbeiten und relevante Informationen über fahrzeuginterne, fahrdynamische Messgrößen oder durch die Umfeldsensorik registrierte Hindernisse anderen Verkehrsteilnehmern mitzuteilen. Fahrdynamische Messgrößen, wie beispielsweise abruptes Abbremsen oder längere Stillstandzeiten, könnten beispielsweise auf einen Unfall oder einen Verkehrsstau hinweisen.¹²⁴

Da derartige Funktionen zukünftiger automatisierter Fahrzeuge die bauliche Gestaltung der Infrastruktur und somit die Inhalte bestehender RVS nicht oder nur nebensächlich beeinflussen, werden die Systeme zur Datenübertragung im Folgenden nur kurz beschrieben. Ausführlicher wird dieses Thema beispielsweise von (Cacilo et al. 2015) oder (Fuchs et al. 2015) behandelt.

3.5.1 Car2Backend

Unter C2B Kommunikation versteht man die Kommunikation zwischen AF und Backendsystemen. Derartige Backendsysteme werden entweder von Verkehrsleitzentralen oder direkt von Fahrzeugherstellern betrieben. Ihrer Funktionsweise nach stellt dieses System ein Client-Server-System dar. Relevante Informationen werden vom Server dem Client, also den Fahrzeugen, zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig liefern die Fahrzeuge Information in Echtzeit an den Backendserver, der diese aufnimmt, und in verarbeiteter Form wieder allen Clients zur Verfügung stellt. Somit können beispielsweise aktuelle Informationen über Verkehrsstaus, Baustellen oder Unfälle aber auch punktgenaue Informationen über Straßenzustände (Schlaglöcher, Glatteis, Aquaplaning, etc.) zur

¹²³ Vgl. Cacilo et al. 2015; Fuchs et al. 2015

¹²⁴ Vgl. Cacilo et al. 2015; Kramer 2013

Verfügung gestellt und somit die Verkehrssicherheit und der Fahrkomfort erhöht werden. Neben fest installierten Stationen wie beispielsweise Verkehrskameras stellen bei aktiver Kommunikation in beide Richtungen auch alle mit einem Backendserver verbundenen Fahrzeuge Verkehrssensoren dar.¹²⁵

Derzeit findet eine C2B Kommunikation ausschließlich zwischen Fahrzeugen und zugehörigen Herstellern statt. Durch eine Standardisierung der Datenübertragung und genauer Definition der zu übertragenden Inhalten könnten derartige Kommunikationsstrukturen ausgeweitet werden, um auch herstellerfremde Informationsdienstleister (andere Hersteller oder Verkehrsleitzentralen) miteinzubeziehen und somit den Nutzen weiter zu steigern. Des Weiteren sollte angedacht werden, sowohl Hersteller als auch Verkehrsleitzentralen dazu zu verpflichten, sicherheitsrelevante Informationen Preis zu geben.¹²⁶

3.5.2 Car2Infrastructure

Um eine intelligente Infrastruktur aufzubauen, um somit eine C2I Kommunikation (engl. Vehicle2Roadside – V2R) zu ermöglichen, kommen sogenannte Intelligent Transport Systems) Roadside Stations (IRS) und ITS Central Stations (ICS) zum Einsatz. Als IRS werden lokale oder mobile Stationen bezeichnet, die direkt im Bereich der Straße aufgestellt werden und mit Fahrzeugen verbunden sind. Mit der Abkürzung ICS wird eine zentrale Einheit zur Aufnahme und Verarbeitung von Information bezeichnet, welche nicht direkt mit den Fahrzeugen, sondern mit den lokalen IRS in Verbindung steht.¹²⁷

Durch den Einsatz von C2I Kommunikation können beispielsweise Fahrzeuge mit VLSA kommunizieren, um so die optimale Geschwindigkeit für eine grüne Welle berechnen zu können. Umgekehrt könnten durch derartige Kommunikationsformen die VLSA Steuerung optimiert oder auch Knotenstromzählungen ohne zusätzlichen Aufwand durchgeführt werden. Des Weiteren könnte Car2Infrastructure Kommunikation beispielsweise für Parkraummanagement (Abrufbarkeit der Parksituation direkt im Fahrzeug), Notfallmanagement (Aufforderung von Fahrzeugen zur Bildung einer Rettungsgasse oder Frühwarnung vor sich nähernden Einsatzfahrzeugen) oder zur Absicherung im Baustellenbereich mittels mobiler Geräte eingesetzt werden, um relevante Informationen direkt an die Fahrzeuge weiterzugeben.¹²⁸

Um jedoch eine flächendeckende C2I Vernetzung zu realisieren, wären große Investitionen seitens der Infrastrukturbetreiber notwendig. Aus diesem Grund wird in den Jahren bis 2020 nicht mit einer derartigen Ausstattung der Infrastruktur gerechnet. Hinsichtlich der Weiterentwicklung von AF werden Lösungen verfolgt, die ohne Infrastrukturkommunikation auskommen.¹²⁶

3.5.3 Car2Car

Als C2C Kommunikation (engl. Vehicle2Vehicle – V2V) wird die direkte Vernetzung und Kommunikation von Fahrzeugen mittels WLAN bezeichnet. Sicherheitsrelevante Informationen über Fahrbahnzustände (Glatteis, Schlaglöcher, etc.) könnten ohne Umwege über Backendserver und somit schneller an nachfolgende Fahrzeuge weitergegeben werden. Ein Vorteil derartiger Kommunikationsstruktur ist die weitgehende Unabhängigkeit von Mobilfunknetzen, wodurch auch Datenaustausch in Gebieten mit schlechter oder keiner Netzabdeckung möglich wäre. Um jedoch das volle Potential solcher Kommunikationsstrukturen nutzen zu können, ist eine hohe

¹²⁵ Vgl. Cacilo et al. 2015; Kramer 2013

¹²⁶ Vgl. Cacilo et al. 2015

¹²⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015; Fuchs et al. 2015

¹²⁸ Vgl. Cacilo et al. 2015; Johanning und Mildner 2015

Marktdurchdringung mit kommunikationsfähigen Fahrzeugen notwendig. Wann eine ausreichende Marktdurchdringung erreicht sein wird, ist derzeit noch nicht absehbar. Durch die Einsatzmöglichkeit von C2B Lösungen wird der Einsatz von C2C Kommunikation nicht als essentiell erachtet, um hochautomatisiertes Fahren weiter voranzutreiben.¹²⁹

3.5.4 Übertragungsstandards

Grundsätzlich werden zur Datenübertragung von AF drahtlose Kommunikationsmöglichkeiten über das Mobilfunknetz oder Datenübertragung via WLAN und Bluetooth vorgesehen.

Für die Datenübertragung von C2B Lösungen werden zurzeit die Mobilfunknetze genutzt. In gut ausgebauten Gebieten mit hoher Netzabdeckung werden derzeit mittels LTE-Standard Übertragungsraten von bis zu 100 Mbit/s, mittels LTE-Advanced bis zu 300 Mbit/s erreicht. Die benötigten Übertragungsraten für C2B Lösungen liegen derzeit weit unter diesen Werten. In Österreich ist LTE-Standard mittlerweile fast flächendeckend verfügbar, in dünn besiedelten Gebieten oder im alpinen Raum ist trotzdem mit Verbindungsausfällen zu rechnen. Mit voranschreitender Automatisierung wird auch ein Anstieg der notwendigen zu übertragenden Daten (Kartenaktualisierungen in Echtzeit, Informationen zum Verkehrsgeschehen oder Straßenzustandsinformationen) erwartet. Zusätzlich ist mit einem Anstieg des Datenverbrauchs in Fahrzeugen durch Infotainment, z.B. durch die Nutzung von Streaming-Diensten für Musik und Filme, zu rechnen. Somit wird durch voranschreitende Automatisierung von Fahrzeugen, um tatsächlich hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, ein weiterer Ausbau des österreichischen Mobilfunknetzes notwendig werden. Zukünftig könnte sogar ein Wechsel hin zu einem 5G-Netz (nächste Ausbaustufe nach LTE), welches Übertragungsraten bis zu 10 Gbit/s ermöglicht, erforderlich werden.¹³⁰

Datenübertragungen bei C2I und C2C Systemen basieren vorrangig auf WLAN-Technologien. Ein speziell für C2I und C2C Kommunikation entwickelter WLAN-Standard (IEEE 802.11p bzw. ITS G5) ermöglicht einen zuverlässigen Datenaustausch in Millisekunden bis zu einer Distanz von 500 m und einer Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge von 200 km/h. Durch die Informationsweitergabe von Fahrzeug zu Fahrzeug (Multi-Hopping) können Informationen mittels diesem WLAN-Standard auch über größere Distanzen übertragen werden. Durch die extrem kurzen Übertragungszeiten, die mittels des 802.11p-Standards erreicht werden, stellen auch die oftmals hohen Relativgeschwindigkeiten von Fahrzeugen zueinander kein Problem für erfolgreichen Datenaustausch dar.¹³¹

Bluetooth (IEEE 802.15.1) wird vorrangig als Nahbereichsfunk zur Kopplung von persönlichen Geräten, wie beispielsweise dem Smart Phone, mit dem Fahrzeug eingesetzt. Zu diesem Zweck kann jedoch auch ein fahrzeuginternes WLAN über eine Hotspot-Funktion eingesetzt werden.¹³²

3.5.5 Zusammenfassung und Ausblick der Datenübertragung

Durch C2X Kommunikation wird die Umfeldwahrnehmung von AF weiter verbessert und somit die Sicherheit von AF erhöht. Mit voranschreitender Automatisierung und steigender Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit ersten automatisierten Funktionen ist in den nächsten Jahren auch von einem Wachstum derartiger Systeme auszugehen. Speziell C2B Systeme werden zukünftig an Bedeutung gewinnen und werden als Voraussetzung angesehen, um hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen.

¹²⁹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Johanning und Mildner 2015

¹³⁰ Vgl. Cacilo et al. 2015; LTE-Anbieter.info 2017

¹³¹ Vgl. Cacilo et al. 2015; Kleine-Besten et al. 2015

¹³² Vgl. Cacilo et al. 2015

C2I und C2C Systeme werden derzeit als nicht essentiell für die Entwicklung von hochautomatisierte Fahrzeuge betrachtet. Jedoch besitzen speziell C2C Systeme, bei entsprechender Marktdurchdringung, das Potential, die Verkehrssicherheit, die Effizienz und den Fahrkomfort weiter zu erhöhen.¹³³

Neben einer Erhöhung der Sicherheit durch C2X-Systeme werden sich zudem im Bereich des Infotainments von Fahrzeugen neue Möglichkeiten eröffnen. Beispielsweise könnte über einen direkten Zugriff auf einen privaten Home-Server auf die eigene Musik- oder Filmsammlung zugegriffen werden.¹³⁴

Zurzeit sind ausschließlich C2B Systeme mit reiner Kommunikation zum Hersteller im serienmäßigen Einsatz. Um die Leistungsfähigkeit und Effizienz zu erhöhen, wird jedoch eine Standardisierung von Kommunikationsprotokollen erforderlich werden, um so auch die Kommunikation von Fahrzeugen mit herstellerfremden Backend Servern zu ermöglichen. Gleichzeitig wird für eine flächendeckende Nutzung und steigende erforderliche Datenvolumen ein weiterer Ausbau des Mobilfunknetzes als essentiell erachtet.¹³³

3.6 Zusammenfassung und Ausblick der technischen Grundlagen automatisierter Fahrzeuge

Während die Aktorik von Fahrzeugen weitgehende Marktreife erreicht hat, um vollautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, ist im Bereich der Sensorik und in diesem Zusammenhang bei der Fahrzeugortung noch weiterer Entwicklungsbedarf erforderlich. Speziell der Sensordatenfusion, Zusammenführung und elektronische Auswertung von Messergebnissen verschiedener Sensorsysteme, wird großes Entwicklungspotential zugesprochen.¹³³

Folgende Abbildung stellt übersichtlich die technische Reife und das Innovationspotential von den beschriebenen Technologien des automatisierten Fahrens dar. Die Abbildung wurde von (Cacilo et al. 2015) übernommen.

¹³³ Vgl. Cacilo et al. 2015

¹³⁴ Vgl. Johanning und Mildner 2015

		Technische Reife	Innovationspotential
Technologien im Fahrzeug	Sensorische Fahrdynamikerfassung	Hoch	Gering
	Sensorische Umfelderkennung	Mittel	Hoch
	Steuergeräte und Fahrzeug-Software	Mittel	Hoch
	Mensch-Maschine-Interaktion	Mittel	Hoch
	Aktorik	Hoch	Mittel
	Fahrdatenspeicher	Hoch	Gering
Technologien außerhalb des Fahrzeugs	Ortung und Kartenmaterial	Mittel	Hoch
	Car2X-Kommunikation	Mittel	Hoch
	Telekommunikationsinfrastruktur	Mittel	Gering

Abbildung 5: Bewertung der technischen Reife und des Innovationspotentials von Technologien des automatisierten Fahrens¹³⁵

Aus technischer Sicht ist zu erwarten, dass in den nächsten fünf Jahren hochautomatisiertes Fahren zumindest auf Autobahnen oder Teilstrecken (beispielsweise könnten Baustellenbereiche ausgenommen werden) realisierbar ist. Derartige Systeme werden zu Beginn nur in Fahrzeugen der Oberklasse verfügbar sein. Um automatisiertes Fahren der breiten Masse zu ermöglichen, ist speziell im Bereich Sensorik Kostenreduktionen notwendig.¹³⁶

Eine der größten Herausforderungen für Hersteller automatisierter Fahrzeuge wird das gewährleisten der Ausfallsicherheit darstellen. Um funktionale Sicherheit von AF gewährleisten zu können, müssen Redundanzsysteme und Notfallabläufe entwickelt werden.

Um flächendeckenden, automatisierten Fahrbetrieb zu ermöglichen, müssen speziell für den innerstädtischen Bereich mit hoher Informationsdichte, sensorische Systeme kostengünstig und mit ausreichender Auflösung entwickelt werden. Gleichzeitig wird ein Ausbau des Mobilfunknetzes erforderlich werden, um flächendeckende Kommunikation gewährleisten zu können. Wann die Entwicklung tatsächlich soweit fortgeschritten sein wird, kann derzeit nur schwer prognostiziert werden. In unterschiedlichen Berichten zu dieser Thematik wird ein Zeitraum bis zur flächendeckenden Nutzung von 10-20 Jahren prognostiziert.¹³⁷

¹³⁵ Cacilo et al. 2015, S. 104

¹³⁶ Vgl. Cacilo et al. 2015; Berylls Strategy Advisors GmbH 2014

¹³⁷ Vgl. Cacilo et al. 2015; VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. 2015; Litman 2017

4 Prüfen relevanter Richtlinien im Hinblick auf den Einsatz automatisierter Fahrzeuge

In verschiedensten Forschungsarbeiten wird erwähnt, dass unter Umständen auch seitens der Infrastruktur Maßnahmen ergriffen werden müssen, um automatisiertes Fahren sicher und flächendeckend zu ermöglichen. Eindeutigkeit und Einheitlichkeit der Infrastruktur wird gefordert.

Grundsätzlich muss, um hochautomatisiertes Fahren realisieren zu können, die Wahrnehmung von verkehrsrelevanten Objekten im direkten Fahrzeugumfeld durch AF mittels integrierter Sensorik, ähnlich der durch menschliche Sinnesorgane möglichen Wahrnehmung, sein. Wäre dem nicht so, müssten nicht nur die bestehenden Richtlinien zur Trassierung von Straßen abgeändert werden, sondern auch bereits bestehende Straßenzüge den Möglichkeiten der Sensorik angepasst werden. Derartige Anpassungen könnten entweder baulich durchgeführt werden, was mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden wäre, oder durch weitläufige Geschwindigkeitsreduktionen realisiert werden, die wiederum Erhöhten Widerstand aus der Bevölkerung zur Folge hätte. Denkbar wären jedoch beispielweise geringfügige Anpassungen im Bereich der Gestaltung von Leiteinrichtungen oder der Ausführung von Baustellenbereichen. Trotz der Annahme einer guten Umfeldwahrnehmung durch AF sollten widersprüchliche oder nicht eindeutig interpretierbare Situationen verhindert werden.

In diesem Abschnitt werden die österreichischen, straßenbaulichen Richtlinien hinsichtlich des Einsatzes von AF untersucht. Die Untersuchung der Richtlinien erfolgt durch den Autor. Bei der Sichtung wird auf Passagen geachtet, die möglicherweise eine zwei- oder mehrdeutige Interpretation zulassen, hinsichtlich automatisierten Fahrens abgeändert werden sollten oder Ergänzungsbedarf im Hinblick auf den flächendeckenden Einsatz automatisierter Fahrzeuge aufweisen. Auffällige Passagen, Tabellen, Abbildungen oder Passagen, die ev. Ergänzungsbedarf aufweisen, werden mit einem Verweis auf die jeweilige Richtlinie zitiert. Untersucht werden die Bereiche Leiteinrichtungen, Trassierung, Ingenieurbauwerke, Baustellenbereiche und Straßenerhaltung.

Konkrete Handlungsempfehlungen können in diesem Abschnitt nicht angeführt werden. Handlungsbedarf kann erst nach erfolgter Absprache mit Herstellern von AF festgelegt werden. Erfassungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten infrastruktureller Informationen von in Fahrzeugen verbauter Umfeldsensorik sind, mit Bedacht auf mögliche Weiterentwicklungen im Gebiet der Sensorik, auszuloten.

4.1 Untersuchte RVS

Es wurden alle RVS, die nach Ansicht des Verfassers eventuell Relevanz in Bezug auf die infrastrukturelle Gestaltung für automatisiertes Fahren haben könnten, näher untersucht.

Im Folgenden sind alle näher untersuchten RVS mit einer kurzen Erläuterung des jeweiligen Inhalts angeführt. Wie erwartet wurde nach näherer Untersuchung nicht bei allen angeführten Richtlinien ein Änderungs- oder Ergänzungsbedarf festgestellt. Jene Passagen, die möglicherweise im Hinblick auf den Einsatz von AF abgeändert oder ergänzt werden müssen, sind im Nachhinein mit einem Verweis auf die zugehörige RVS angeführt.

Einige angeführten Kurzbeschreibungen wurden direkt aus den jeweiligen Richtlinien entnommen, jedoch aus Gründen der Lesbarkeit nicht separat als Zitat dargestellt.

RVS 02.02.37 Geschwindigkeitsbeschränkungen (Februar 2015)

Hilfestellung im Behördenverfahren bei der Festlegung und Kundmachung von Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Gründen der Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs auf Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 03.01.11 Beurteilung des Verkehrsablaufes auf Straßen (Juli 2012)

Überprüfung der Anlageverhältnisse einer vorhandenen oder geplanten Straße hinsichtlich ihrer räumlich-verkehrlichen Funktion. Anwendung für Freilandstraßen und Ortsdurchfahrten.

RVS 03.01.13 Kategorisierung und Anforderungsprofile von Straßen (Juli 2012)

Diese RVS ist in Ergänzung zur RVS 03.01.11 für Autobahnen, Freilandstraßen und Ortsdurchfahrten anzuwenden und dient als Hilfestellung zur Kategorisierung des Straßennetzes sowie zur Festlegung der Anforderungsprofile an die einzelnen Straßenkategorien.

RVS 03.03.21 Trassierung – Räumliche Linienführung, Merkblatt (Juni 2001)

Qualitative Trassierungsgrundlagen zur räumlichen Linienführung für Straßen im Freiland (außerhalb von Ortsgebieten). Nicht anzuwenden für Tunnel, Unterflurstrecken, Grünbrücken, Galerien, Kehren sowie ländliche Straßen und Wege.

RVS 03.03.23 Linienführung und Trassierung (August 2014)

Entwurfsvorgaben in Bezug auf Kurvenradien, Wannens- und Kuppenausrundungen, Fahrflächenverbreiterung, Längs- und Querneigungen sowie Sichtweiten in Abhängigkeit von Projektierungsgeschwindigkeiten für Freilandstraßen.

RVS 03.03.31 Querschnitte – Querschnittselemente Freilandstraßen; Verkehrs- und Lichtraum (Mai 2005)

Entwurfsvorgaben zur Querschnittsgestaltung von Freilandstraßen. Nicht anzuwenden für Tunnel, Unterflurstrecken, Grünbrücken, Galerien, Kehren sowie ländliche Straßen und Wege.

RVS 03.03.81 Ländliche Straßen und Güterwege (April 2011)

Entwurfsvorgaben in Bezug auf Linienführung, Querschnittsausbildung, Kreuzungen, Kehren und Umkehrplätzen sowie standardisierte Oberbauausführungen für ländliche Straßen und Güterwege.

RVS 03.03.82 Spurwege (Juli 2017)

Planung von Spurwegen im ländlichen Straßen- und Güternetz. Der Anwendungsbereich umfasst Verkehrsflächen, die der Feinerschließung ländlicher Gebiete dienen und nicht Landesstraßen B oder L sind.

RVS 03.04.11 Gestaltung öffentlicher Räume in Siedlungsgebieten (Oktober 2011)

Planung und die Gestaltung angebauter Innerortsstraßen und Plätze und Unterstützung der Planung und Gestaltung öffentlicher Räume in Siedlungsgebieten.

RVS 03.04.12 Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen, Merkblatt (Jänner 2001)

Planungs- und Bemessungsgrundsätze sowie Entwurfselemente für die Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen.

RVS 03.05.11 Knoten – Planungsgrundsätze (Mai 2005)

Planungs- und Entwurfsgrundlagen für nicht lichtsignalgeregelte Knoten auf Freilandstraßen – gilt der grundsätzlichen Aussage nach auch für Knoten in Ortsgebieten.

RVS 03.05.12 Plangleiche Knoten – Kreuzungen, T-Kreuzungen (März 2007)

Planungsgrundsätze für plangleiche, nicht lichtsignalgeregelte Knoten auf Freilandstraßen – gilt der grundsätzlichen Aussage nach auch für Knoten in Ortsgebieten.

RVS 03.05.13 Gemischte und planfreie Knoten (März 2001)

Planungsgrundsätze für gemischte und planfreie Knoten auf Überlandstraßen sowie Entwurfselemente zur Planung.

RVS 03.05.14 Plangleiche Knoten – Kreisverkehre (Oktober 2010)

Planungsgrundsätze für Kreisverkehre im Freiland und in Ortsgebieten – Planungselemente, Dimensionierung und Nachweise für Kreisverkehre

RVS 03.07.11 Organisation und Anzahl der Stellplätze für den Individualverkehr, Merkblatt (Mai 2008)

Planung von Parkplätzen und Anlagen des ruhenden Individualverkehrs.

RVS 03.07.12 Parkplätze und Haltebuchten an Richtungsfahrbahnen (August 2014)

Informationen zu der Standortwahl, der Anzahl erforderlicher Stellplätze und der Ausstattung von Parkplätzen und Haltebuchten auf Straßen mit baulich getrennter Richtungsfahrbahn.

RVS 03.08.63 Oberbaubemessung, Abänderung (Juni 2016)

Bemessung des Oberbaues bei Neubau oder Erneuerung von Straßenverkehrsflächen ohne Zwischenausbau bzw. ohne stufenweisen Ausbau im Erdbaubereich.

RVS 03.08.64 Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen (November 1992)

Planung und Vorgehensweise bei Verstärkungsmaßnahmen des Oberbaues von Asphaltstraßen.

RVS 03.08.71 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau (Mai 2001)

Vergleich verschiedener Oberbaukonstruktionen und/oder verschiedener Baustoffe, aus denen die Schichten des Oberbaues hergestellt werden sollen.

RVS 05.01.11 Bezugssysteme für straßenbezogene Informationen, Merkblatt (November 2004)

Vorgaben für die Benennung (Bezeichnung und Kilometrierung) von Bundes-, Landes-, Gemeinde- und sonstigen Straßen sowie zur Führung von mit diesen Straßen verbundenen Informationen.

RVS 05.01.12 Ereignisse und Meldungen in kooperativen Verkehrsmanagementzentralen, Merkblatt (September 2008)

Einsatz bei der Errichtung und beim Betrieb von kooperativen Verkehrsinformations- und Verkehrsmanagementzentralen mit dem Ziel, einen reibungslosen Austausch von verkehrsrelevanten Informationen zwischen Organisationseinheiten zu gewährleisten.

RVS 05.02.11 Verkehrszeichen und Ankündigungen – Anforderungen und Aufstellung, Abänderung (Juli 2009)

Herstellung, Anordnung und Aufstellung von Verkehrszeichen auf Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 05.02.12 Beschilderung und Wegweisung im untergeordneten Straßennetz, Abänderung (Juli 2009)

Ausführung der Wegweisung und die Gestaltung von Straßenverkehrszeichen auf Straßen mit öffentlichem Verkehr anzuwenden.

Ausgenommen ist die Wegweisung auf Autobahnen bzw. Schnellstraßen und auf kreuzungsfrei ausgebauten Autostraßen.

RVS 05.02.13 Beschilderung und Wegweisung auf Autobahnen (November 2013)

Ausführung der Wegweisung und die Gestaltung von Hinweiszeichen auf Autobahnen sowie auf kreuzungsfrei ausgebauten und zu Autostraßen erklärten Schnellstraßen

RVS 05.02.14 Leittafeln, Merkblatt (Juni 2002)

Ausführung und Aufstellung von Leitfaden auf Straßen mit öffentlichem Verkehr anzuwenden.

RVS 05.02.15 Verkehrszeichenkatalog, Merkblatt (Dezember 2015)

Hilfestellung zur einheitlichen Ausführung und Gestaltung von Straßenverkehrszeichen gemäß StVO und StVZO.

RVS 05.02.22 Leitpflocke – Anordnung und Aufstellung (Oktober 1980)

Regelungen zur Anordnung und Aufstellung von Leitpflocken auf Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 05.02.31 Rückhaltesysteme – Anforderungen und Aufstellung (November 2007)

Regelungen für die Ausführung und Aufstellung von dauerhaft eingesetzten Fahrzeugrückhaltesysteme auf öffentlichen Straßen.

RVS 05.02.41 Schneestangen – Ausbildung und Anforderungen, Merkblatt (November 2007)

Ausbildung und Anforderungen von Schneestangen für Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 05.02.42 Schneestangen – Anordnung und Aufstellung, Merkblatt (Mai 2004)

Anordnung und Aufstellung von Schneestangen für Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 05.03.11 Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen (Juli 2009)

Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen für alle Straßen mit öffentlichem Verkehr im Sinne der StVO.

RVS 05.03.12 Auswahl von Bodenmarkierungen (März 2007)

Regelung der Auswahl von Bodenmarkierungen nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheit für die Verkehrsteilnehmer.

RVS 05.04.21 Verkehrslichtsignalanlagen – Verkehrsleitsysteme, Merkblatt (Januar 2001)

Planung von Fahrstreifensignalen und Wechselverkehrszeichenanlagen an Straßen mit öffentlichem Verkehr entsprechend der Straßenverkehrsordnung 1960.

RVS 05.04.33 Verkehrslichtsignalanlagen – Ausführung, Abnahme, Betrieb, Instandhaltung (Oktober 1998)

Regelungen zur Auswahl, Aufstellung und des Betriebes von Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA), die der Regelung nicht verträglicher Verkehrsströme dienen, auf Straßen mit öffentlichem Verkehr entsprechend der Straßenverkehrsordnung 1960 (StVO 1960).

RVS 05.05.41 Baustellenabsicherung – Gemeinsame Bestimmungen für alle Straßen (Mai 2012)

Regelung der Kennzeichnung und Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen mit öffentlichem Verkehr.

RVS 05.05.42 Baustellenabsicherung – Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen (Mai 2012)

Regelung der Kennzeichnung und Absicherung von Arbeitsstellen auf Autobahnen, Autostraßen sowie sonstigen kreuzungsfreien Straßen, die baulich getrennte Richtungsfahrbahnen und zumindest zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufweisen.

RVS 05.05.43 Baustellenabsicherung – Straßen mit zwei oder mehr Fahrstreifen je Fahrtrichtung, Merkblatt (November 2003)

Regelung der Kennzeichnung und Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen mit zwei oder mehr Fahrstreifen je Fahrtrichtung.

RVS 05.05.44 Baustellenabsicherung – Straßen mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung, Merkblatt (Februar 2016)

Regelung der Kennzeichnung und Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung. Ist die Fahrbahnbreite für zwei Fahrstreifen nicht ausreichend, so ist diese RVS sinngemäß anzuwenden.

RVS 06.01.41 Brücken – Ziel- und Aufgabenbeschreibung (März 2010)

Anwendung für die Ziel- und Aufgabenbeschreibung von Leistungen für die Planung und Nachprüfung von Brückenbauwerken, Überbauungen, Wannenbauwerken und Stützbauwerken.

RVS 06.02.41 Brücken und Überbauungen – Ziel- und Aufgabenbeschreibung (September 2013)

Ziel- und Aufgabenbeschreibung von Bestandsprüfungen von Brücken und artverwandten Kunstbauten. Zu bewerten ist der vorhandene Bestand.

RVS 08.16.01 Anforderungen an Asphaltsschichten, Abänderung (Februar 2010)

Definition der Anforderungen an Asphaltsschichten, die auf Verkehrsflächen mit öffentlichem Verkehr eingesetzt werden, und Bestimmungen für den Transport und Einbau derartiger Schichten.

RVS 08.16.06 Anforderungen an Asphaltsschichten - Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz (April 2013)

Anzuwenden für Asphaltsschichten, welche aus Asphaltmischgut auf Grundlage des GVO-Ansatzes gemäß der RVS 08.97.06 hergestellt und die auf Verkehrsflächen mit öffentlichem Verkehr eingebaut werden.

RVS 08.23.01 Verkehrszeichen, Abänderung (Februar 2015)

Technischen Prüfkriterien und Prüfverfahren für die Zertifizierung von Verkehrszeichen, Verkehrszeichenträgern und Befestigungselementen im Sinne der RVS 05.02.11. Sie umfasst nicht Fundamente und Schilderbrückenkonstruktionen.

RVS 08.23.07 Verkehrslichtsignalanlagen (Januar 2009)

Technische Vertragsbedingungen bei Ausschreibung und Abnahme von VLSA.

RVS 08.23.11 Bodenmarkierungsarbeiten (Juli 2013)

Grundlage für die Ausschreibung von Bodenmarkierungsarbeiten – stellt den für die ausschreibenden Stellen erforderlichen technischen Mindeststandard dar.

RVS 08.31.02 Temporäre Verkehrszeichen (November 2016)

Regelung der technischen Prüfkriterien und Prüfverfahren für die Zertifizierung von temporären Verkehrszeichen gemäß den bildlichen Darstellungen der StVZO.

RVS 09.01.21 Linienführung im Tunnel (September 2007)

Regelung der baulichen Linienführung von Straßentunneln gemäß RVS 09.01.22, sinngemäß auch für Galerien.

RVS 09.01.22 Tunnelquerschnitte (März 2010)

Entwurfsvorgaben zur baulichen Gestaltung von Tunnelquerschnitten unter Berücksichtigung der nationalen Gesetze bei Neuplanungen von Straßentunneln und, soweit zutreffend, von Galerien und Wannengebäuden.

RVS 09.01.23 Innenausbau (April 2009)

Entwurfsvorgaben des Innenausbaus von Straßentunneln unter Berücksichtigung der nationalen Gesetze bei Neuplanungen von Straßentunneln und, soweit zutreffend, von Galerien und Wannengebäuden.

RVS 09.01.24 Bauliche Anlagen für Betrieb und Sicherheit (Juni 2014)

Entwurfsvorgaben von baulichen Anlagen für Betrieb und Sicherheit von Straßentunneln unter Berücksichtigung der nationalen Gesetze bei Neuplanungen von Straßentunneln und Galerien.

RVS 09.01.25 Vorportalbereich (April 2015)

Entwurfsvorgaben der baulichen Gestaltung von Vorportalbereichen von Straßentunneln mit einer Länge von über 80 m.

RVS 09.02.22 Tunnelausrüstung, Abänderung (Juni 2014)

Vorgaben zur Ausrüstung von Straßentunneln hinsichtlich Betrieb und Sicherheit bei Neuplanung.

RVS 09.02.41 Beleuchtung, Abänderung (Februar 2014)

Planung, Ausführung und Überprüfung von Beleuchtungen für Straßentunneln und Galerien.

RVS 09.04.11 Erhaltung und Betrieb (Januar 2008)

Erhaltung und Betrieb von Tunneln und Unterflurstrassen, welche Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen gemäß RVS 09.02.22 besitzen.

RVS 12.01.12 Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen, Merkblatt (Oktober 2013)

Festlegung von Standards für die betriebliche Erhaltung von Landesstraßen.

RVS 13.01.16 Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken, Abänderung (November 2012)

Grundlage für die Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betonstraßen gemäß RVS 13.01.11. Anzuwenden für das Autobahnen- und Schnellstraßennetz.

RVS 15.01.11 Qualitätskriterien für die Planung von Brücken, Merkblatt (Juni 2003)

Hinweis im Sinne einer Gesamtschau auf jene Prämissen und Zusammenhänge, die es immer dann zu beachten gilt, wenn man die Wirtschaftlichkeit einer Brücke unter allen relevanten Aspekten und auf gesamte Bestandsdauer sicherstellen möchte.

RVS 15.02.32 Schnittgrößen in Fahrbahnplatten von Straßenbrücken (September 2012)

Berechnung der charakteristischen Schnittgrößen (Biegemomente und Hauptquerkräfte) in Fahrbahnplatten von Straßenbrücken unter Berücksichtigung der europäischen Lastmodelle.

4.2 Leiteinrichtungen

Im Folgenden werden Passagen von RVS mit Bezug auf Leiteinrichtungen mit möglichem Änderungs- oder Ergänzungsbedarf angeführt. Unterteilt ist der Abschnitt in die Bereiche Bodenmarkierungen, Straßenverkehrszeichen, Leitpflöcke und ähnliche Verkehrsleiteinrichtungen, Lichtsignalanlagen und digitale Leiteinrichtungen.

4.2.1 Bodenmarkierungen

Die Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen ist in der RVS 05.03.11¹³⁸ geregelt. Des Weiteren ist die Anwendung und Ausbildung in der StVO¹³⁹ und in der BMVO¹⁴⁰ festgehalten.

„Bodenmarkierungen sind kontinuierliche Leiteinrichtungen. Sie müssen so beschaffen sein, dass ihre Funktion bei Tag und Nacht sowie bei schlechter Sicht gewährleistet ist. Dies wird durch entsprechende Strichbreiten, Form- und Farbgebung und rückstrahlende Ausführung gemäß ÖNORM EN 1436 erreicht.“¹³⁸

Die Anforderungen hinsichtlich Nacht- und Tagsichtbarkeit, Griffigkeit, Farbe und umweltrelevante Anforderungen sind in der RVS 05.03.12¹⁴¹ geregelt.

„Alle für die Ausbildung von Bodenmarkierungen verwendeten weißen Markierungsmaterialien oder Kombinationen (z.B. Farbe plus Nachstreumittel, Primer plus Folie) müssen einer Einsatzfreigabe gemäß ONR 22441 vorweisen.“

Eine Einsatzfreigabe für andere Farbtöne ist nicht vorgesehen (Ausnahme: vorgefertigte Bodenmarkierungen (Folien) in orangem Farbton).“¹⁴¹

In der ÖNORM EN 1436 und in der ONR 22441 werden die Anforderungen an Bodenmarkierungen genau definiert. Abzuklären ist, ob die Mindestanforderungen an Bodenmarkierungen den Mindestanforderungen von AF zur Detektion mittels on-board Sensorik unter allen Wetter- und Lichtbedingungen (Regen, Nebel, Tag, Nacht, etc.) entsprechen. Ähnliche Untersuchungen wurden im Zuge der Erstellung eines Forschungsberichtes von Austroads, einer Organisation der australischen Straßenverkehrsbehörde, durchgeführt.¹⁴² Eingesetzte Bodenmarkierungen müssen einen Eignungsnachweis gemäß ONR 22441 aufweisen. Beispielsweise könnte die Eignung von Bodenmarkierungen für sensorische Erkennung in den Nachweis aufgenommen werden.

Als problematisch bei der automatischen Erkennung von Bodenmarkierungen durch AF könnten sich Bodenmarkierungen herausstellen, die bereits länger im Einsatz sind. Konkrete Instandsetzungsintervalle von Bodenmarkierungen sind in der RVS nicht zu finden. Die Zustandskontrolle sollte durch den Straßenerhalter erfolgen, ist jedoch lediglich augenscheinlich gefordert. Prüfungen des Reflexionsverhaltens von Bodenmarkierungen mittels geeigneten Prüfverfahren sind nicht vorgesehen (siehe Abschnitt 4.6).

¹³⁸ FSV Juli 2009a

¹³⁹ Bundeskanzleramt 1960, § 55

¹⁴⁰ Bundeskanzleramt 2002

¹⁴¹ FSV März 2007a

¹⁴² Vgl. Huggins et al. 2017

Weiter konnten bei der Sichtung der RVS keine konkreten Regelungen für den verpflichtenden Einsatz von Randlinien oder anderen horizontalen Leiteinrichtungen gefunden werden. Gerade im ländlichen Raum sind derzeit immer noch Straßenzüge zu finden, die keinerlei Markierungen aufweisen. Jedoch könnten gerade für die automatisierte sensorische Orientierung von AF innerhalb der Fahrstreifen Randlinien eine bedeutende Rolle spielen. Anzudenken wäre, ähnlich der Systematik von Regelquerschnitten, auch für die zu verwendenden Bodenmarkierungen einheitliche Markierungsbilder, je nach Straßenkategorie, bereitzustellen.

4.2.2 Straßenverkehrszeichen

Ausführung

Die Aufstellung und speziell die Anforderungen an Verkehrszeichen (VZ) sind in der RVS 05.02.11¹⁴³, RVS 05.02.12¹⁴⁴, RVS 05.02.13¹⁴⁵ und für temporäre VZ in der RVS 08.31.02¹⁴⁶ geregelt.

„Sämtliche Verkehrszeichen haben bei Tag und Nacht ihre Funktion zu erfüllen. Verkehrszeichen, die den fließenden Kraftfahrzeugverkehr betreffen, müssen gemäß StVZO reflektieren bzw. außen- oder innenbeleuchtet ausgeführt werden; dies gilt auch dann, wenn eine Straßenbeleuchtung vorhanden ist.“¹⁴³

In der StVZO sind das Material, die farbliche Gestaltung und das Reflexionsverhalten von VZ genau geregelt. Im Folgenden ein Ausschnitt, § 2 – Allgemein Beschaffenheit, der StVZO.

„Die Straßenverkehrszeichen sind als Schilder aus form- und witterungsbeständigem Material herzustellen, wobei die Rückseite blendfrei sein muß; Reflexstoffe (§ 4) sind auf solchem Material anzubringen. Straßenverkehrszeichen können beleuchtet (§ 5), rückstrahlend (§ 4) oder als optische oder elektronische Anzeigevorrichtung (§ 48 Abs. 1a StVO) ausgeführt sein.“¹⁴⁷

Ob die farbliche Gestaltung und das Reflexionsverhalten für die sensorische Erfassung durch AF geeignet ist, ist abzuklären. Problematisch wird vermutlich nicht der Zustand von neuen, richtlinienkonformen VZ sein, sondern eher der Zustand von VZ, die schon länger im Einsatz sind und der Witterung ausgesetzt waren. Die Prüfung neuer VZ ist in der RVS 08.23.01¹⁴⁸ detailliert geregelt. Die Prüfung der „Funktionstauglichkeit“ von VZ wird lediglich augenscheinlich, nicht jedoch mit entsprechenden Messgeräten zur Feststellung des aktuellen Reflexionsverhaltens (siehe Abschnitt 4.6) gefordert.

Die Anforderungen an Leittafeln sind in der RVS 05.02.14¹⁴⁹ festgehalten und sind ähnlich den Anforderungen an VZ formuliert. Als problematisch hinsichtlich der Erkennung durch Sensorsysteme von AF ist hier wahrscheinlich auch nicht der Zustand von neuwertigen Leittafeln zu erachten, sondern die minimalen Anforderungen bei der Inspektion.

¹⁴³ FSV Juli 2009c

¹⁴⁴ FSV Juli 2009b

¹⁴⁵ FSV November 2013

¹⁴⁶ FSV November 2016

¹⁴⁷ Bundeskanzleramt 2017

¹⁴⁸ FSV Februar 2015b

¹⁴⁹ FSV Juni 2002

„VZ, die den fließenden Kraftfahrzeugverkehr betreffen und nicht als optische oder elektronische Anzeigevorrichtungen ausgeführt werden, müssen entweder mit retroreflektierendem Material ausgestattet oder bei Dunkelheit beleuchtet sein.“¹⁵⁰

In Abbildung 6 sind die nach RVS 05.02.12 geforderten Beleuchtungsstärken ersichtlich.

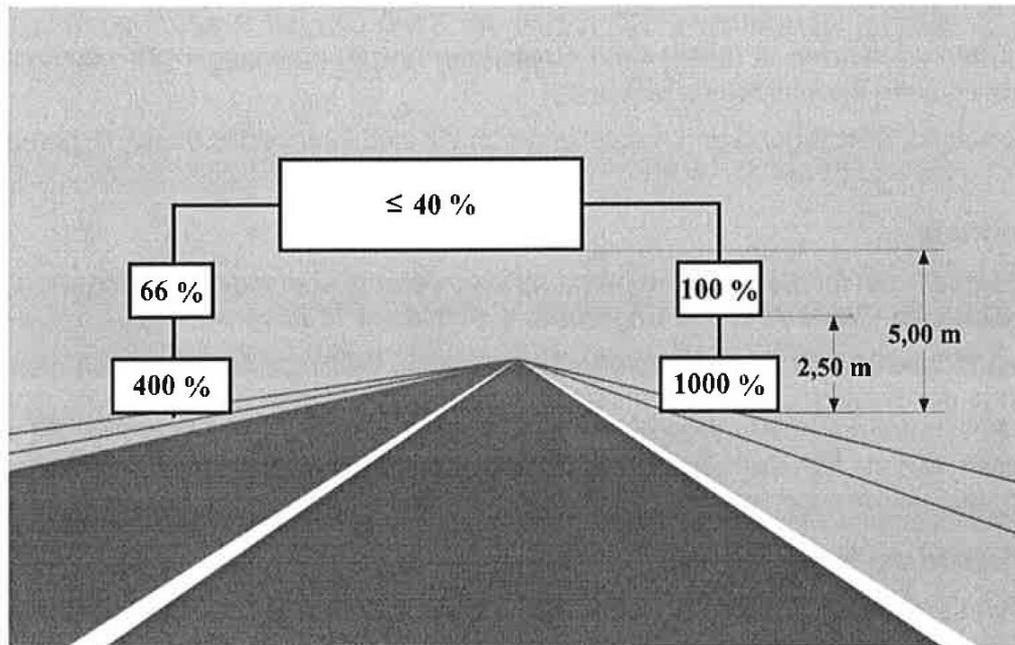


Abbildung 6: Beleuchtungsstärken von VZ verschiedener Standorte¹⁵¹

Problematisch hierbei ist, dass Beleuchtungen unter Umständen ausfallen können, und in diesem Zeitraum die Beschilderung ev. von Sensorsystemen nicht richtig erkannt und interpretiert werden kann. Es ist zu überlegen, ob derartige Lösungen zukünftig noch zulässig sein können oder ob in diesem Fall ausschließlich Beschilderungen mit retroreflektierendem Material auszustatten sind.

Aufstellung

Die Aufstellung von VZ ist in der RVS 05.02.11¹⁵² und in der RVS 05.02.13¹⁵³ geregelt. Minimale und maximale Abstände der VZ zur Fahrbahn sind angegeben. Dieser Raum muss mindestens von AF mittels on-board Sensorik mit ausreichender Genauigkeit, um die VZ interpretieren zu können, erfasst werden können.

„Verdeckungen (z.B. durch Pflanzen) sind hintanzuhalten und Verschmutzungen zu beseitigen, Außerdem dürfen durch die Verkehrszeichen die Übersichtlichkeit und die freie Sicht nicht beeinträchtigt werden“¹⁵²

¹⁵⁰ FSV Juli 2009b

¹⁵¹ FSV Juli 2009b, S. 3

¹⁵² FSV Juli 2009c

¹⁵³ FSV November 2013

Straßenverkehrszeichen als Bodenmarkierung

„Am Beginn von Geschwindigkeitsbeschränkungen und auch zur Wiederholung können die entsprechenden Werte der erlaubten Höchstgeschwindigkeiten zusätzlich als Bodenmarkierung entsprechend der RVS 05.03.11 ausgeführt werden.“¹⁵⁴

Wenn zulässige Höchstgeschwindigkeitsbeschränkungen tatsächlich zusätzlich zur Beschilderung auf der Fahrbahn vermerkt werden, sollte diese Regelung keinen Einfluss auf den Einsatz von AF haben. Jedoch wurden vom Verfasser schon mehrmals Situationen beobachtet, bei denen die zulässige Geschwindigkeit ausschließlich auf der Fahrbahn ersichtlich war. In derartigen Situationen ist zu prüfen, ob die Erfassungsgenauigkeit der Umfeldsensorik von AF ausreichend ist, um geschwindigkeitsrelevante Informationen rein über Bodenmarkierungen zu erfassen.

4.2.3 Leitpföcke, Rückhaltesysteme und Schneestangen

Leitpföcke

Die Anordnung und Aufstellung von Leitpföcken ist in der RVS 05.02.22¹⁵⁵ geregelt.

„Im Sinne der Punkte 2 und 3 der RVS 5.221 sind für die optische Leitung des Verkehrs auf Bundesstraßen und anderen wichtigen Straßen neben der Fahrbahn Leitpföcke anzuordnen... Auf die Anordnung von Leitpföcken kann verzichtet werden, sofern in Ortsgebietsstrecken oder auf Kunstbauten als Begrenzung der Fahrbahn Rand oder Bordsteine bzw. andere geeignete Leiteinrichtungen vorhanden sind.“¹⁵⁵

Um Leitpföcke als zuverlässige Orientierungshilfe für AF nutzen zu können, müsste die Verpflichtung der Aufstellung konkretisiert werden. Zumindest im Bundesstraßennetz könnte durch eine etwas detaillierte Formulierung eine Orientierung über Leitpfosten für AF möglich sein.

Rückhaltesysteme

Anforderungen und Aufstellung von Fahrzeugrückhaltesystemen (FRS) sind in der RVS 05.02.31 geregelt.

„Grundsätzlich sind FRS nur dort anzuordnen, wo durch das Abkommen der Fahrzeuge von der Fahrbahn nachteiligere Folgen für die Fahrzeuge und deren Insassen sowie für andere Personen oder schützenswerte Objekte zu erwarten sind als durch das Anfahren an das FRS.“¹⁵⁶

Somit können FRS nicht als flächendeckende Orientierungshilfe für AF angesehen werden.

Schneestangen

Die RVS 05.02.41¹⁵⁷ - Ausbildung und Anforderungen von Schneestangen wird hier nur der Vollständigkeit halber angeführt und um eine allgemein eher riskante Formulierungen in den RVS aufzuzeigen.

„Der Rückstrahler hat eine Rückstrahlfläche von mindesten 20 cm² aufzuweisen und einen spezifischen Rückstrahlwert im Neuzustand für den weißen Rückstrahler...“¹⁵⁷

¹⁵⁴ FSV Februar 2015a

¹⁵⁵ FSV Oktober 1980

¹⁵⁶ FSV November 2017

¹⁵⁷ FSV Mai 2004

Der Rückstrahlwert wird lt. RVS nur für den Neuzustand gefordert. Gerade bei Schneestangen, die jährlich auf- und abgebaut werden, ist mit einer Beschädigung der Rückstrahler (zerkratzen, brechen) zu rechnen. Sinnvoll wäre, einen Mindestrückstrahlwert für alle eingesetzten Schneestangen zu fordern.

4.2.4 Lichtsignalanlagen

Die Ausführung, Abnahme, Instandhaltung und der Betrieb von Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) zur Regelung von nicht verträglichen Verkehrsströmen ist in der RVS 05.04.33¹⁵⁸ festgehalten. Der Einsatz von VLSA für Fahrstreifensignale und Wechselverkehrszeichen ist in der RVS 05.04.21¹⁵⁹ geregelt.

„Die Anordnung der Fahrstreifensignale (FASI) über den Fahrstreifen hat so zu erfolgen, daß diese von den Fahrzeugen eindeutig erkannt und zugeordnet werden können.... Die Erkennbarkeit der Fahrstreifensignale für Fahrzeuglenker im Fließverkehr sollte für eine Zeitdauer von 5 sek gewährleistet sein....“¹⁵⁹

„Die Anbringung der Signalgeber hat so zu erfolgen, daß die Lichtsignale sowohl aus angemessener Entfernung, als auch aus den vor der Kreuzung haltenden Fahrzeugen einwandfrei wahrgenommen werden können. In ungünstigen Fällen können zusätzliche Signalgeber mit einem Leuchtdurchmesser von 100 mm in Augenhöhe des Kraftfahrers angebracht werden.“¹⁵⁸

In beiden RVS ist kein maximaler oder minimaler Raum, in dem die Lichtsignale angebracht werden müssen, definiert. Um mögliche Erfassungskegel von AF mit infrastrukturseitigen Installationen abzugleichen, wäre dies jedoch sinnvoll.

„Die Abmessungen, Massen und Eigenschaften sind in der ÖNORM V 2010, die Farben und Farbgrößen der Lichtzeichen in der ÖNORM V 2011 festgelegt.... Die Lichtstärke, die Lichtstärkenverteilung sowie Angaben zur Begrenzung des Phantomlichtes sind gemäß DIN 67527 Teil 1 einzuhalten.“¹⁵⁸

Diese Grenzwerte sollten mit den Möglichkeiten der sensorischen Erfassung abgeglichen werden.

Für VLSA sind in der RVS 05.04.33 genaue Wartungs- und Inspektionszyklen vorgegeben (siehe Abbildung 7).

„Die Instandhaltung hat sämtliche für die Funktion der VLSA erforderlichen Teile zu erfassen und ist gemäß den ÖNORMen V 2030, V 2031, V 2032 und V 2033 durchzuführen.“¹⁵⁸

¹⁵⁸ FSV Oktober 1998

¹⁵⁹ FSV Jänner 2001b

Gegenstand	maximale Zeitabstände in Monaten für		
	Inspektion	Wartung	Instandsetzung
Systemeinrichtungen Steuergeräte – Bedienungseinrichtungen Zentraleinrichtungen Übertragungseinrichtungen			
Software	12	6	unverzüglich
Hardware	6	6	unverzüglich
Umhüllungskästen	6	6	nach Bedarf
Signalgeber	6	6	nach Bedarf
Signalgebertragwerke Signalgeberbefestigungen	12	–	nach Bedarf
Kabelanlagen	12	–	nach Bedarf

Abbildung 7: Übersicht zur Instandhaltung von VLSA gemäß ÖNORM V 2030¹⁶⁰

Derartige Instandhaltungspläne werden hinsichtlich des Einsatzes von AF, um gewisse Standards seitens der Infrastruktur sichern zu können, vom Verfasser als sehr positiv erachtet. Unter Umständen könnten in ähnlicher Ausführung auch Instandhaltungspläne für Bodenmarkierungen, Straßenverkehrszeichen, Leitpflocke, etc. angedacht werden.

4.2.5 Digitale Leiteinrichtungen

Kommunikation

Die RVS 05.01.12¹⁶¹ behandelt die Thematik „Ereignisse und Meldungen in kooperativen Verkehrsmanagementzentralen“. Zukünftig könnten, bei weiterer Etablierung von der in Abschnitt 3.5 beschriebenen Kommunikationsformen von AF, die Meldungen in derartigen Verkehrsleit- und Managementzentralen qualitativ und quantitativ stark zunehmen. AF könnten sowohl als Sender aber auch als direkte Empfänger von aktuellen Verkehrsmeldungen fungieren. Um eine derartige Kommunikationsstruktur, mit zahlreichen, unterschiedlichen Teilnehmern (Infrastrukturbetreiber und verschiedenste Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller) zu ermöglichen, wird es allerdings notwendig sein, eine durchgängige einheitliche Standardisierung von Meldungen und Kommunikationsprotokollen zu schaffen.

Die RVS 05.01.12 ist grundsätzlich sinnvoll und zukunftsorientiert aufgebaut. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser RVS (2008) wurde jedoch noch nicht von der Möglichkeit der Aufnahme von Verkehrsdaten durch den IV ausgegangen. Als Messeinheiten wurden lokale Stationen und der ÖV in Betracht gezogen. Des Weiteren listet die RVS 05.01.12 lediglich Kommunikationsmöglichkeiten und Protokolle auf und stellt damit keine eindeutige Richtlinie dar. In naher Zukunft sollte, in Absprache mit der Fahrzeugindustrie, eine einheitliche Kommunikationsstruktur festgelegt und entsprechende Richtlinien aufgestellt werden. Die RVS 05.01.12 in der bestehenden Form, speziell die Auflistung technischer Möglichkeiten der Datenübertragung, wäre mittlerweile zu aktualisieren.

Bezugssystem-Lokalisierung

¹⁶⁰ FSV Oktober 1998, S. 4

¹⁶¹ FSV September 2008

In der RVS 05.01.11 wird das aktuelle Basisbezugssystem zur Lokalisierung von Ereignissen innerhalb der Straßeninfrastruktur vorgestellt. Die absoluten Koordinaten der in der RVS beschriebenen Basisbezugspunkte (fixe Ausgangspunkte, meist Kilometerzeichen, zur absoluten Lokalisierung) sollten vollständig und exakt in digitalen Karten vermerkt werden. Damit könnten diese Punkte als Anhaltspunkte zur Eigenlokalisierung von AF mithilfe von Multilateration (beschrieben in Abschnitt 3.4.2) eingesetzt werden.

4.3 Trassierung

Im Folgenden werden Passagen von RVS mit Bezug auf die Trassierung von Straßen mit möglichem Änderungs- oder Ergänzungsbedarf angeführt. Unterteilt ist der Abschnitt in die Bereiche bauliche Trassierung, Fahrgeschwindigkeit, Kategorisierung von Straßen- und Oberbaubemessung.

4.3.1 Bauliche Trassierung

Linienführung

In der RVS 03.03.23¹⁶² werden Entwurfsvorgaben zur Linienführung abhängig von der Straßenkategorie angeführt. Derartige Vorgaben sind im Hinblick auf automatisiertes Fahren durchaus positiv anzusehen. Jedoch sind die Entwurfsvorgaben sehr offen formuliert und lassen dadurch immer wieder Möglichkeiten offen, von den vorgegebenen Werten abzuweichen. Formulierungen wie „...empfohlene untere Größen für...“, „...sollte daher...“, „...ist es empfehlenswert...“¹⁶², etc. müssten vermieden werden, um tatsächliche Trassierungsstandards gewährleisten zu können, beziehungsweise sollten von der Richtlinie abweichende Straßenzüge in digitalen Karten verzeichnet werden.

Auch in der RVS 03.03.21¹⁶³ wird die räumliche Linienführung von Straßen, speziell die optische Wirkung der Linienführung, behandelt. Gerade bei rein auf fahrzeuginterner Sensordaten basierenden Umgebungswahrnehmung könnte die optische Wirkung eine nicht zu vernachlässigende Rolle für sicheres, automatisiertes Fahren spielen. Demnach sollten die Planungsansätze des Merkblattes nicht vernachlässigt werden. Jedoch sind auch in dieser Richtlinie eher „weiche“ Formulierungen und weniger „harte“ Richtlinien zu finden, was eine Standardisierung von Straßenzügen eher erschwert.

In weiterer Zukunft könnten derartige Planungsgrundsätze durch den Einsatz von hochauflösenden, digitalen Karten aus Sicht der Verkehrssicherheit an Relevanz verlieren.

In RVS 03.03.81¹⁶⁴ wird die Gestaltung von ländlichen Straßen und Güterwegen bis zu einer Entwurfsgeschwindigkeit von 60 km/h geregelt. In Ausnahmefällen ist jedoch das Abweichen der angeführten Mindeststrahlen, Neigungen, etc. zulässig. Um automatisiertes Fahren auch im ländlichen Straßennetz zu ermöglichen, müsste entweder die Umfeldsensorik von AF, die weniger einheitliche Umgebung korrekt erfassen und zuordnen können, oder das gesamte Netz müsste inklusive möglichen Landmarken als digitale Karte aufgenommen werden. Um eine durchgängig einheitliche Gestaltung des ländlichen Straßennetzes gewährleisten zu können, müsste z. B. die RVS 03.03.81 grundlegend geändert werden. Dies könnte sich jedoch dann negativ auf die Umwelt, Landwirtschaft und das ländliche Landschaftsbild auswirken und ließe einen erheblichen Kostenaufwand vermuten.

¹⁶² FSV August 2014a

¹⁶³ FSV Juni 2001

¹⁶⁴ FSV April 2011

Die Linienführung von Spurwegen ist in der RVS 03.03.82¹⁶⁵ geregelt. Aus Gründen der sehr geringen Bedeutung derartiger Straßen und Wege, wird in dieser Arbeit nicht näher auf die Spurweggestaltung eingegangen.

Sichtweiten

Erforderliche Sichtweiten für Freilandstraßen sind in der RVS 03.03.23¹⁶⁶ relativ streng und genau definiert. Die Sichtweiten werden ausgehend von einer Sehpunkthöhe von einem Meter definiert (siehe Abbildung 8; etwa die Sehpunkthöhe von einem menschlichen Fahrer in einem gewöhnlichem PKW). Hersteller von AF sollten sicherstellen, dass das menschliche Sichtfeld (Sehpunkthöhe: 1 m) mittels entsprechender Sensorik vollständig abgedeckt wird.

	Sehpunkt		Zielpunkt	
	Lage	Höhe [m]	Lage	Höhe [m]
Erforderliche Sichtweite (gem. Pkt. 7.4.1)	Mitte des für die Fahrtrichtung bogeninneren Fahrstreifens	1,00	Mitte des für die Fahrtrichtung bogeninneren Fahrstreifens	0,00
Überhol­sichtweite (gem. Pkt. 7.4.2)			Mitte des Gegenfahrstreifens	1,00

Abbildung 8: Eingangparameter für Sehpunkt und Zielpunkt zur Ermittlung der erforderlichen Sichtweite¹⁶⁷

Die geforderten Sichtweiten sind abhängig von der Projektierungsgeschwindigkeit V_p in Abbildung 9 dargestellt.

V_p [km/h]	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	
Längsneigung s [%]	-12	30	36	42	49	57	65	73	82	92	102	112	123	135			
	-10	29	35	41	48	55	62	71	79	88	98	108	119	130			
	-8	28	34	40	46	53	60	68	77	85	95	104	115	125			
	-6	27	33	39	45	52	59	66	74	83	92	101	111	121	143	166	192
	-4	27	32	38	44	50	57	64	72	80	89	98	107	117	138	161	185
	-2	26	31	37	43	49	56	63	70	78	86	95	104	114	134	156	179
	0	26	31	36	42	48	54	61	68	76	84	93	101	110	130	151	174
	+2	25	30	35	41	47	53	60	67	74	82	90	99	108	126	147	169
	+4	25	29	35	40	46	52	58	65	72	80	88	96	105	123	143	164
	+6	24	29	34	39	45	51	57	64	71	78	86	94	102	120	139	160
	+8	24	28	33	38	44	50	56	62	69	76	84	92	100			
	+10	24	28	33	38	43	49	55	61	68	75	82	90	98			
+12	23	28	32	37	42	48	54	60	66	73	80	88	96				

¹⁾ mit Vorbremszeit 1,2 s und Bremsverzögerung 5 m/s²

Abbildung 9: Erforderliche Sichtweiten in [m]¹⁶⁸

Ausgegangen wird hier von einer Bremsverzögerung von -5 m/s² und einer Reaktionszeit von 1,2 s. Die in Abschnitt 3.3 errechneten Anhaltewege die mittels manuell gesteuerten Fahrzeugen erreicht

¹⁶⁵ FSV Juli 2017

¹⁶⁶ FSV August 2014a

¹⁶⁷ FSV August 2014a, S. 20

¹⁶⁸ FSV August 2014a, S. 21

werden können, decken sich weitestgehend mit den geforderten Sichtweiten in den RVS. Mit den voraussichtlichen technischen Möglichkeiten von AF der Stufe 4/5 können nach den in Abschnitt 3.3 getroffenen Annahmen deutlich kürzere Anhaltewege erzielt werden.

Laut RVS 03.03.23 sind in begründeten Fällen Abweichungen der geforderten Sichtweiten zulässig. Straßenzüge, die der Richtlinie nicht entsprechen, sollten verpflichtend in digitalen Karten verzeichnet werden. Dies könnte ev. als Ergänzung in den RVS aufgenommen werden.

Erforderliche Sichtweiten bei unterschiedlichen Knotenarten (planfrei, plangleich, Kreisverkehren) sind in den RVS 03.05.12, 03.05.13, 03.05.14¹⁶⁹ ausreichend detailliert festgehalten. Knoten, die den Vorgaben nicht entsprechen, sollten ebenfalls in digitalen Karten verzeichnet werden.

Sichtweiten für ländliche Straßen und Güterwege sind in der RVS 03.03.81¹⁷⁰ geregelt und weniger detailliert definiert.

In erster Linie sind Sichtweiten von trassierten Kurvenradien und seitlichen Abständen zu sichtbehindernden Einrichtungen (Lärmschutzwände, Gebäude, dichte Bepflanzung, Gegenverkehr, etc.) abhängig. Tatsächlich erreichte Sichtweiten mit bestehender Trassierung weichen des Öfteren von den in den RVS geforderten Werten ab. Speziell durch nachträglich ergriffene Maßnahmen, wie dem Errichten von Lärmschutzwänden, werden bestehende Sichtweiten teilweise eingeschränkt.

Im Folgenden werden die Mindestsichtweiten basierend auf den in der RVS 03.03.23 vorgegebenen Kreisbogenradien R_{empf} (empfohlen) und R_{min} (mindestens erforderlich) berechnet. Zur Berechnung der Sichtweiten bei seitlicher Sichteinschränkung wird Formel 4 angewendet.

Sichtweite S:

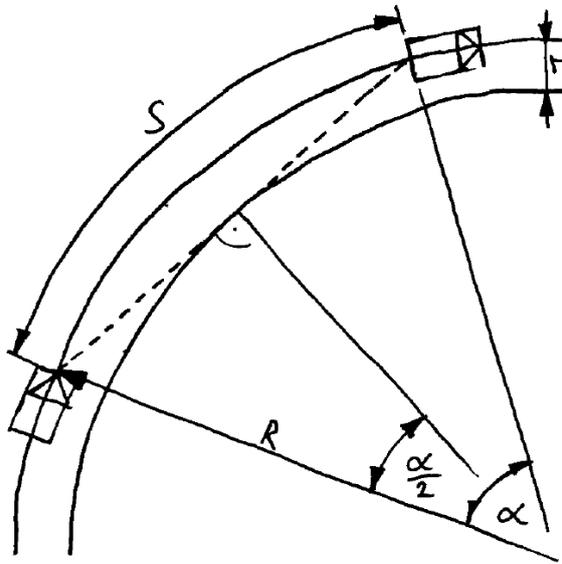
$$S = \frac{\pi}{90} * R * \cos^{-1}\left(\frac{R - r}{R}\right) \quad (4)$$

Mit: S errechnete Sichtweite
R Kreisbogenradius
r Randabstand – Sichtpunkt zur Randbebauung

In Abbildung 10: Skizze zur Sichtweitenberechnung in Kreisbogenradien Abbildung 10 sind die verwendeten Abstände und Radien erläutert sowie die Herleitung der Formel 4 angeführt.

¹⁶⁹ FSV März 2007b, März 2001, Oktober 2010

¹⁷⁰ FSV April 2011



$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{R-r}{R} \right) \quad \dots (4.1)$$

$$S = \frac{\pi}{180} \cdot R \cdot \alpha \quad \dots (4.2)$$

→ (4.1) in (4.2)

Sichtbehinderung

gefährliche Trajektorie innerhalb des betrachteten Fahrstreifens

Abbildung 10: Skizze zur Sichtweitenberechnung in Kreisbogenradien

Für die in Tabelle 8 angeführten Ergebnisse der resultierenden Sichtweiten mit den erforderlichen Anhaltewegen wurden die Randabstände zu möglichen sichtbehindernden Einrichtungen vom Verfasser angenommen. Die Randabstände wurden möglichst gering gewählt, um Situationen mit maximaler Sichteinschränkung darzustellen. Im Regelfall sind breitere Randabstände (im hochrangigen Straßennetz z.B. durch vorhandenen Pannestreifen) vorzufinden, wodurch sich die Sichtweiten erhöhen.

Annahmen für den Randabstand r:

A und S Netz	3,0 m
Hauptverkehrsstraßen	1,5 m
Regionale Straßen	1,5 m

Die empfohlenen sowie die mindestens erforderlichen Kreisbogenradien wurden der RVS 03.03.23 entnommen (siehe Abbildung 11).

Räumlich-verkehrliche Straßenklassifizierung	R_{empf} [m]	s_{empf} [%]	V_E [km/h]	R_{min} [m]
Autobahnen und Schnellstraßen (Bundesstraßen A u. S)	≥ 1000	≤ 4	130	800
			120	600
			110	500
			100	400
Hauptverkehrsstraßen	≥ 500	≤ 6	100	400
			90	300
			80	200
Regionale Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung	≥ 300	≤ 8	80	200
			70	130
			60	80
Regionale Straßen mit geringerer Verkehrsbedeutung	≥ 130	$\leq 10^*)$	60	80
			50	50
			40	30

*) Eine Längsneigung von $s_{\text{max}} = 12\%$ soll auch im Ausnahmefall nicht überschritten werden

Abbildung 11: Kreisbogenradien in Abhängigkeit der räumlich-verkehrlichen Straßenklassifizierung¹⁷¹

Die Berechnung der in Tabelle 8 angeführten Anhaltewege ist in Abschnitt 3.3 angeführt. Die Anhaltewege manuell gesteuerter Fahrzeuge wurden mit einer Reaktionszeit von 1,0 s und einer maximalen Bremsverzögerung von -5 m/s^2 berechnet. Für Fahrzeuge des SAE Level 3 wurde eine Übernahmezeit von 10 s und ebenfalls eine Bremsverzögerung von -5 m/s^2 angenommen. Anhaltewege von Fahrzeugen der SAE Level 4/5 wurden basierend auf einer Latenzzeit von 0,2 s und einer Bremsverzögerung von -9 m/s^2 berechnet.

Tabelle 8: Gegenüberstellung berechneter Sichtweiten in Kreisbogenradien mit Anhaltewegen von manuell- und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen

Entwurfsgeschwindigkeit V_E	Kreisbogenradien lt. RVS 03.03.23	berechnete Sichtweite	Anhalteweg		
			Mensch	Fahrzeuge SAE 3	Fahrzeuge SAE 4/5
130 km/h (A und S)**	R_{empf} 1000 m	155 m	167 m	492 m	80 m
	R_{min} 800 m	139 m	167 m	492 m	80 m
100 km/h (A und S)**	R_{empf} 1000 m	155 m	105 m	355 m	48 m
	R_{min} 400 m	98 m	105 m	355 m	48 m
100 km/h (Hauptverkehrsstraßen)*	R_{empf} 500 m	77 m	105 m	355 m	48 m
	R_{min} 400 m	69 m	105 m	355 m	48 m
80 km/h (Hauptverkehrsstraßen)*	R_{empf} 500 m	77 m	72 m	272 m	32 m
	R_{min} 200 m	49 m	72 m	272 m	32 m
50 km/h (Regionale Straßen)*	R_{empf} 130 m	40 m	33 m	158 m	13 m
	R_{min} 50 m	25 m	33 m	158 m	13 m

* $r = 1,5 \text{ m}$

** $r = 3,0 \text{ m}$

¹⁷¹ FSV August 2014a, S. 5

Aus der Gegenüberstellung der berechneten Sichtweiten anhand empfohlener und mindestens einzuhaltender Kreisbogenradien mit Mindestanhaltenwegen von manuell und automatisiert gesteuerten Fahrzeugen, wird ersichtlich, dass ein Anhalten innerhalb des einsehbaren Bereichs, auf eng verbauten Streckenabschnitten, mit zulässigen Geschwindigkeiten mittels manuell gesteuerten Fahrzeugen oftmals nicht möglich ist. Wenn bei AF der Stufe 3 zudem eine Übernahmezeit von 10 s zu berücksichtigt werden muss, ist ein Anhalten innerhalb des einsehbaren Bereichs auf eng verbauten Streckenabschnitten unter keinen Umständen möglich. Durch die sehr geringen Latenzzeiten automatisierter Fahrzeuge der Stufe 4/5 und zudem die elektronische und somit idealisierte Ansteuerung der Bremsen von hochautomatisierte Fahrzeuge resultieren vergleichsweise sehr kurze Anhaltewege. Ein Anhalten innerhalb des Einsehbaren Bereichs, auch auf sehr eng verbauten Streckenabschnitten, ist somit auf nach der RVS 03.03.23 gestalteten Strecken, unter allen untersuchten Umständen möglich.

Parkplätze und Haltebuchten

Die Organisation und Anzahl der Stellplätze für den Individualverkehr ist in der RVS 03.07.11¹⁷² und teilweise in der RVS 03.04.12¹⁷³ geregelt. Bei entsprechender Marktdurchdringung sollte das Merkblatt hinsichtlich Valet Parking erweitert werden. Es ist anzunehmen, dass Parkplätze für fahrerloses einparken schmaler und somit wirtschaftlicher gestaltet werden können, da das Ein- und Aussteigen direkt am Parkplatz entfällt. Im Gegenzug sind jedoch Ein- und Ausstiegsbereiche, an denen die Übergabe vom Fahrer an das automatisierte System erfolgt, vorzusehen.

Die Platzierung und Gestaltung von Parkplätzen und Haltebuchten an Richtungsfahrbahnen sind in der RVS 03.07.12¹⁷⁴ geregelt. Zu Beginn der Markteinführung von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 4 ist zu erwarten, dass sich die Systemgrenzen, in denen vollautomatisiertes Fahren möglich ist, auf das hochrangige Straßennetz beschränkt. Fahrzeuge müssen die Systemgrenzen selbstständig erkennen und den Fahrer zur Übernahme auffordern. Übernimmt der Fahrer das Steuer nicht, müssen die Fahrzeuge in der Lage sein, einen sicheren Zustand (Stillstand) herbeizuführen. Da ein derartiger „sicherer Zustand“ nicht direkt auf der Fahrbahn herbeigeführt werden kann, da dies wiederum ein Risiko für andere Verkehrsteilnehmer darstellen würde, sind unter Umständen zusätzliche Haltebuchten vorzusehen. Ev. wird zu gegebenem Zeitpunkt die RVS 03.07.12 dementsprechend zu erweitern sein.

Leistungsfähigkeit von Straßen

Die Leistungsfähigkeit von Straßen wird beispielsweise durch die Kurvigkeit, die Längsneigung aber auch durch den Anteil an Schwerverkehr beeinflusst. Voraussichtliche Beeinflussungen werden in der RVS 03.01.11¹⁷⁵ angegeben. Beispielhaft ist eine Tabelle dieser RVS in Abbildung 12 dargestellt.

¹⁷² FSV Mai 2008

¹⁷³ FSV Jänner 2001a

¹⁷⁴ FSV August 2014b

¹⁷⁵ FSV August 2012

Leistungsfähigkeit L [Kfz/h]		Schwerverkehrsanteil SV [%]		
Längsneigung s	Kurvigkeit ku [g/km]	0	10	20
s ≤ 4 %	<75	2.500	2.333	2.190
	75 bis < 150	2.073	2.065	2.055
	≥ 150	1.933	1.835	1.798
4 < s ≤ 6 %	<75	2.500	1.965	1.795
	75 bis < 150	2.000	1.925	1.795
	≥ 150	1.930	1.795	1.735
6 < s ≤ 8 %	<75	2.400	1.590	1.445
	75 bis < 150	2.000	1.580	1.445
	≥ 150	1.930	1.570	1.445
s > 8 %	<75	2.000	1.230	1.055
	75 bis < 150	1.800	1.230	1.045
	≥ 150	1.800	1.230	1.045

Abbildung 12: Leistungsfähigkeit zweistreifiger Freilandsraßen¹⁷⁶

Bei entsprechender Marktdurchdringung von AF könnte sich der Einfluss auf die Leistungsfähigkeit durch Kurvigkeit (z.B. durch Hinterlegen der Straßenverläufe in digitalen Karten) oder durch den Schwerverkehr, durch voranschreitende Automatisierung und den Einsatz von Platooning, verringern. Auch die Leistungsfähigkeit von Knoten (siehe RVS 03.05.12¹⁷⁷) und Kreisverkehren (siehe RVS 03.05.14¹⁷⁸) könnte durch steigende Marktdurchdringung von hochautomatisierten Fahrezügen gesteigert werden (verringerte Reaktionszeiten beim Anfahren). Dementsprechend sollten die Werte zum gegebenen Zeitpunkt angepasst werden.

4.3.2 Fahrgeschwindigkeiten

Die Festlegung von Geschwindigkeitsbeschränkungen wird in der RVS 02.02.37¹⁷⁹ geregelt. Die in dieser RVS angeführten Regelungen beruhen auf den drei Grundsätzen der „Sicherheit“, „Leichtigkeit“ und „Flüssigkeit“ des Verkehrs. Diese drei Attribute sind in der RVS 02.02.37 wie folgt definiert:

„Sicherheit

Eigenschaft des Verkehrs, welche die (potentielle) Unfallfreiheit beschreibt. Das Unfallgeschehen wird durch Kennzahlen beschrieben (RVS 02.02.21). Verkehrstechnische Indikatoren (wie z.B. Konflikte im Sinne der RVS 02.02.22 oder Geschwindigkeitsverteilung in Relation zu Anlage- und Verkehrsverhältnissen) weisen auf Sicherheitsdefizite hin.

Leichtigkeit

Eigenschaft des Verkehrs, welche die Bewegungsqualität des einzelnen Verkehrsteilnehmers im Verkehrsraum beschreibt. Sie umfasst damit die Erkennbarkeit, Begreifbarkeit und Benutzbarkeit von Verkehrsflächen.

Flüssigkeit

Eigenschaft des Verkehrs, welche den Verkehrsablauf hinsichtlich des Zusammenwirkens des Kollektivs der Verkehrsteilnehmer beschreibt¹⁷⁹

Hinsichtlich der Erforderlichkeit einer Geschwindigkeitsbeschränkung ist in dieser RVS Folgendes zu finden:

„Die Erforderlichkeit einer Geschwindigkeitsbeschränkung ist nur dann gegeben, wenn Defizite der Sicherheit, Leichtigkeit und/oder Flüssigkeit des Verkehrs auf nicht an die Straßen- und

¹⁷⁶ FSV August 2012, S. 11

¹⁷⁷ FSV März 2007b

¹⁷⁸ FSV Oktober 2010

¹⁷⁹ FSV Februar 2015a

*Verkehrsverhältnisse angepasste Fahrgeschwindigkeit zurückzuführen sind und die Ursachen durch andere Maßnahmen nicht zeitgerecht bzw. nicht kurzfristig behoben werden können.*¹⁸⁰

Auf Grund dieser Beschreibung der „Erforderlichkeit“ einer Geschwindigkeitsbeschränkung stellt sich die Frage, ob Geschwindigkeitsbeschränkungen zukünftig für hochautomatisierte Fahrzeuge überhaupt notwendig werden, oder ob derartige Fahrzeuge alle zur Bestimmung der Geschwindigkeit relevanten Daten mittels on-board-Sensorik und hinterlegten, digitalen Karten situationsgerecht (Tag, Nacht, Wetterlage, Umfeld – Schule, Wohnstraße, Freiland) unter Berücksichtigung der drei oben angeführten Grundsätze selbst bestimmen können.

Auch den Geschwindigkeitsregelungen der Straßenverkehrsordnung (StVO) würde diese Idee nicht grundlegend widersprechen.

*„Der Lenker eines Fahrzeuges hat die Fahrgeschwindigkeit den gegebenen oder durch Straßenverkehrszeichen angekündigten Umständen, insbesondere den Straßen-, Verkehrs- und Sichtverhältnissen, sowie den Eigenschaften von Fahrzeug und Ladung anzupassen. Er darf auch nicht so schnell fahren, daß er andere Straßenbenützer oder an der Straße gelegene Sachen beschmutzt oder Vieh verletzt, wenn dies vermeidbar ist. Er darf auch nicht ohne zwingenden Grund so langsam fahren, daß er den übrigen Verkehr behindert.“*¹⁸¹

Hinsichtlich der Erkennung von VZ ist die zulässige Geschwindigkeit in der RVS 02.02.37 wie folgt definiert.

*„VZ müssen leicht und rechtzeitig erkennbar sein. Verkehrsteilnehmer sollen die VZ bereits in der Annäherung erkennen können. Die Berechnung der minimalen Sichtbarkeitsentfernung erfolgt unter der Annahme von 3 s Wahrnehmungszeit im 30°-Sichtkegel. Die Sichtfelder sind freizuhalten.“*¹⁸²

Wird diese Vorgabe flächendeckend eingehalten, können so auch die Mindeststandards der on-board Sensorik von AF hinsichtlich der Erkennung von VZ definiert werden.

4.3.3 Kategorisierung von Straßen

RVS 03.01.13¹⁸³ bietet eine Grundlage zur Kategorisierung von Straßen und Straßenzügen.

*„Die Kategorisierung eines Straßennetzes erfolgt mit dem Ziel, den einzelnen Straßenabschnitten Merkmale und Anforderungen entsprechend ihrer räumlichen-verkehrlichen Funktion zuzuordnen.“*¹⁸³

Abbildung 13 wurde direkt aus der RVS 03.01.13 entnommen und zeigt ein mögliches Beispiel einer Kategorisierung.

¹⁸⁰ FSV Februar 2015a

¹⁸¹ Bundeskanzleramt 1960, § 20

¹⁸² FSV Februar 2015a

¹⁸³ FSV Juli 2012

Kategorie	Querschnitt	Knotenform	Ortsgebiet	StVO-Typ	V _{zul} [km/h]	Begleitwege	Radverkehr	Bushaltest.	Bem.-std.	V _v [km/h]
I	¹⁾ mit Mittel-trennung	planfrei	nein	Autobahn	130		nein		100	80
Ia	¹⁾ mit Mittel-trennung	planfrei	nein	Autobahn	80–100		nein		200	70
II	¹⁾ ggf. Mittel-trennung	planfrei / gemischt	nein	Autobahn, Autostraße	100–130		nein		100	70
Ila	¹⁾ ggf. Mittel-trennung	planfrei / gemischt	bedingt	Autobahn, Autostraße	80		nein		200	60
III	¹⁾	planfrei / plangleich	bedingt	Straße mit Vorrang	100	ja	Radweg	Bucht	200	60
IV	¹⁾	plangleich	ja		80+	bedingt	Radweg	Bucht / Fahrbahn	200	55
V	zweistreifig	plangleich	ja		80	nein	Radweg / Fahrbahn	Fahrbahn	200	50
VI	zweistreifig	plangleich	ja		≤ 50	nein	Radweg / Fahrbahn	Fahrbahn	200	≤ 40

¹⁾ Fahrstreifenanzahl gemäß Bemessung

Abbildung 13: Beispiel für eine Kategorisierung von Straßen¹⁸⁴

Sinnvoll wäre es, jede Straße bzw. jeden Abschnitt nach vorgegebenen Richtlinien zu kategorisieren und diese Kategorisierung in digitalen Karten zu hinterlegen. So könnten beispielsweise in den Anfängen der Automatisierung von Fahrzeugen die Grenzen des Fahrbetriebes festgelegt werden. Derzeit ist eine Kategorisierung von Straßenabschnitten nicht verpflichtend.

4.3.4 Oberbaubemessung

Zur Bemessung des Oberbaus von Straßen ist die RVS 03.08.63¹⁸⁵ heranzuziehen. Die jeweilige erwartete Verkehrsbelastung einer Straße hat einen Einfluss auf die Bemessung eines Oberbaus. „Diese Verkehrsbelastung wird ausgedrückt durch die äquivalente Anzahl von Übergängen der Normlast von 100 kN, als Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) bezeichnet...“¹⁸⁵

$$BNLW = NLW_{\text{tägl}} * R * V * S * 365 * n * z \quad (5)$$

Mit: S Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens¹⁸⁵
Die restlichen Variablen sind in diesem Zusammenhang nicht relevant und werden aus diesem Grund nicht näher beschrieben.

Je nach Breite des Fahrstreifens variiert der Abminderungsfaktor S zwischen 0,7 und 1. Die Werte für S sind in Abbildung 14 ersichtlich.

b _r [m]	< 3,00	3,00	3,25	3,50	3,75	≥ 4,00
S	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Abbildung 14: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite b_r¹⁸⁶

¹⁸⁴ FSV Juli 2012, S. 7

¹⁸⁵ FSV Juni 2016

¹⁸⁶ FSV Juni 2016, S. 5

Kommt allerdings zukünftig vermehrt Platooning, speziell beim Schwerverkehr, zum Einsatz, dann ist der Fahrspurfaktor S demnach anzupassen. Folgefahrzeuge werden sich bei der Fahrspurwahl nach dem an der Spitze fahrenden Fahrzeug (das vermutlich seine Fahrspur mittels Sensorik dem Fahrstreifen nach zentriert) richten und somit eine geringere Varianz der Fahrspuren erwarten lassen. Für die Oberbaubemessung von ländlichen Straßen und Güterwegen (siehe RVS 03.03.81¹⁸⁷) mit einer LKW-Frequenz von max. 10 LKW/Tag wird kein negativer Einfluss hinsichtlich der Oberbaubelastung durch Platooning erwartet.

4.4 Ingenieurbauwerke

Im Folgenden werden Passagen von RVS mit Bezug auf Ingenieurbauwerke mit möglichem Änderungs- oder Ergänzungsbedarf angeführt. Unterteilt ist der Abschnitt in die Bereiche Brücken und Tunnel. Andere Ingenieurbauwerke werden aufgrund geringer Relevanz auf automatisiertes Fahren nicht behandelt.

4.4.1 Brücken

Grundsätzlich wird die statische Bemessung von Brücken nicht in den RVS behandelt. In der RVS 06.01.41¹⁸⁸ werden jedoch die Ziel- und Aufgabenbeschreibungen von Planungsleistungen beschrieben und in der RVS 06.02.41¹⁸⁹ die Ziel- und Aufgabenbeschreibungen der Bestandsprüfungen von Brücken und anderen Kunstbauten. Qualitätskriterien für die Planung von Brücken sind in der RVS 15.01.11 beschrieben, und in der RVS 15.02.32 wird die Ermittlung von Schnittgrößen in Fahrbahnplatten von Straßenbrücken mithilfe unterschiedlicher Lastmodelle erläutert. Genaue Bestimmungen hinsichtlich der Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Brücken sind in der RVS 13.03.11 und 13.03.51 festgehalten.

Durch voranschreitende Automatisierung könnte gerade im Schwerverkehr Platooning eine wichtige Rolle spielen. Möglicherweise treten durch Platooning nicht nur höhere, statische Lasten auf (geringere Abstände = mehr LKWs auf gleicher Strecke), sondern durch die exakt gleichförmige Bewegung und gleichzeitiger Nutzung der genau gleichen Fahrspur könnten sich auch die dynamischen Lasten dementsprechend erhöhen. In der RVS 06.01.41 könnte Platooning als eigene Lastfallkombination unter dem Punkt erhöhter Planungsaufwand ergänzt oder ein zusätzliches, dementsprechendes Lastmodell in der RVS 15.02.32 eingeführt werden. Ob bestehende Brücken grundsätzlich für Platooning freigegeben werden können, muss ev. im Einzelfall überprüft werden.

4.4.2 Tunnel

Beleuchtung

Besonderes Augenmerk bei der Gestaltung von Straßentunneln hinsichtlich automatisiertem Fahren sollte auf die Beleuchtung der Tunnel gelegt werden. Bei raschem Wechseln der Beleuchtungsstärke könnte es zu Ausfällen der on-board Sensorik von AF kommen. Abzuklären ist, ob durch den Einsatz unterschiedlicher simultan eingesetzter Sensorsysteme die Erfassung der direkten Fahrzeugumgebung ohne unerwünschte Ausfälle bewerkstelligt werden kann. Ist das nicht der Fall, müsste die Gestaltung der Tunnelbeleuchtung an die Möglichkeiten von AF angepasst werden.

¹⁸⁷ FSV April 2011

¹⁸⁸ FSV März 2010

¹⁸⁹ FSV September 2013

In der RVS 09.02.41¹⁹⁰ sind bereits jetzt relativ strenge Vorgaben hinsichtlich der Beleuchtung von Straßentunneln definiert. Um die menschliche Wahrnehmung nicht zu überlasten, muss ein gewisser Beleuchtungsübergangsbereich von der freien Strecke zur Innenstrecke von Tunneln geschaffen werden (siehe Abbildung 15).

„Die Anforderungen an die Beleuchtung eines Tunnels werden durch die Eigenschaften des menschlichen Auges bestimmt.“¹⁹⁰

Zukünftig müssen unter Umständen auch die Eigenschaften und technischen Möglichkeiten der Sensorik von AF beachtet werden. Für AF könnten ev. strenger Richtlinien für den Übergang von Tunnelinnenstrecke zum Außenbereich erforderlich werden. Die derzeitige Formulierung bezüglich der Beleuchtung der Ausfahrtsstrecke von Straßentunneln muss ev. abgeändert werden.

„Zur Beleuchtung der Innenstrecke ist ergänzend keine weitere Beleuchtung der Ausfahrtsstrecke vorzusehen.“¹⁹⁰

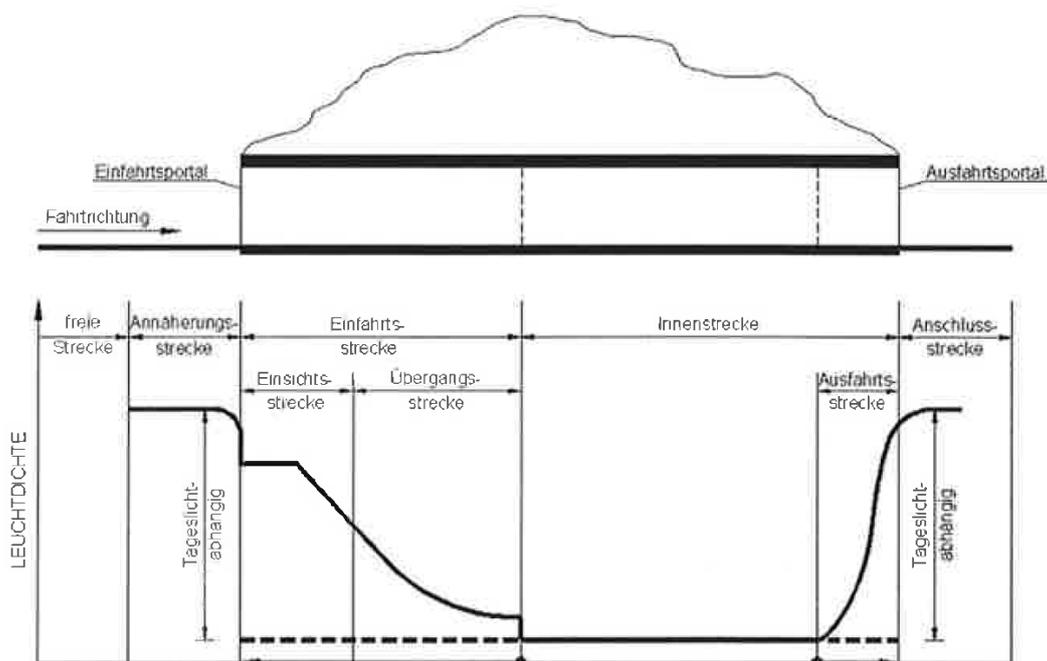


Abbildung 15: Schematischer Verlauf der Leuchtdichte¹⁹¹

Lt. RVS 09.04.11 ist eine Abminderung der Tunnelbeleuchtung bei geringer Außenleuchtdichte oder geringem Verkehrsaufkommen unter den in der RVS 09.02.41 vorgegeben Wert zulässig.

„Die Durchfahrtsbeleuchtung darf unter einer Außenleuchtdichte von 5 cd/m^2 (bzw. Außenbeleuchtungsstärke von 50 Lux) auf 50% des Wertes der RVS 09.02.41 abgemindert werden. Bei geringem Verkehrsaufkommen unter 100 KFZ/h je Tunnelröhre darf die Durchfahrtsbeleuchtung um eine Stufe reduziert geschaltet werden.“¹⁹²

Eine Kompatibilität mit der sensorischen Umfelderkennung von AF sollte sichergestellt werden.

¹⁹⁰ FSV Februar 2014

¹⁹¹ FSV Februar 2014, S. 4

¹⁹² FSV Jänner 2008

Vorportalsgestaltung

Die Gestaltung von Tunnelvorportalen ist in der RVS 09.01.25¹⁹³ geregelt.

Hinsichtlich der maximalen Höhe von Verkehrszeichenträgern sind keine Regelungen in der RVS zu finden.

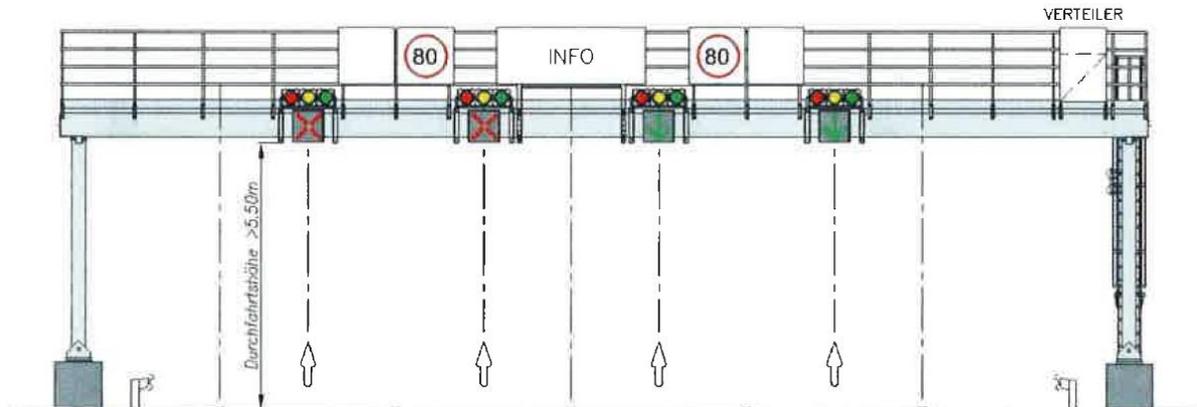


Abbildung 16: Ausführung von Verkehrszeichenträger bei drei Fahrstreifen¹⁹⁴

Um den maximalen, sensorischen Erfassungsbereich von AF festzulegen, wäre eine Höhenbegrenzung für Verkehrszeichenträger sinnvoll.

4.5 Baustellenbereich

Im Folgenden werden Passagen von RVS mit Bezug auf Baustellenbereiche mit möglichem Änderungs- oder Ergänzungsbedarf angeführt.

Regelungen zur Kennzeichnung und Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen mit öffentlichem Verkehr sind in den RVS 05.05.41¹⁹⁵, 05.05.42¹⁹⁶, 05.05.43¹⁹⁷ und 05.05.44¹⁹⁸ zu finden.

Grundsätzlich hat die Baustellenabsicherung bei allen Straßenkategorien nach vorgegebenen Regelplänen zu erfolgen und kann somit als vereinheitlicht angesehen werden.

„Die Kennzeichnung der Arbeitsstelle hat grundsätzlich nach den Regelplänen zu erfolgen. Muss ausnahmsweise von den Regelplänen abgewichen werden, so sind diese sinngemäß an die jeweilige Situation anzupassen.“¹⁹⁷

Es könnte angedacht werden, Baustellen, die nicht nach Regelplänen abgesichert werden können, gesondert zu kennzeichnen. Somit könnte beispielsweise, sobald eine spezielle Kennzeichnung vom Fahrzeug erkannt wird, gerade zu Beginn des automatisierten Fahrens vor individuellen, nicht vollständig nach Regelplan abgesicherten Baustellen, das Steuer an den Fahrer übergeben werden.

Bei den vorgegebenen Regelplänen gibt es Varianten, die das Aufstellen des Gefahrenzeichens – Baustelle (siehe Abbildung 17) nicht zwingend vorsehen. Um die Einführung von automatisiertem Fahren zu erleichtern, wäre es [FS1]sinnvoll, jede Baustelle und somit Abweichung vom gewöhnlichen

¹⁹³ FSV April 2015

¹⁹⁴ FSV April 2015, S. 30

¹⁹⁵ FSV Mai 2012a

¹⁹⁶ FSV Mai 2012b

¹⁹⁷ FSV November 2003

¹⁹⁸ FSV Februar 2016

Straßenbild, mit einem Gefahrenzeichen auszustatten. Somit könnte gerade bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe drei oder auch vier das Steuer rechtzeitig übergeben werden.



Abbildung 17: Gefahrenzeichen - Baustelle¹⁹⁹

„Bei Arbeitsstellen von kürzerer Dauer sind während der Arbeitsdurchführung Leitkegel anstelle von Leitbaken zur Verkehrsleitung zugelassen.“²⁰⁰

Zu prüfen wäre, die Standsicherheit von Leitkegeln im Unwetterfall bzw. das Verhalten von AF im Falle von fehlenden, liegenden oder verschobenen Leitkegeln.

„Die Baustellenmarkierung ist in Farbmarkierung bzw. Folie in retroreflektierendem Material aufzuführen. Wenn die Fahrbahndecke durch das Entfernen der provisorischen Markierung nicht beschädigt werden soll, ist die Verwendung von Markierungsfolie zweckmäßig.“²⁰⁰

Immer wieder sind Situationen in Baustellenbereichen zu beobachten, bei denen die Markierungsfolie nicht wie angedacht platziert ist, sondern sich löste und vom Wind verlegt wurde. Es müsste sichergestellt werden, dass der Betrieb von AF in derartigen Situationen mit fehlenden oder falsch liegenden Bodenmarkierungen möglich ist. Andernfalls müsste die Haftfähigkeit von derartigen Folien verbessert oder in derartigen Baustellenbereichen automatisiertes Fahren untersagt werden.

Grundsätzlich sollten die Bestimmungen zu Bodenmarkierungen in Baustellenbereichen der RVS 05.05.41 mit den Möglichkeiten von AF abgeglichen werden.

„Erforderlichenfalls sind bei kurzfristigen Maßnahmen bestehende Bodenmarkierungen durch Auskreuzen mit Markierungsfolie außer Kraft zu setzen“²⁰⁰

Fraglich ist, ob eine einwandfreie Detektion und Interpretation durch AF in solchen Fällen fehlerfrei möglich ist.

4.6 Straßenerhaltung

Im Folgenden werden Passagen von RVS mit Bezug auf Straßenerhaltung mit möglichem Änderungs- oder Ergänzungsbedarf angeführt.

Die Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen sind gesammelt in der RVS 12.01.12²⁰¹ festgehalten.

¹⁹⁹ FSV Dezember 2015, S. 29

²⁰⁰ FSV Mai 2012a

²⁰¹ FSV Oktober 2013

Die Zustandskontrolle (augenscheinliche Kontrolle) von Landesstraßen inklusive aller zugehörigen Einrichtungen erfolgt grundsätzlich durch den Streckendienst.

Die Mindestwerte für die Kontrollhäufigkeit des Streckendienstes ist in Abbildung 18 ersichtlich.

Verkehrsstärke JDTV [Kfz/24 h]	Kontrolle pro Woche
≥ 5.000	3 x
< 5.000	2 x

Abbildung 18: Kontrollhäufigkeit auf Landesstraßen²⁰²

„Diese Bereisungsintensität stellt ein Mindestanforderung dar, welches bei normalen Witterungs- und Straßenverhältnissen einzuhalten ist.

Bei unvorhersehbaren Elementarereignissen ist es Aufgabe des jeweiligen Straßenmeisters, die Bereisungsintensität individuell anzupassen.“²⁰³

Bodenmarkierungen

Hinsichtlich der Prüfung oder Kontrolle von Bodenmarkierungen sind keine speziellen vorgegebenen Intervalle oder Verantwortungsbereiche definiert.

„Die Erkennbarkeit soll innerhalb einer Entfernung von 50 m bis 120 m möglichst ganzjährig bei Tag und bei Nacht gut gegeben sein.“²⁰³

Sollten sich Bodenmarkierungen zur Orientierung von AF tatsächlich als notwendig herausstellen, sind, um eine gewisse Qualität gewährleisten zu können, hinsichtlich der Wartung und Überprüfung mittels entsprechenden Messgeräten strengere Richtlinien zu definieren.

Verkehrszeichen

Lt. RVS 12.01.12 ist für die Instandhaltung von VZ der Straßenerhalter verantwortlich.

„Die Erkennbarkeit der VZ bei Tag und bei Nacht ist zu gewährleisten. Der Streckendienst hat einmal jährlich augenscheinlich die Reflexion bei Dunkelheit oder schlechter Sicht zu prüfen. Eine detaillierte Prüfung der Rückstrahlwerte mittels Reflexiometer erfolgt auf Anforderung.“²⁰³

Fraglich ist, ob eine augenscheinliche Prüfung der Reflexion für die Einsatzbedingungen von AF ausreichend ist oder ob fixe Intervalle zur Prüfung von VZ mittels Reflexiometer notwendig werden. Denkbar wäre auch, dass die Prüfung von VZ automatisiert durch die on-board Sensorik von AF erfolgen kann und nicht, oder schwer erkennbare VZ umgänglich und automatisiert dem Straßenerhalter oder einer anderen Instanz gemeldet werden.

Fahrbahnoberfläche

Die Fahrbahnerhaltung von Landesstraßen ist in der RVS 12.01.12 geregelt.

²⁰² FSV Oktober 2013, S. 36

²⁰³ FSV Oktober 2013

„Die laufende Überwachung des standardgemäßen Zustandes hat in regelmäßigen Abständen durch den Streckendienst (siehe Sondertätigkeiten) sowie durch den Straßenmeister augenscheinlich zu erfolgen“²⁰⁴

Die laufende Überwachung könnte zukünftig zum Teil von AF selbst übernommen werden. Durch on-board Sensorik detektierte Schlaglöcher, Risse, etc. könnten direkt der Straßenmeisterei gemeldet werden. Somit wäre eine Entlastung des Streckendienstes und der Straßenmeisterei möglich.

Die Bewertung von Oberflächenschäden ist mit der RVS 13.01.16²⁰⁵ geregelt. Je nach Genauigkeit der Sensordaten von AF könnte die Bewertung automatisiert mittels Software vorgenommen werden.

Bankett

Die betriebliche Erhaltung des Banketts ist in der RVS 12.01.12 geregelt. Die Regelungen sind jedoch sehr oberflächlich formuliert. Konkrete Wartungsintervalle sind nicht angegeben. Gerade im ländlichen Raum, wo oftmals seitliche Begrenzungslinien fehlen, könnte das Bankett jedoch eine maßgebende Rolle für die Orientierung mittels Umfeldsensorik von AF spielen. Daher könnte eine genauere Definition von erforderlichem Zustand und der dazugehörigen Wartung notwendig werden.

4.7 Zusammenfassung der Richtlinienüberprüfung

Es wurden alle RVS gesichtet, die sich unter Umständen auf den Einsatz von AF auswirken. Neben Richtlinien, die die Gestaltung von Leiteinrichtungen oder die grundsätzliche Trassierung von Straßenzügen behandeln, wurden auch die Gestaltung von Ingenieurbauwerken, Baustellenbereichen und die Straßenerhaltung betreffende Richtlinien untersucht.

Ausgehend davon, dass für den flächendeckenden Einsatz von AF, idealerweise, eine Vereinheitlichung der Straßeninfrastruktur anzustreben ist, sind großteils der Formulierungen der Richtlinien als recht positiv zu erachten. Sollen die Richtlinien an den Einsatz von AF angepasst werden, dann ist weniger von Änderungsbedarf, sondern von Ergänzungsbedarf zu sprechen.

Überblicksmäßig werden an dieser Stelle nochmals die wichtigsten Punkte angeführt, die nach Meinung des Verfassers für den Einsatz von AF beachtet werden sollten.

- Die Anforderungen an Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen bezüglich der Ausführung (Reflexionsverhalten, Farbe, Größe, etc.) sind in den Richtlinien und ÖNORMen genau definiert. Für den Einsatz von AF sollten die definierten Anforderungen mit den Mindestanforderungen der Fahrzeugsensorik zur sicheren Erkennung der Leiteinrichtungen abgeglichen werden. Unter Umständen sind einige Anforderungen anzupassen.
- Um gleichbleibende Qualität von Leiteinrichtung infrastrukturseitig bereitstellen zu können, sind eventuell genauere Vorgaben hinsichtlich Überprüfung und Wartung festzulegen.
- Es wurden keine Vorgaben zum verpflichtenden Einsatz von Bodenmarkierungen als horizontale Leiteinrichtungen gefunden. Wenn AF für die Orientierung innerhalb des Fahrstreifens Randlinien oder andere kontinuierliche Begrenzungen, wie beispielsweise Bordsteinkanten, benötigen, dann sind entsprechende Richtlinien zu definieren.
- Entwurfsvorgaben hinsichtlich der Trassierung von Straßenabschnitten, je nach Straßenkategorie, sind in den RVS grundsätzlich gegeben, jedoch sehr offen formuliert.

²⁰⁴ FSV Oktober 2013

²⁰⁵ FSV November 2012

Möglichkeiten zur Abweichung der Vorgaben sind die Folge. Um eine Vereinheitlichung der Infrastruktur zu erreichen, sollten „offene“ Formulierungen vermieden werden.

- Wird zukünftig mit einem maßgeblichen Einsatz von AF gerechnet, dann könnten die Leistungsfähigkeitsberechnungen angepasst werden. Aufgrund der zu erwartenden schnelleren Reaktionsfähigkeit von AF ist zu erwarten, dass die Leistungsfähigkeit von Knoten gesteigert wird.
- Die Bemessungsvorgaben für den Straßenoberbau, speziell für das hochrangige Straßennetz, müssen unter Umständen angepasst werden. Durch Platooning könnten höheren Belastungen auftreten. Selbiges gilt für die Bemessungsvorgaben für Brücken- oder andere Kunstbauwerke.
- Soll seitens der Infrastruktur ein gewisser Standard bereitgestellt werden, dann ist mit zusätzlichem Aufwand für die Straßenerhaltung zu rechnen. Strengere Richtlinien für die Überprüfung und Wartung der Infrastruktur müssten definiert werden.

Obwohl die Formulierungen in den Richtlinien oftmals einen gewissen Ermessungsspielraum freihalten, bieten die RVS eine gute Grundlage für eine weitestgehend einheitliche Gestaltung der Straßeninfrastruktur. Um eine vollständige Harmonisierung des österreichischen Infrastrukturnetzes zu erreichen, ist jedoch eine Überarbeitung oder Ergänzung einiger Passagen anzudenken.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass nicht jede RVS eine Verbindlichkeitserklärung enthält. Somit ist die verpflichtende Umsetzung der vorgegebenen Maßnahmen nicht für alle Richtlinien gegeben. Bei der tatsächlichen Gestaltung der Straßeninfrastruktur sind immer wieder Abweichungen von den RVS festzustellen.

Es könnte angedacht werden, von den Richtlinien abweichende Straßenabschnitte, z.B. mit zu eng trassierten Bögen, in digitalen Karten zu verzeichnen. Somit wäre beispielsweise der frühzeitige Wechsel von automatisierter zu manueller Steuerung bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 3 oder 4 sichergestellt.

5 Schnittstellenerhebung – „Straßeninfrastruktur und Fahrzeug“

Um die Relevanz bestehender Straßenbaurichtlinien im Hinblick auf den Einsatz von AF zu prüfen und gegebenenfalls Änderungsbedarf aufzeigen zu können, wurden Experteninterviews durchgeführt.

5.1 Hintergrund der Befragung

Es ist zu erwarten, dass sich mit der Einführung von AF zwar neue Möglichkeiten und Chancen für einen breiten Teil der Bevölkerung eröffnen, jedoch Infrastrukturbetreiber neuen Herausforderungen gegenübergestellt werden. Ein flächendeckender Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge wird mit bestehender Infrastruktur nicht möglich sein. Die Frage, wie zukünftig die Straßeninfrastruktur gestaltet werden muss, um hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, kann rein aus Sicht der Infrastrukturbetreiber jedoch nur schwer beantwortet werden. Um zukünftige Anforderungen an die Straßeninfrastruktur zu ermitteln, wurden aus diesem Grund ausgewählte Experten der Fachgebiete Entwicklung automatisierter Fahrsysteme und Infrastrukturgestaltung befragt.

Da sich hochautomatisiertes Fahren noch im Entwicklungsstadium befindet, ist es zurzeit noch nicht möglich, konkrete Angaben hinsichtlich der tatsächlichen Mindestanforderungen an die Straßeninfrastruktur zu definieren. Jedoch können und sollten bereits jetzt gewisse Entwicklungskonzepte erarbeitet werden, um langfristig eine Weiterentwicklung und Anpassung der Infrastruktur zu ermöglichen.

Um festzustellen, ob die in Kapitel 4 erarbeiteten Passagen der österreichischen straßenbaulichen Richtlinien tatsächlich Relevanz hinsichtlich des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge aufweisen und unter Umständen angepasst, detailliert oder abgeändert werden müssen, wurden entsprechende Fragestellungen erarbeitet, welche im Zuge der geführten Experteninterviews diskutiert wurden.

5.2 Anlage der Befragung

Die Expertenbefragung wurde anhand von persönlich oder via Telefonkonferenz geführten Interviews durchgeführt.

Interviewanfragen wurden ausschließlich an ausgewählte Vertreter der Fahrzeugindustrie – Fahrzeughersteller und Entwickler, führende Forscher des Fachgebietes Fahrzeugtechnik und an ein Infrastruktur-Consulting Unternehmen gesendet. Insgesamt wurden 15 Interviewanfragen versendet, 6 davon wurden positiv beantwortet. Die Interviews wurden anschließend im Februar 2018 durchgeführt.

Für die Befragungen wurden jeweils 30 bis 60 Minuten veranschlagt. Die Gespräche wurden mithilfe des im Anhang beigefügten Interviewleitfadens geführt. Dieser enthält 23 Fragestellungen, welche sich auf die Ausarbeitung der in Kapitel 4 angeführten Sichtung der österreichischen straßenbaulichen Richtlinie beziehen. Um das Verständnis einiger Fragestellungen zu erleichtern oder deren Bedeutung zu erläutern, sind dem Leitfaden einige Situationsaufnahmen der bestehenden österreichischen Straßeninfrastruktur beigefügt.

5.3 Interview-Leitfaden

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden an dieser Stelle lediglich die im Leitfaden enthaltenen Fragestellungen angeführt. Der gesamte Interview-Leitfaden, inklusive aller Abbildungen und der Erläuterung für die Teilnehmer, ist dieser Arbeit als Anhang beigefügt.

Die im Leitfaden enthaltenen Fragestellungen sollen als Diskussionsgrundlage und der Orientierung während der Interviews dienen. Die Fragestellungen wurden anhand der im Vorfeld durchgeführten Analyse eventuell relevanter Richtlinien formuliert.

1. Kennen und nutzen Sie straßenbaurechtliche Normen? (StVO, RVS, RAA, RAL, RAST)
2. Werden straßenbaurechtliche Normen in die Entwicklung von automatisierten Systemen einbezogen?
3. Ist zu erwarten, dass vollautomatisiertes Fahren mit bestehender Infrastruktur umsetzbar ist, oder sollte eine Weiterentwicklung der Infrastruktur angestrebt werden?
4. Ist zu erwarten, dass für den Einsatz von hochautomatisierter Fahrzeuge spezielle Einrichtungen seitens der Infrastruktur benötigt werden?
5. Stellen straßenbauliche Leiteinrichtungen (Bodenmarkierungen, Verkehrszeichen, Lichtsignalanlagen, Leitplöcke, Fahrzeugrückhaltesysteme) eine Grundvoraussetzung für das einwandfreie Funktionieren von hochautomatisierten Fahrzeugen dar? – Wenn Ja, welche? (Randlinien, Mittellinien, Verbotsschilder, etc.)
6. Welche Mindestanforderungen werden an die Ausführung von Leiteinrichtungen (Bodenmarkierungen, Verkehrszeichen) gestellt (Farbe, Sichtbarkeit, Beleuchtung, Wartung, etc.), um eine eindeutige Detektion mittels on-board Sensorik zu ermöglichen?
7. Sollte, um mögliche Erfassungskegel von AF mit infrastrukturseitigen Installationen abzugleichen, ein maximaler Installationsraum festgelegt werden?
8. Ist die Erfassungsgenauigkeit der Umfellsensorik von AF ausreichend, um geschwindigkeitsrelevante Informationen rein über Bodenmarkierungen zu erfassen?
9. Welche Relevanz wird für den Einsatz von AF der Stufe 4 oder 5 in hochpräzisen und aktuellen digitalen Karten (HD-Maps) gesehen?
10. Kann durch die Verwendung von HD-Maps gänzlich auf straßenbauliche Leiteinrichtungen verzichtet werden?
11. Welche Aufgaben müssten infrastrukturseitig übernommen werden, um den Einsatz von HD-Maps zu ermöglichen? – Vermessung von Fixpunkten?
12. Wird V2I als Voraussetzung für den Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen angesehen?
13. Speziell auf Autobahnen: Kann bei gegebenen Sichtweiten und einer Geschwindigkeit von 130 km/h ein Fahren auf Sicht nicht immer eingehalten werden? Wie verhalten sich AF in derartigen Situationen?
14. Einige Straßenzüge, speziell in ländlichen Gebieten oder im innerstädtischen Bereich weichen von straßenbaulichen Vorgaben ab. Müssen derartige Straßenzüge in digitalen Karten verzeichnet werden oder ist ein Einsatz von AF auch ohne konkrete Verzeichnung möglich?

15. Zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen ist zu erwarten, dass der Einsatz auf gewisse Bereiche (Autobahnbetrieb) beschränkt ist. Bei Erreichen der Systemgrenzen muss ein sicherer Zustand (Stillstand) herbeigeführt werden können. Müssen an entsprechenden Stellen Haltebuchten vorgesehen werden?
16. Sollte, um Systemgrenzen definieren zu können, eine flächendeckende Kategorisierung von Straßenabschnitten angestrebt werden?
17. Werden durch Platooning höhere Belastungen für den Straßenoberbau oder Ingenieurbauwerke (Brücken und ähnliche) erwartet?
18. Kann durch den Einsatz unterschiedlicher simultan eingesetzter Sensorsysteme die Erfassung der direkten Fahrzeugumgebung ohne unerwünschte Ausfälle im Tunnelbereich (speziell bei Ausfahrten) mit derzeitiger Beleuchtung umgesetzt werden?
19. Ist der Einsatz von AF grundsätzlich auch in Baustellenbereichen denkbar (auch bei fehlenden oder falsch liegenden Bodenmarkierungen)? Ab Wann?
20. Ist die derzeitige Absicherung von Baustellen für den Einsatz von AF ausreichend?
21. Sollten Baustellen in digitalen Karten verzeichnet werden? Wenn ja, ab welcher Baustellendauer?
22. Sind derzeitige Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen für den Betrieb von AF ausreichend oder sollten strengere Vorgaben eingeführt werden?
23. Wann ist der Einsatz von AF (Stufe 4 oder 5 / PKW, LKW) zu erwarten? (Autobahn und Schnellstraße, innerstädtisch, ländliche Gebiete)

5.4 Experteninterviews

Um die Ergebnisse der Interviews kompakt und verständlich darzustellen, wird auf eine wortwörtliche Anführung der jeweiligen Antworten oder der entstandenen Diskussionen verzichtet. Die geführten Interviews werden sinngemäß in eigenen Worten des Verfassers angeführt, auf eine inhaltlich korrekte Formulierung wird geachtet.

Die Reihenfolge der Fragestellungen richtet sich nach dem in Abschnitt 5.3 angeführten Interview-Leitfaden. Eventuelle Abweichungen der Antwortabfolge werden aus Gründen der Übersichtlichkeit an den Interview-Leitfaden angepasst. Die Fragestellungen werden nummeriert und in Stichworten dargestellt, die vollständigen Fragestellungen sind in Abschnitt 5.3 ersichtlich.

Bei den Interviews übersprungene Fragestellungen oder nicht beantwortete Fragen werden hier nicht angeführt.

Es muss angemerkt werden, dass gewisse Antworten oftmals nicht die direkte Meinung der jeweiligen Unternehmen widerspiegeln, sondern der eigenen Meinung der Interviewpartner entsprechen.

5.4.1 Interview – BMW Group

Interviewpartner: Martin Hauschild

Position: Leiter – Entwicklung von Mobilitätstechnologien

Tätigkeit: Entwicklung von technischen Systemen für neue Mobilität

Datum: 06.02.2018

Dauer des Interviews: 57 Minuten

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

Ja – intensive Nutzung in der Entwicklung. Nutzung zur Nachbildung von Muster standardisierter Ausführungen.

Frage 3 – Möglichkeit des vollautomatisierten Fahrens mit bestehender Straßeninfrastruktur:

Fahrzeuge der Stufe 3 und 4 sollten technisch soweit ausgerüstet werden, dass ein Einsatz in bestehender Infrastruktur mit gewissen Systemgrenzen möglich ist. Je besser der Ausbaustandard der Infrastruktur ist, desto weiter können die Systemgrenzen ausgeweitet werden. Ein Einsatz von Fahrzeugen der Stufe 5 ist ohne Beteiligung seitens der Infrastruktur derzeit nicht denkbar.

Frage 4 – Einsatz spezieller infrastruktureller Einrichtungen:

AF der Level 3 und 4 müssen aus technischer Sicht ohne zusätzliche Einrichtungen einsetzbar sein. Zusätzliche Einrichtungen können helfen, Funktionen zuverlässig und flächendeckend anzubieten – wird für den wirtschaftlichen Erfolg sehr wichtig sein (großflächige Nutzung).

Frage 5 – straßenbauliche Leiteinrichtung als Grundvoraussetzung:

Gerade für den Einsatz von Fahrzeuge der Entwicklungsstufe 3 werden Bodenmarkierungen, die neben Radar und Lidarsensorik auch mittels Videosensoren erfasst werden, eine maßgebliche Rolle spielen. Diese müssen eine gewisse Qualität aufweisen, um tatsächlich erfasst werden zu können. Als Grundvoraussetzung werden straßenbauliche Leiteinrichtungen jedoch nicht erachtet – der Einsatzbereich muss je nach Möglichkeit angepasst werden. Streckenfreigaben werden dynamisch durch kontinuierliche Erfassung der Infrastrukturbeschaffenheit durch die Fahrzeuge selbst erfolgen. Weiter könnte eine Freigabe konditional erfolgen. Beispielweise könnten gewisse Strecken aufgrund der infrastrukturellen Gegebenheiten nur bei trockener Fahrbahn freigegeben werden.

Frage 6 – Mindestanforderungen an die Ausführung von Leiteinrichtungen:

Mindestanforderungen können derzeit nur schwer definiert werden. Hinsichtlich der Sichtbarkeit und eindeutigen Erkennbarkeit gilt: je besser und genauer desto besser. Eindeutigkeit und Berechenbarkeit wird relevant.

Frage 8 – Möglichkeiten der Erfassung von Bodenmarkierungen:

Derzeit nicht möglich! Wenn tatsächlich derartige Situationen auftreten, dann muss sich die Sensorik entsprechend anpassen. Derzeitige Sensorik ist für diesen Einsatz nicht optimiert.

Frage 9 – Relevanz von HD-Maps:

Absolute Relevanz und Notwendigkeit! Da die Sensorik in absehbarer Zeit nicht die Güte der menschlichen Wahrnehmung erreichen wird, werden hochgenaue Karten als zusätzliche Sensorik zur Absicherung und als Abgleich der Informationen fungieren. Die Güte des verfügbaren Kartenmaterials und der verfügbaren Informationen wird maßgeblich werden.

Frage 10 – Verzicht auf Leiteinrichtungen durch HD-Maps:

Theoretisch – Ja. Praktisch eher nicht möglich.

Frage 11 – infrastruktureitige Aufgaben bei Einsatz von HD-Maps:

Die Vermessung von Fixpunkten und der tatsächlichen geometrischen Gegebenheiten wird infrastruktureitig bereitgestellt werden müssen. Jedoch werden auch dynamische Inhalte wie Phasenfolge bei VLSA, Fahrbahngegebenheiten, etc. relevant werden. Diese könnten beispielsweise durch Erfassung der „anonymen Flotte“ oder direkt von Infrastrukturbetreibern oder der Behördenseite (Tunnelsperren, Straßensperren, etc.) zur Verfügung gestellt werden.

Frage 12 – V2I als Voraussetzung für AF:

Ja – jedoch müssen auch Verbindungsabrisse beachtet werden. Spätestens bei AF der Stufe 5 wird V2I Kommunikation unumgänglich notwendig werden.

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Durch entsprechende Datenfusion können gewisse Abschnitte auch bei Sichtabrisse (z.B. bei fehlenden Bodenmarkierungen), beispielsweise durch das Folgen des vorausfahrenden Fahrzeugs befahren werden. Über längere Zeit können Abschnitte bei fehlenden Informationen nicht befahren werden. Gewisse Strecken könnten zu Beginn nicht für den automatisierten Einsatz von Fahrzeugen freigegeben werden.

Frage 14 – Notwendigkeit der Kennzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen:

Derartige Situationen müssen in digitalen Karten verzeichnet sein. Jedoch stellt sich die Frage, wie solche Situationen in digitalen Karten aufgenommen werden. Stichwort Self-healing-Map – dynamische Anpassung des Kartenmaterials durch eigenständige Situationsaufnahme durch AF.

Frage 15 – Haltebuchten / Pannestreifen auf Autobahnen:

Solange ein Fahrer vorgeschrieben ist, gilt der Fahrer als „Fallback“ (Rückfallebene) und derartige Einrichtungen sind nicht zwingend notwendig oder derartige Abschnitte werden für den automatisierten Einsatz nicht freigegeben. Bei Level 5 werden derartige oder ähnliche Systeme als Rückfallebene notwendig werden. Jedoch ist nicht sicher, ob zwingend Haltebuchten oder Pannestreifen benötigt werden. Auf technischer Seite wird an einem tele-operation-System gearbeitet, welches bei Systemausfall eine menschliche Fernsteuerung von Fahrzeugen ermöglichen soll.

Frage 16 – Flächendeckende Kategorisierung:

Grundsätzlich sollte durch die on-board Sensorik ein AF selbständig die Befahrbarkeit einzelner Straßenabschnitte erfassen können. Durch Weitergabe der aufgenommenen Informationen an einen Backend-Server können so Systemgrenzen dynamisch festgelegt werden. Des Weiteren sollte auch eine Schnittstelle gefunden werden, um behördliche Informationen, wie kurz- oder längerfristige Straßensperren, zeitnah an die Fahrzeugflotte weiterzuleiten. Eine Kategorisierung von Straßenabschnitten ist zwar ein interessanter Ansatz, wird jedoch in statischer Form nicht das richtige „Werkzeug“ darstellen.

Frage 18 – Fahrzeugsensorik im Tunnelbereich:

Grundsätzlich sollten derartige Situationen technisch fahrzeugseitig gelöst werden. Durch den simultanen Einsatz mehrerer Sensorsysteme können unterschiedliche Situationen bewältigt werden. Speziell die Kamerasensorik verhält sich hinsichtlich der Erfassung ähnlich dem menschlichen Auge. Insofern wirken sich Anpassungen, die der menschlichen Auffassung entgegenkommen, auch vorteilhaft für die Erfassungsmöglichkeiten von AF aus.

Frage 19 – Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Baustellenbereich:

Ja – grundsätzlich ist auch der automatisierte Einsatz von Fahrzeugen in Baustellenbereichen denkbar. Abhängig ist dies jedoch immer von der Komplexität einer Situation. Grundsätzlich bringt eine Baustelleneinfahrt aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsführungsvarianten und Beschilderungsmöglichkeiten, hinsichtlich der Erfassung durch AF, eine größere Komplexität mit sich als gewöhnliche Straßenabschnitte. Sobald jedoch eine Baustelle im hochrangigen Netz befahren wurde, sollte die Durchfahrt keine größere Problematik aufweisen, da die Handlungsmöglichkeiten eher beschränkt sind. Bereits vor der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen werden Assistenten erwartet, die den Fahrer bei der Durchfahrt von Baustellen, beispielweise bei der Querführung eines Fahrzeugs, unterstützen.

Frage 20 – Absicherung von Baustellen:

Speziell um die Gegebenheiten einer Baustelle zu erkennen und korrekt zu erfassen, ist eine Harmonisierung der Absicherung von Baustellenbereichen anzustreben. Können Baustellenbereiche nicht zuverlässig zugeordnet werden, wird ein automatisiertes Befahren nicht möglich sein.

Frage 21 – Notwendigkeit der digitalen Verzeichnung von Baustellen:

Eine infrastrukturseitige digitale Verzeichnung von Baustellenbereichen ist wünschenswert. Jedoch ist auch eine dynamische Aufnahme von Baustellenbereiche durch die Fahrzeugflotte selbst denkbar. Zur Zeit sind behördliche Informationen hinsichtlich Baustellenbereiche (Positionierung und Baubeginn) allein zur Fahrerinformation nicht zureichend. Ein konkreter Baubeginn kann behördlich nicht bekanntgegeben werden. Anzustreben wäre, zumindest diese Informationen sicher angeben zu können.

Frage 22 – Vorgaben zu Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen:

Grundsätzlich ist eine Intensivierung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen wünschenswert. Aus wirtschaftlicher Sicht könnte dies jedoch problematisch werden. Jedoch stellen AF auch für Straßenerhalter ein großes Potential dar. Von AF erfasste infrastrukturelle Mängel könnten direkt an Straßenerhalter weitergegeben werden, um so hinsichtlich der Inspektion von Straßenzügen Einsparungen erzielen zu können. Die Instandhaltung könnte so effizienter und ereignisorientiert gestaltet werden.

Frage 23 – Geplanter Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen:

Eventuell werden die ersten hochautomatisierten Piloten 2021 zu erwarten sein. Ab 2025 könnten die ersten kommerziellen Anwendungen erscheinen, jedoch wird der Einsatz zu Beginn nicht flächendeckend möglich sein. Eventuell könnte auf abgeschlossenen Flächen, aufgrund der Berechenbarkeit, deutlich früher eine Automatisierung stattfinden.

Weitere Anmerkungen:

Durch dynamische Streckenfreigaben können Straßenabschnitte je nach Zustand, Ausbaustandard, Wetterlage, etc. jederzeit für die Nutzung von AF freigegeben oder gesperrt werden. Somit sollten für die Einführung von AF aus rein technischer Sicht keine zusätzlichen Anforderungen an die infrastrukturelle Gestaltung entstehen. Zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen wird das Einsatzgebiet auf einige wenige, dementsprechend ausgebaute Straßenabschnitte beschränkt sein. Aus wirtschaftlicher Sicht und um die öffentliche Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge zu steigern, sollte jedoch eine zunehmende Einsatzmöglichkeit hochautomatisierter Fahrzeuge angestrebt werden.

Der Entwicklung von fahrerlosen Fahrzeugen wird mit der Etablierung neuer Mobilitätskonzepte einhergehen. Neben primären Fahrten des Personen- und Warentransports werden zudem automatisierte Servicefahrten (Fahrten auf abgeschlossenem Gelände wie Parken, Laden, etc.) hohe wirtschaftliche Relevanz aufweisen. Es wird jedoch notwendig werden, derartige Fahrzeugumschlagflächen mit entsprechender technischer Infrastruktur auszustatten. Der Einsatz von V2I-Kommunikation wird unumgänglich.

5.4.2 Interview – Magna Steyr

Interviewpartner: Dipl.-Ing. Kurt Tschabuschnig

Position: Vorentwicklung – funktionale Sicherheit

Tätigkeit: Entwicklung von Produktsicherheit beispielsweise bei Ausfall von Elektronik

Datum: 08.02.2018

Dauer des Interviews: 105 Minuten

Anmerkung:

Die im folgenden Interview besprochenen infrastrukturellen Anpassungen beziehen sich auf einen weiter entfernten Zeitpunkt (10 Jahre +). Herr Tschabuschnig weist darauf hin, dass er der Meinung ist, dass längerfristig die Informationsaufnahme nicht mehr ausschließlich durch Erfassen mittels on-board Sensorik fungiert, sondern ausschließlich für ein jeweiliges Fahrzeug relevante Informationen direkt von der Infrastruktur an das Fahrzeug übertragen werden. Somit können Sensoren und die benötigte Rechenleistung im Fahrzeug reduziert werden.

Weiter sollten den Fahrzeugen nicht nur beispielsweise Geschwindigkeitsreduktionen mitgeteilt werden, sondern diese in Kombination mit weiteren Informationen (z.B. Wetterdaten, Fahrbahntemperaturen, Fahrbahnbeschaffenheit, etc.) verknüpft werden. Somit kann ein Fahrzeug z.B. im Falle von Blitzeis auf der Fahrbahn nicht nur die gefahrene Geschwindigkeit anpassen, sondern auch weitere Fahrmanöver den Gegebenheiten entsprechend durchführen. Somit werden ausgeschriebene zulässige Höchstgeschwindigkeiten auch für den Fahrer nachvollziehbar, Akzeptanz und Einhaltung können gesteigert werden.

Betrachtet man eine gesamte Fahrzeugflotte, würden derartige Systeme einen erheblichen Rückgang der gesamt benötigten Rechenleistung mit sich bringen. Es müsste nicht jedes Fahrzeug selbstständig VZ, Wetterdaten und andere Informationen aus den Fahrbahnsensoren ermitteln und für eine situationsbedingte Fahrweise interpretieren.

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

In den entsprechenden Abteilungen - Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

In den entsprechenden Abteilungen werden derartige Normen genutzt. Teststrecken werden nach derartigen Normen ausgerüstet.

Frage 3 – Möglichkeit des vollautomatisierten Fahrens mit bestehender Straßeninfrastruktur:

Nein

Frage 4 – Einsatz spezieller infrastruktureller Einrichtungen:

Ja – Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur muss möglich sein. Jedoch muss dies nicht zwingend über einen Funkstandard fungieren. Informationsaustausch muss möglich sein.

Frage 5 – straßenbauliche Leiteinrichtung als Grundvoraussetzung:

Bei der Erkennung von Leitplanken mittels Radarsensorik kommt es heute oftmals noch zu Fehlinterpretationen. Werden Leitplanken durch Objekte verdeckt, kann es zu Reflexionen kommen, die die Positionsbestimmung verfälschen. Speziell bei der Wartung von Leiteinrichtungen werden die Anforderungen steigen. In bestimmten Abschnitten müssen Leiteinrichtungen zukünftig einen gewissen Standard aufweisen, um hochautomatisiertes Fahren sicher zu ermöglichen. Vermehrt werden auch Infrastrukturbetreiber Verantwortung übernehmen müssen.

Als Infrastrukturbetreiber werden zusätzlich Anbieter von hochgenauem und aktuellem Kartenmaterial auftreten. Auch diese müssen einen gewissen Standard bereitstellen und eine gewisse Aktualität und Richtigkeit der Informationen garantieren können.

Frage 6 – Mindestanforderungen an die Ausführung von Leiteinrichtungen:

Ab Level 3 werden Mindestanforderungen gesetzlich gefordert werden. Es ist zu erwarten, dass Streckenabschnitten, die für hochautomatisiertes Fahren freigegeben werden, deutlich intensiverte Wartung und Instandhaltung benötigen. In den USA werden schon heute zahlreiche AF in der bestehenden Infrastruktur getestet. Um jedoch einen gewissen Standard bereitstellen zu können, werden zum größten Teil nur bestimmte Fahrstreifen für die Nutzung automatisierter Fahrzeuge freigegeben. Diese werden dementsprechend gewartet und sind teilweise mit zusätzlichen Einrichtungen ausgestattet.

Kommt es heute zu einem Unfall im Straßenverkehr, trägt rein rechtlich gesehen der Fahrer die volle Verantwortung, solange infrastruktureseitig keine grobe Fahrlässigkeit nachgewiesen werden kann. Der Fahrer eines Fahrzeugs ist für das Monitoring der Umgebung verantwortlich und muss sein Fahrverhalten dementsprechend anpassen. Zukünftig, sobald ein Fahrzeug auf einen gewissen infrastrukturellen Standard angewiesen ist, wird sich die Verantwortung verschieben.

Frage 7 – maximaler Installationsraum:

Ja- eine gewisse Anpassung an die Sensorik ist zu erwarten. Speziell in den ersten Schritten werden konkretere Reglementierungen notwendig sein. Auf lange Sicht betrachtet könnten Informationen jedoch auch direkt an die Fahrzeuge weitergegeben werden und eine direkte Informationserfassung mittels on-board Sensorik nicht zwingend erfolgen müssen.

Frage 8 – Möglichkeiten der Erfassung von Bodenmarkierungen:

Es wird eine redundante Information benötigt werden. Diese könnte jedoch auch in digitalen Karten hinterlegt sein.

Frage 9 – Relevanz von HD-Maps:

HD-Maps werden eine große Relevanz darstellen (speziell bei Level 4 und 5). Es ist zu erwarten, dass Fahrzeuge über derartige Karten gesteuert und auch weitere Inhalte wie Wetterdaten, Verkehrsinformationen, etc. hinterlegt sein werden.

Frage 10 – Verzicht auf Leiteinrichtungen durch HD-Maps:

Um Leitlinien auf der Fahrbahn herzustellen, ist ein aufwändiges Vermessungssystem notwendig. Nichtsdestotrotz sind weiterhin Abweichungen von mehreren Zentimetern von der tatsächlich geplanten Position festzustellen. Mit hochpräzisen Karten wäre eine Überprüfung und Korrektur von Leiteinrichtungen möglich.

Dementsprechend könnte unter Umständen auf Leiteinrichtungen verzichtet werden.

Frage 11 – infrastruktureitige Aufgaben bei Einsatz von HD-Maps:

Vermessung von Fixpunkten wird eine wichtige Rolle spielen.

Frage 12 – V2I als Voraussetzung für AF:

Ja – wird eine Voraussetzung darstellen.

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Durch Kombination von on-board Sensorik und digitalen Karten kann die Sichtweite erweitert werden. Jedoch werden aus heutiger Sicht derartige Situationen schwierig zu bewältigen sein. Es wäre auch, ähnlich wie beim Schienenverkehr, eine infrastrukturseitige Abschnittsüberwachung denkbar.

Frage 14 – Notwendigkeit der Kennzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen:

Derartige Straßenabschnitte müssen standardisiert werden. Ohne standardisierte Ausführungen von Straßenzügen wird ein Einsatz nicht möglich sein.

Frage 15 – Haltebuchten / Pannestreifen auf Autobahnen:

Eventuell müssen Pannebuchten auch speziell mit RSU-Einheiten (Roadside Unit) ausgestattet werden. Jedoch muss nicht immer der Stillstand einen sicheren Zustand darstellen. Wenn Stillstand erreicht werden soll, wird meist nicht ein direkter Stillstand eingeleitet werden können, sondern AF müssen ab Auftreten eines Fehlers noch längere Zeit automatisiert fahren können. Fährt ein AF auf dem dritten Fahrstreifen, dann müssen, bevor Stillstand erreicht werden kann, zwei Fahrstreifen sicher überquert und eine Pannebucht aufgesucht werden können.

Frage 16 – Flächendeckende Kategorisierung:

Eine gewisse Kategorisierung von Straßenabschnitten, um Systemgrenzen abzustecken, wird notwendig werden. Denkbar ist auch eine lediglich, Freigabe zur automatisierten Nutzung von speziellen Fahrstreifen.

Frage 17 – Fahrbahnbelastung durch Platooning:

Es werden nur gewisse Bereiche eine Freigabe für Platooning erhalten, gleichzeitig wird abzuwägen sein, wie sich die Kosten der Einsparung von LKW-Fahrern zu infrastrukturellen Maßnahmen verhalten.

Frage 18 – Fahrzeugsensorik im Tunnelbereich:

Anpassungen werden notwendig werden. In Tunnelbereichen treten oftmals auch ungewollte Reflexionen auf, die gelöst werden müssen. Werden Tunnel infrastrukturseitig überwacht, können Fahrzeuge gesteuert durch Tunnel geschleust werden.

Frage 19 – Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Baustellenbereich:

Wird grundsätzlich möglich sein, jedoch könnten auch wieder infrastrukturseitig spezielle Einrichtungen benötigt werden. Eine Standardisierung der Baustellenbereiche wird absolut notwendig werden.

Frage 20 – Absicherung von Baustellen:

Nein – derzeit nicht.

Frage 21 – Notwendigkeit der digitalen Verzeichnung von Baustellen:

Ja – jedoch sollte der Fahrer nicht mit allen Informationen konfrontiert werden, um diesen nicht mit einer Fülle von Informationen zu überlasten. Dieser übernimmt lediglich eine Kontrollfunktion der wichtigsten Funktionen und Informationen.

Frage 22 – Vorgaben zu Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen:

Nein – strengere Vorgaben werden notwendig werden. Sichere Funktionen benötigen sichere Eingangsdaten.

Frage 23 – Geplanter Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen:

Bei definierten Verkehrssituationen könnten vollautomatisierte Fahrzeuge sofort eingesetzt werden. Um derartige Fahrzeuge jedoch im Mischverkehr zu nutzen, werden noch mehrere Jahre vergehen und eine Anpassung der Infrastruktur stattfinden müssen. In absehbarer Zeit ist demnach ein flächendeckender Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen nicht denkbar. Level 3 Fahrzeuge könnten schon in naher Zukunft zum Einsatz kommen.

Platooning wird auf gewissen Streckenabschnitten in naher Zukunft zum Einsatz kommen.

Weitere Anmerkungen:

Als Rückfallebene bei Ausfall des primären Rechensystems eines automatisierten Fahrzeugs müssen unter Umständen mehrere Großrechner in einem Fahrzeug verbaut werden. Dies wird sich jedoch ungünstig auf den Preis, die Wartung und die zu erwartende Einsatzdauer AF auswirken. Während Fahrzeuge oftmals 15 Jahre oder länger im Einsatz sind, weisen IT-Produkte meist Lebenszyklen von deutlich weniger als 10 Jahre auf. Um dieser Problematik entgegen zu wirken, sollte angestrebt werden, Rechenleistung infrastrukturseitig auszulagern. Beispielsweise werden auch in der Luftfahrt Flugzeuge direkt vom Tower aus, gesteuert. Im Flugzeug selbst erfolgt nur ein geringer Teil der Steuerung. Ähnlich dazu könnten auch AF relevante Informationen direkt über infrastrukturseitige Einrichtungen erhalten und so die benötigte Rechenleistung im Fahrzeug reduziert werden. Daraus resultierend würde sich nicht nur eine Reduktion der Anschaffungskosten von AF ergeben, zusätzlich würde sich auch der Wartungsaufwand auf vergleichsweise wenige Infrastruktureinheiten beschränken.

5.4.3 Interview – TU-Darmstadt

Interviewpartner: Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner

Position: Leiter des Fachgebiets Fahrzeugtechnik im Fachbereich Maschinenbau der TU-Darmstadt

Datum: 14.02.2018

Dauer des Interviews: 54 Minuten

Anmerkung:

Es ist zu unterscheiden zwischen Omni-Autos, Fahrzeuge, die in der gesamten Infrastruktur eingesetzt werden können und fahrerlosen Fahrzeugen, welche nur in bestimmten begrenzten Bereichen, beispielsweise einer gewissen Stadt, zum Einsatz kommen. Erst genannte werden immer einen Fahrer benötigen, der bei Erreichen der Systemgrenzen das Steuer übernehmen kann. Die zweite Fahrzeuggruppe wird von einer Art Leitwarte (Verkehrsleitzentrale) aus überwacht und zudem im Fall eines Systemausfalls oder anderen Gegebenheiten, die eine automatisierte Steuerung nicht zulassen, gesteuert. Je nach Einsatzzweck unterscheiden sich die Anforderungen an die Standardisierung der Infrastruktur. Um fahrerloses Fahren zu ermöglichen, kann ein flächenmäßig kleines Gebiet relativ einfach mit benötigter infrastrukturellen Ausrüstung ausgestattet werden. Um fahrerloses Manövrieren auf vorgegebenen Linien zu ermöglichen, könnten beispielsweise bestimmte Buslinien mit entsprechender Infrastruktur ausgestattet werden. Ein vollkommener flächendeckender Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen ist zum jetzigen Zeitpunkt und aus rein wirtschaftlicher Sicht nur schwer vorstellbar.

Solange ein Fahrer vorhanden ist, können Streckenfreigaben temporär und dynamisch festgelegt werden. Bei Erreichen einer Freigabegrenze wird das Steuer, mit ausreichender Übergabezeit, an den Fahrer übergeben. Streckenfreigaben können beispielsweise, je nach Wetterlage oder aufgrund einer Tagesbaustelle, erteilt oder entzogen werden.

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

Ja – Straßenbaurechtliche Richtlinien werden stark in die Entwicklung von AF einbezogen. Gleichzeitig wird auch versucht, darauf Einfluss zu nehmen, dass Richtlinien, welche den Möglichkeiten der Fahrzeugentwickler entgegenstehen, abgeändert, angepasst oder modernisiert werden.

Deutschland hat sich frühzeitig dafür eingesetzt, ein neues Straßenverkehrsgesetz aufzustellen. Dieses wurde unter Führung des Verkehrsministeriums, des Justizministeriums und des Wirtschaftsministeriums erarbeitet.

Frage 3 – Möglichkeit des vollautomatisierten Fahrens mit bestehender Straßeninfrastruktur:

Eine Weiterentwicklung der Infrastruktur ist anzustreben, jedoch ist mit bestehender Infrastruktur und zusätzlichem Cloud-Service hochautomatisiertes Fahren bis zur Automatisierungsstufe 4 teilweise möglich. Bei Erreichen von Systemgrenzen muss der Fahrer das Steuer übernehmen können.

Für Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 5 muss die bestehende Infrastruktur ausgebaut werden. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass das gesamte Wegenetz dementsprechend ausgerüstet wird. Solange alternative Routen vorhanden sind, können gewisse Abschnitte mit bestehender Qualität bestehen bleiben. In ländlichen Gebieten sind alternative Routen aufgrund der geringen Dichte des Wegenetzes oftmals nicht vorhanden, dementsprechend müssten bestehende Straßenzüge angepasst werden.

Frage 4 – Einsatz spezieller infrastruktureller Einrichtungen:

RSU Einheiten sollten weitestgehend vermieden werden. Interessanter wäre eine Kommunikation und Vernetzung der Fahrzeuge mit der Infrastruktur des Mobilfunknetzes oder der W-LAN Systeme. Eine absolut lückenlose Abdeckung durch derartige Netze wird jedoch nur mit hohem finanziellen Aufwand geschaffen werden können, ist jedoch unter Umständen nicht notwendig.

Eine Auslagerung von Rechenleistung auf die Infrastruktur kann nur partitionell geschehen. Alle Vorgänge, die Echtzeitreaktionen verlangen (10tel Sekunden Bereich), müssen im Fahrzeug berechnet werden.

Frage 5 – straßenbauliche Leiteinrichtung als Grundvoraussetzung:

Für Omni-Fahrzeuge müssen derartige elementare Einrichtungen tatsächlich verlässlich und gut erkennbar vorhanden sein. Speziell im hochrangigen Netz und im ländlichen Gebiet werden sich AF zukünftig mittels Leitlinien orientieren müssen. Innerstädtisch kann die Eigenposition zusätzlich anhand vieler verfügbarer, klar erkennbarer Fixpunkte/Landmarken bestimmt werden.

Frage 6 – Mindestanforderungen an die Ausführung von Leiteinrichtungen:

Ja – Mindestanforderungen werden speziell für Omni-Autos relevant. Fahrerlose Fahrzeuge werden sich überwiegend anhand digitaler Karten und Landmarken orientieren.

Frage 7 – maximaler Installationsraum:

Grundsätzlich ist der Gedanke richtig, jedoch ist es nicht sicher, ob es einen einheitlichen Erfassungskegel der Sensorik gibt.

Probleme könnten eher bei der korrekten Erfassung der Lichtsignale entstehen. Bei ungünstiger Sonneneinstrahlung ist eine Unterscheidung der Lichtsignale hinsichtlich der Bildverarbeitung oftmals nur schwer möglich. Aktive Kommunikation zwischen LSA und AF könnte Abhilfe schaffen.

Frage 8 – Möglichkeiten der Erfassung von Bodenmarkierungen:

Bei tatsächlicher Sichtbarkeit sollte die Erfassungsmöglichkeit mittels on-board Sensorik möglich sein. Zusätzlich ist zu erwarten, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen in digitalen Karten hinterlegt sind.

Frage 9 – Relevanz von HD-Maps:

Für den Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen müssen digitale Karten mit sehr hoher Auflösung bereitgestellt werden können. Für Omni-Fahrzeuge wird eine geringere Auflösung des Kartenmaterials ausreichend sein.

Frage 10 – Verzicht auf Leiteinrichtungen durch HD-Maps:

Verzicht auf Leiteinrichtungen wäre bei reiner Nutzung der Infrastruktur durch AF denkbar. Solange jedoch Mischverkehr herrscht, kann nicht auf Leiteinrichtungen verzichtet werden. Auf Widerspruchsfreiheit zwischen der digitale und der manuellen Infrastruktur ist zu achten.

Frage 11 – infrastruktureitige Aufgaben bei Einsatz von HD-Maps:

Im Allgemeinen sollten Landmarken von den Fahrzeugen selbst aufgenommen und dynamisch in digitalen Karten verzeichnet werden können. Einige von Infrastrukturbetreibern absolut vermessene Landmarken könnten hilfreich sein.

Frage 12 – V2I als Voraussetzung für AF:

Bei Omni-Autos wird die Kommunikation über ein Backend zu Herstellern fungieren (über W-LAN oder das Mobilfunknetz). V2I-Kommunikation über RSU-Einheiten wird aufgrund der Wartungsintensität und der dezentralen Lage der Einheiten eher weniger zum Einsatz kommen.

Für fahrerloses Fahren wird es wichtig werden, eine Überwachungsverbindung zu Leitwarten herstellen zu können. Dies wäre dann jedoch eher über zentrale Infrastruktur (5G oder W-LAN) zu bewerkstelligen. Es muss jedoch auch in den Fahrzeugen ausreichend lokale Intelligenz verfügbar sein, um Verbindungsabbrüche zu Leitwarten von einigen Sekunden überwinden zu können.

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Es ist zu erwarten, dass zumindest zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen ein StVO-Konformes Verhalten eingehalten wird. Bei höherer Marktdurchdringung von AF und der Möglichkeit der aktiven Kommunikation zwischen Fahrzeugen kann die Sichtweite unter Umständen um die des vorausfahrenden Fahrzeugs erweitert werden.

Frage 14 – Notwendigkeit der Kennzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen:

Die Verzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen sollte relativ einfach bewerkstelligt werden können. Aufgrund verhältnismäßig geringem Verkehrsaufkommen auf ländlichen Straßenzügen könnte eher die Kenntnis des aktuellen Zustands problematisch werden.

Frage 15 – Haltebuchten / Pannestreifen auf Autobahnen:

Haltebuchten oder Pannenbuchten müssen vorhanden sein. Jedoch kann zu diesem Zeitpunkt noch keine Aussage hinsichtlich der Dimensionierung von Haltebuchten getätigt werden. Fraglich ist, wie viele Fahrer tatsächlich bei der Übergabe nicht im Stande sind, das Steuer zu übernehmen.

Frage 16 – Flächendeckende Kategorisierung:

Speziell für fahrerlose Fahrzeuge wird es essentiell sein, zu wissen, mit welcher Fähigkeit Straßenabschnitte befahrbar sind. Um bereits im Voraus eine Streckenfriegabe erteilen zu können,

ohne die jeweilige Strecke direkt zuvor zu testen, ist eine Kategorisierung von Streckenabschnitten durchaus sinnvoll. Gleichzeitig sollten auch Fähigkeiten von AF kategorisiert werden, welche mit der Streckenabschnittskategorisierung vor dem Befahren abgeglichen werden können.

Frage 17 – Fahrbahnbelastung durch Platooning:

Es ist nicht zu erwarten, dass Platooning in naher Zukunft möglich sein wird. Aufgrund des geringen geplanten Abstands zwischen den Fahrzeugen wird ein Durchscheren von anderen Verkehrsteilnehmern verhindert.

Frage 18 – Fahrzeugsensorik im Tunnelbereich:

Derartige Problematik sollte herstellerseitig in den Griff zu bringen sein. Wenn nicht, dürfen Abschnitte, die derartige Problematik aufweisen, keine Freigabe für automatisierte Nutzung erhalten.

Frage 19 – Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Baustellenbereich:

Ja – jedoch müsste ein Abgleich zwischen den Möglichkeiten von AF und der Baustellengestaltung stattfinden. Freigabekriterien müssten festgelegt werden. Denkbar ist auch, dass Baustellen nicht direkt nach der Einrichtung automatisiert befahren werden dürfen, sondern erst nach einer gewissen Stabilisierungsphase freigegeben werden.

Frage 20 – Absicherung von Baustellen:

Es ist zu erwarten, dass die derzeitige Absicherung eher nicht ausreichend ist. Das direkte Befahren des rechten Fahrstreifens in Baustellenbereichen wird voraussichtlich keine Problematik darstellen.

Frage 21 – Notwendigkeit der digitalen Verzeichnung von Baustellen:

Um bei Omni-Fahrzeugen eine frühzeitige Übergabe an den Fahrer zu ermöglichen oder eine Baustelle im Vorfeld zu umfahren, sollten Baustellen digital verzeichnet werden. Sowohl kurzfristige als auch längerfristig geplante Bauarbeiten sind zu verzeichnen, um diese den Fahrzeugen mittels Backend-Kommunikation mitzuteilen.

Frage 22 – Vorgaben zu Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen:

Bodenmarkierungen sind derzeit oftmals nicht in ausreichender Qualität verfügbar.

Frage 23 – Geplanter Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen:

Erste Fahrzeuge der Stufe 3 könnten etwa 2022 zum Einsatz kommen. Fahrerlose Systeme, die nur in begrenzten Gebieten eingesetzt werden, könnten sich bereits bis 2025 etablieren. Die Einführungsstrategien der beiden Systeme unterscheiden sich grundlegend.

Omni-Fahrzeuge könnten unter Umständen aus wirtschaftlichen Gründen nie eine vollkommene Flächenabdeckung erreichen. Es wird sich nicht lohnen, für sehr geringes Verkehrsaufkommen einen derartigen Absicherungs- und Ausbauaufwand zu betreiben. Ein fahrerloses Omni-Auto ist aus diesem Grund in den nächsten Jahrzehnten nicht zu erwarten.

5.4.4 Interview – Arndt-IDC

Interviewpartnerin: Dipl.-Ing. Sandra Ulrich

Position: Betriebsleiterin

Tätigkeit: Infrastructure und Mobility Consulting für Entwicklungs-, Forschungs- und Konzessionsprojekte

Datum: 15.02.2018

Dauer des Interviews: 34 Minuten

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

Ja – Es ist zu erwarten, dass derartige Richtlinien in der Entwicklung Beachtung finden.

Frage 3 – Möglichkeit des vollautomatisierten Fahrens mit bestehender Straßeninfrastruktur:

Gerade in Österreich ist das hochrangige Straßennetz bereits sehr gut ausgebaut. Zum größten Teil wird deshalb bei bestehender Infrastruktur österreichischer Autobahnen eine automatisierte Nutzung von Fahrzeugen möglich sein. In städtischen und ländlichen Gebieten sind oftmals sehr unterschiedliche Ausbaustandards vorzufinden (Verweis auf die Abbildungen im Anhang des Interviewleitfadens). Speziell in diesen Gebieten ist zu erwarten, dass eine Harmonisierung und Weiterentwicklung der Infrastruktur notwendig sein wird.

Frage 4 – Einsatz spezieller infrastruktureller Einrichtungen:

Um Entwicklungen unabhängig von Straßeninfrastruktur voranzutreiben, ist zu erwarten, dass Fahrzeughersteller, deren Kommunikationssysteme basierend auf C2B-Kommunikation aufbauen. Spezielle infrastrukturelle Einrichtungen werden aus diesem Grund eher nicht notwendig werden, jedoch Vorteile bieten können.

Frage 5 – straßenbauliche Leiteinrichtung als Grundvoraussetzung:

Da speziell VZ relativ einfach in digitalen Karten hinterlegt werden können, ist zu erwarten, dass die Anforderungen an die Ausführung nicht unbedingt steigen werden. Solange jedoch Mischverkehr herrscht, kann nicht gänzlich darauf verzichtet werden.

Bodenmarkierungen werden voraussichtlich zur Orientierung eines Fahrzeugs innerhalb eines Fahrstreifens eine Grundvoraussetzung darstellen.

Frage 6 – Mindestanforderungen an die Ausführung von Leiteinrichtungen:

Um Strecken für die automatisierte Nutzung von Fahrzeugen freigeben zu können, wird es notwendig werden, Mindestanforderungen an die Ausführung der infrastrukturellen Einrichtung zu definieren. Welche Mindestanforderungen definiert werden, sollte unter Absprache zwischen Infrastrukturbetreibern und Herstellern automatisierter Fahrzeuge festgelegt werden.

Frage 7 – maximaler Installationsraum:

Ein maximaler Installationsraum für VLSA wird eher geringe Relevanz darstellen. Wahrscheinlicher ist, dass eine gewisse Kommunikation zwischen VLSA und AF eingerichtet wird.

Frage 8 – Möglichkeiten der Erfassung von Bodenmarkierungen:

Da gerade statische Geschwindigkeitsbeschränkung relativ einfach in digitalen Karten hinterlegt werden können, sollte die Erfassungsmöglichkeit eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Frage 9 – Relevanz von HD-Maps:

HD-Maps werden notwendig sein.

Frage 10 – Verzicht auf Leiteinrichtungen durch HD-Maps:

Solange Mischverkehr herrscht nicht.

Frage 11 – infrastruktureitige Aufgaben bei Einsatz von HD-Maps:

Die absolute Vermessung von Fixpunkten könnte bei der Erstellung von hochpräzisen, digitalen Karten in den Aufgabenbereich der Infrastrukturbetreiber fallen. Jedoch ist zu erwarten, dass HD-Maps dynamisch durch AF selbst aktualisiert werden.

Frage 12 – V2I als Voraussetzung für AF:

V2I Kommunikation wird für den Betrieb von AF voraussichtlich keine Grundvoraussetzung darstellen, jedoch Vorteile bieten können.

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Zumindest anfänglich werden AF derartige Streckenabschnitte mit geringeren Geschwindigkeiten befahren. Nach einer Übergangsphase und bei höherer Durchdringung von AF kann die Sichtweite mittels V2V-kommunikation erhöht und demnach höhere Geschwindigkeiten ermöglicht werden.

Frage 14 – Notwendigkeit der Kennzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen:

Gerade in ländlichen Gebieten wird eine durchgängige Verzeichnung derartiger Abschnitte aus finanziellen Gründen nur schwer durchsetzbar sein. Derartige Abschnitte werden eher direkt von AF über die On-board Sensorik erfasst und in HD-Maps hinterlegt.

Frage 15 – Haltebuchten / Pannestreifen auf Autobahnen:

In Österreich ist das Autobahnnetz bereits sehr gut ausgebaut. Pannestreifen oder Pannebuchten sind bereits weitestgehend vorhanden. Speziell in Tunnelbereichen sollte jedoch überprüft werden, ob der Abstand der vorhandenen Pannebuchten den Möglichkeiten automatisierter Fahrzeuge entspricht.

Frage 16 – Flächendeckende Kategorisierung:

Um Freigaben zur automatisierten Nutzung für Strecken oder Streckenabschnitte erteilen zu können, sollte eine geeignete Art der Kategorisierung gefunden werden.

Frage 19 – Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Baustellenbereich:

Ja – der Einsatz von AF ist grundsätzlich auch im Baustellenbereich denkbar. Es wird jedoch notwendig werden, eine Standardisierung von Infrastrukturbaustellen zu schaffen. Problematisch könnte die Kontrolle der tatsächlichen Umsetzung von Ausführungsvorgaben werden.

Frage 20 – Absicherung von Baustellen:

Derzeit eher nicht.

Frage 21 – Notwendigkeit der digitalen Verzeichnung von Baustellen:

Ja

Frage 22 – Vorgaben zu Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen:

Im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz werden die derzeitigen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen bereits weitestgehend ausreichend sein. In Städten und speziell in ländlichen Gebieten werden strengere Vorgaben notwendig werden – problematisch wird die Finanzierung in diesen Gebieten.

Solange alternative Routen vorhanden sind, wird es nicht notwendig sein, das gesamte Straßennetz für die automatisierte Nutzung von Fahrzeugen auszubauen. Das Straßennetz ist jedoch speziell in ländlichen Gebieten relativ gering verflochten und Alternativrouten sind oftmals nicht vorhanden. Um von den Vorteilen hochautomatisierter Fahrzeuge auch in derartigen Gebieten profitieren zu können, wird ein umfassender Ausbau notwendig werden.

Frage 23 – Geplanter Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen:

Eventuell werden Fahrzeuge der Stufe 4 in etwa zwei Jahren im hochrangigen Netz zu Einsatz kommen.

Muss damit gerechnet werden, dass Infrastrukturbetreiber zukünftig höhere Verantwortung tragen oder sogar für den Zustand der Infrastruktur haften?

Es ist davon auszugehen, dass, um automatisierte Nutzung von Fahrzeugen zu ermöglichen, seitens der Infrastruktur ein gewisser Standard bereitgestellt werden muss. Die Verantwortung diese Infrastruktur zu erstellen liegt beim Infrastrukturbetreiber, der demnach auch für den Zustand haften könnte.

Weitere Anmerkungen:

Es wird dem Interesse der öffentlichen Hand entsprechen, dass, wie auch bisher, der Betrieb der Straßeninfrastruktur eine staatliche Aufgabe bleibt. Um einer Privatisierung entgegenzuwirken, wird man deshalb gewisse Anpassungen tätigen und Kompromisse finden müssen.

Neben dem Betrieb der manuellen Infrastruktur wird auch die Bereitstellung digitaler Infrastruktur (HD-Maps) eine sehr wichtige Rolle spielen und ein großes Geschäftsfeld eröffnen.

5.4.5 Interview – Audi AG

Interviewpartner: Dipl.-Ing. Lutz Morich

Position: Leiter – Virtuelles Fahrzeugmanagement

Datum: 23.02.2018

Dauer des Interviews: 49 Minuten

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 3 – Möglichkeit des vollautomatisierten Fahrens mit bestehender Straßeninfrastruktur:

Da zur sicheren Nutzung von AF redundante Systeme (digitale und manuelle Infrastruktur) notwendig sein werden, sollte eine Weiterentwicklung der bestehenden Infrastruktur angestrebt werden. Insbesondere wird für den Mischverkehr die manuelle Infrastruktur benötigt.

Frage 4 – Einsatz spezieller infrastruktureller Einrichtungen:

Es ist zu erwarten, dass spezielle Einrichtungen benötigt werden. Zum einen wird ein entsprechendes Mobilfunknetz notwendig, zum anderen aber auch direkt kommunizierende Anteile infrastruktureller Einrichtungen. Beispielsweise könnten kommunizierende VLSA eingesetzt werden, um Verkehrsflussinformationen direkt an AF zu übertragen. Insbesondere wenn nicht nur die Notwendigkeit der Verfügbarkeit für AF, sondern auch das Potential der Verkehrsflussoptimierung durch kommunizierende Systeme betrachtet wird, stellen derartige Systeme eine interessante Handlungsalternative dar.

Frage 5 – straßenbauliche Leiteinrichtung als Grundvoraussetzung:

Bodenmarkierungen gelten als absolut wesentlich für die Orientierung eines automatisierten Fahrzeugs innerhalb einer Fahrspur. Um eine entsprechende Redundanz zwischen digitalen Karten und der tatsächlichen Infrastruktur herstellen zu können, die zumindest als Rückfallebene bei Ausfall einzelner Systeme vorhanden sein muss, werden auch VZ zukünftig benötigt werden.

Ob in fernerer Zukunft auf VZ verzichtet werden kann, ist zurzeit nur schwer abschätzbar. VZ oder auch andere straßenbauliche Leiteinrichtungen dienen ja zusätzlich auch als Orientierungshilfe für nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer (Radfahrer, Fußgänger, etc.).

Frage 6 – Mindestanforderungen an die Ausführung von Leiteinrichtungen:

Ja – es ist zu erwarten, dass gewisse Mindestanforderungen, speziell für Bodenmarkierungen, definiert werden müssen. Gleichzeitig müssen auch Lösungen zur Orientierung bei geschlossener Schneedecke gefunden werden.

Frage 7 – maximaler Installationsraum:

Geht man davon aus, dass kommunizierende VLSA eingesetzt werden, spielt der Installationsraum keine Rolle.

Frage 8 – Möglichkeiten der Erfassung von Bodenmarkierungen:

Die Erkennung geschwindigkeitsrelevanter Informationen läuft derzeit über sensorische Erfassung von VZ. Aus technischer Sicht sollte die Erfassung über Bodenmarkierungen jedoch möglich sein. Solange jedoch geschwindigkeitsrelevante Informationen redundant in HD-Maps hinterlegt sind, sollten sich derartige Situation auch mit bestehender sensorischer Erfassung als unproblematisch erweisen.

Frage 9 – Relevanz von HD-Maps:

Wird als absolut notwendig angesehen.

Frage 10 – Verzicht auf Leiteinrichtungen durch HD-Maps:

Nein – es wird sowohl manuelle als auch digitale Infrastruktur benötigt werden.

Frage 11 – infrastruktureitige Aufgaben bei Einsatz von HD-Maps:

Entsprechende absolut vermessene Referenzpunkte werden benötigt. Die Vermessung von Fixpunkten könnte jedoch auch direkt von Anbietern digitaler Infrastruktur erfolgen.

Frage 12 – V2I als Voraussetzung für AF:

Ja

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Die sensorische Erfassung wird wahrscheinlich die Möglichkeiten der menschlichen Wahrnehmung übersteigen. Beispielsweise ist es möglich, mit Radarsensorik, durch eine gewisse Beugung des Signals, auch nicht direkt einsehbare Bereiche zu erfassen. Insofern sollte auch diese Problematik technisch lösbar sein.

Ab einer höheren Durchdringungsrate von AF wird es zudem möglich sein, durch C2C-Kommunikation, das Sichtfeld um das des vorausfahrenden Fahrzeugs zu erweitern.

Frage 14 – Notwendigkeit der Kennzeichnung von richtlinienabweichenden Straßenzügen:

Derartige Streckenabschnitte müssen definitiv, rein aus der Sicht des Kunden, digital verzeichnet werden. Gibt es Abschnitte, die gewisse Standards nicht einhalten können, muss für eine vollautomatisierte Nutzung eine alternative Route gewählt werden. Ist eine Alternativroute nicht verfügbar, sollte es möglich sein, den Fahrer bereits im Vorhinein mitteilen zu können, dass auf betroffenen Abschnitten manuell gesteuert werden muss. Wenn es rechtlich möglich ist, dass auch Personen ohne Führerschein derartige Fahrzeuge nutzen, dann müssen derartige Bereiche zwingend verzeichnet sein.

Frage 15 – Haltebuchten / Pannestreifen auf Autobahnen:

Eigentlich gilt derselbe Grundsatz wie zum heutigen Zeitpunkt auch – wenn ein Fahrzeug einen Defekt hat, dann muss ein sicheres Abstellen möglich sein. Ein Motorschaden kann auch bei manuell gesteuerten Fahrzeugen jederzeit auftreten. Die Aufgabe eines automatisierten Fahrzeugs ist es, im Falle eines Systemausfalls eine Pannebucht oder einen sicheren Stellplatz am Straßenrand

aufzusuchen. Gleichzeitig wird es einem AF durch die C2C-Kommunikation möglich sein, andere Verkehrsteilnehmer entsprechend zu warnen.

Frage 16 – Flächendeckende Kategorisierung:

Zum einen wird eine hochgenaue Kartografierung notwendig werden und auch ein interessantes Geschäftsmodell bieten. Gleichzeitig werden digitale Karten laufend aktualisiert – infrastrukturelle Auffälligkeiten, die von AF sensorisch erfasst werden, werden automatisch in digitalen Karten verzeichnet, um so andere Nutzer frühzeitig zu informieren. Somit kann die bestmögliche Genauigkeit und Aktualität von derartigen Karten gewährleistet werden.

Frage 17 – Fahrbahnbelastung durch Platooning:

Im Moment sind Transportzeiten von LKWs durch maximal zulässige Fahrtenzeiten begrenzt. Aufgrund des wirtschaftlichen Vorteils wird Platooning schon bald realisiert werden. Die Dichte der LKWs wird durch die Möglichkeit von Platooning steigen und somit grundsätzlich höhere Belastungen auftreten. Aufgrund der verringerten Abstände zwischen den einzelnen LKWs muss zusätzlich mit einer Steigerung der statischen und dynamischen Lasten bei Brücken gerechnet werden.

Frage 18 – Fahrzeugsensorik im Tunnelbereich:

Problematiken der Sensorik mit Lichtwechseln sollten technisch lösbar sein. Die Information, dass ein Lichtwechsel bei Tunnelausfahrten zu erwarten ist, wird zudem aufgrund redundanter Information von digitalen Karten vorhanden sein. Auch bei Ausfall der on-board Sensorik sollte es möglich sein, kurze Abschnitte rein mit Informationen des Kartenmaterials sicher zu befahren.

Frage 19 – Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Baustellenbereich:

Genauere Vorgaben hinsichtlich der Ausführung, Absicherung und Verzeichnung von Baustellen sind notwendig. Wann Baustellenbereiche automatisiert befahren werden können, ist derzeit noch nicht absehbar.

Frage 20 – Absicherung von Baustellen:

Die derzeitige Baustellenabsicherung ist nicht ausreichend.

Frage 21 – Notwendigkeit der digitalen Verzeichnung von Baustellen:

Ja – digitale Verzeichnung wird notwendig werden.

Frage 22 – Vorgaben zu Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen:

Es ist zu erwarten, dass auch hinsichtlich der Wartung und Instandhaltung von infrastrukturellen Einrichtungen strengere Vorgaben notwendig werden. Durch die sensorische Aufnahme der Infrastruktur durch AF werden Straßenerhalter zukünftig viele detaillierte Informationen über den aktuellen Zustand des Streckennetzes erhalten. Somit können auch Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen gezielter geplant und durchgeführt werden. Kontrollfahrten direkt durch den Straßenerhalter können somit weitgehend entfallen.

Frage 23 – Geplanter Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen:

Die Nutzung von hochautomatisierten LKWs auf Autobahnen wird voraussichtlich in den nächsten sieben Jahren möglich sein. Auf Autobahnen wird auch die Nutzung von PKWs in diesem Zeitraum möglich sein. In begrenzten Bereichen könnte auch der Einsatz in Städten relativ früh möglich sein.

Muss damit gerechnet werden, dass Infrastrukturbetreiber zukünftig höhere Verantwortung tragen oder sogar für den Zustand der Infrastruktur haften?

Ja, da zukünftig mehr Information seitens der Infrastruktur bereitgestellt werden muss, wird sich auch der Verantwortungsbereich erweitern.

5.4.6 Interview – Volkswagen AG

Interviewpartner: Dr. Bernd Rech

Position: Abteilungsleiter Ortung & Karte

Tätigkeit: Umfeldwahrnehmung - Bestimmung der Ego-Pose von AF

Datum: 04.04.2018

Dauer des Interviews: 65 Minuten

Anmerkung:

Herr Rech vertritt stellvertretend die Meinung der Volkswagen AG.

Frage 1 – Kenntnis straßenbaurechtlicher Normen:

Ja

Frage 2 – Nutzung straßenbaurechtlicher Normen:

Ja – Normen und Richtlinien finden in der Entwicklung Beachtung.

Frage 13 – Sichtweitenproblematik auf Autobahnen:

Bei AF muss ein StVO konformes Verhalten sichergestellt werden können. Es darf keinesfalls ein Unfall riskiert oder auch provoziert werden, der bei rechtskonformen Verhalten nicht aufgetreten wäre. Demnach würden AF die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit in solchen Bereichen oder Straßenabschnitten den Gegebenheiten anpassen und reduzieren.

Anfänglich wird auch mittels C2C-Kommunikation keine Informationsweitergabe über sensorisch erfasste Objekte stattfinden. Es werden nur Informationen über den aktuellen eigenen Status (Position, Geschwindigkeit, Richtung, etc.) versendet.

Infrastrukturseitige Überwachung und sensorische Erfassung derartiger Abschnitte ist aus Gründen der Haftung (Infrastruktur muss Informationskorrektheit garantieren und dafür Haftung tragen) und auch aus wirtschaftlicher Sicht zur Zeit nicht vorstellbar. Infrastrukturseitige Sensorik wird sich nur lohnen und einen echten Mehrwert darstellen, wenn dadurch ein tatsächlicher Sicherheitsgewinn resultiert.

Weitere Anmerkungen:

Es werden auch bei gleichbleibenden Automatisierungslevel unterschiedliche Generationen von Fahrzeugen erscheinen, welche in ihren Fähigkeiten schrittweise verbessert werden. Fahrzeuge der ersten Generationen werden relativ schnell an ihre Grenzen kommen und dementsprechend mehr auf die Infrastruktur angewiesen sein. Die Evolution der Technologien und Fahrzeuge lässt erwarten, dass die ersten Fahrzeuge relativ hohe Ansprüche an die infrastrukturelle Gestaltung stellen werden. Je weiter die Entwicklung voranschreitet, desto geringer sollten die Ansprüche an die Infrastruktur ausfallen. Es werden erste Fahrzeuge nur in definierten, dementsprechend ausgerüsteten Gebieten zum Einsatz kommen. Die Erweiterung der Systemgrenzen wird schrittweise stattfinden.

Grundsätzlich müssen AF verschiedene Aufgaben lösen können. Als erste Aufgabe kann die Eigenpositionsbestimmung angesehen werden. Nicht nur die exakte Ortung des Fahrzeugs muss sichergestellt werden, auch die genaue Ausrichtung im Raum – Pose – muss bestimmt werden. Rein auf Satellitentechnik basierende Positionsbestimmung ist hinsichtlich der Genauigkeit für den Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge nicht ausreichend.

Im innerstädtischen Bereich muss die eigene Verortung deutlich exakter funktionieren wie beispielsweise auf Autobahnen. Aufgrund der sehr strukturierten Infrastruktur des hochrangigen Straßennetzes kann die Positionsbestimmung auch teilweise mittels on-board Sensorik stattfinden.

Durch Nutzung von exakt vermessenen Landmarken, welche in hochgenauen Karten verzeichnet werden, kann auch innerstädtisch exakte Eigenpositionsbestimmung stattfinden. Landmarken sollten mittels unterschiedlicher Fahrzeugsensorik und anschließender Bildverarbeitung eindeutig identifizierbar und zuordenbar sein. Sehr gut eignen sich dazu stangenförmige Gebilde wie beispielsweise Pfosten von Schildern, Laternen oder Ampelanlagen. Es können jedoch auch Ecken und Kanten von Gebäuden oder anderen markanten Bauwerken als Landmarken verzeichnet werden. Es wäre wünschenswert, wenn seitens der Infrastruktur einige, in ihrer Position absolute vermessenen Referenzpunkte bereitgestellt werden. Somit könnte eine Kalibrierung der absoluten Eigenposition von AF stattfinden.

Weiters kann die Eigenverortung auch auf Basis von exakt vermessenen Straßenmarkierungen stattfinden. Somit können auch Straßenmarkierungen, speziell Markierungen quer zur Fahrtrichtung, als Landmarken fungieren, allerdings nicht ausschließlich, da die einwandfreie Sichtbarkeit aufgrund von möglicher Verschmutzung oder beispielsweise bei geschlossener Schneedecke nicht mehr gegeben ist. Somit muss in der Zukunft des fahrerlosen Fahrens ein Einsatz auch ohne durchgängige Bodenmarkierungen möglich sein. Eine hohe Qualität und Sichtbarkeit von Bodenmarkierungen ist dennoch anzustreben.

Hochgenaue digitale Karten gelten als absolute Grundvoraussetzung für hochautomatisiertes Fahren. Mittels Satellitenverortung wird die ungefähre Position eines Fahrzeugs bestimmt. Zusätzlich wird mittels Odometrie (Reifenumdrehungen, Lenkeinschlag, etc.) der Weg, den ein Fahrzeug zurücklegt, festgestellt. Zusätzlich kann mittels Landmarken die Eigenposition mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Als nächster Punkt kann die korrekte Erfassung von Kreuzungsbereichen angesehen werden. Es muss garantiert werden können, dass ein AF mit nahezu 100 prozentiger Wahrscheinlichkeit eine Kreuzung inklusive aller Vorrangregeln korrekt erfassen kann. Lichtsignale müssen unter allen Umständen fehlerfrei erkannt und zugeordnet werden können. Bei tiefstehender Sonne aufgrund von Blendung oder auch beispielsweise nachts, bei nasser Fahrbahn aufgrund zahlreicher Reflexionen von Rück- und Bremslichtern, Scheinwerfern oder Leuchtreklamen kann die fehlerfreie Erfassung mittels on-board Sensorik und anschließender Bildverarbeitung zurzeit nicht mit ausreichender Wahrscheinlichkeit sichergestellt werden. Aus diesem Grund wird es notwendig werden, dass speziell VLSA mit entsprechenden Sendern ausgestattet werden. Informationen über Signalphasen von VLSA könnten so direkt, beispielweise mittels geeignetem W-LAN Standard, an AF gesendet werden. Gleichzeitig würden somit eventuelle bauliche Problematik – Frage 7: Installationsraum von VLSA – entfallen. Derartige Systeme sind bereits jetzt ausgereift und erprobt. Zusätzlich könnten VLSA, neben für den Verkehrsfluss wesentlichen Informationen, auch Standortinformationen senden und somit gleichzeitig als Landmarken fungieren. Selbige Systematik sollte auch für Signalanlagen im hochrangigen Straßennetz angedacht werden. Zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen wird das Einsatzgebiet auf relativ wenige, entsprechend ausgestattete Streckenabschnitte, beschränkt sein. Eine Ausrüstung der VLSA könnte deshalb schrittweise stattfinden und sollte unbedingt unter Abstimmung mit Herstellern von AF erfolgen. Auch nicht automatisiert fahrende Fahrzeuge werden

zukünftig mit entsprechender Technik ausgestattet sein, um derartige Informationen empfangen und verarbeiten zu können – beispielsweise werden ab 2019 alle VW Golf serienmäßig mit entsprechender Technik ausgerüstet. Somit würden kommunikationsfähige VLSA einen Sicherheitsgewinn für die gesamte Fahrzeugflotte darstellen. Infrastrukturseitig muss natürlich die Korrektheit der gesendeten Informationen garantiert werden können.

Einsatzfahrzeugen ist es erlaubt unter Umständen Kreuzungen auch bei „Rot“ zu passieren. Für AF wird das sensorische Erfassen und Zuordnen von Blaulichtsignalen, wie auch von anderen Lichtsignalen, nicht mit ausreichender Sicherheit möglich sein. Um Interpretationsfehler zu vermeiden, sollten deshalb auch Einsatzfahrzeuge entsprechend ausgerüstet werden, um Informationen direkt an AF übertragen zu können. In weiterer Folge wäre auch eine Beeinflussung der Signalphasen von VLSA durch Einsatzfahrzeuge denkbar.

Eine weitere Herausforderung in der Entwicklung von AF stellt die korrekte Erfassung und Interpretation von Baustellenbereichen dar. Aufgrund der Komplexität speziell von Baustelleneinfahrten ist die Erfassung basierend rein auf on-board Sensorik oftmals nicht ausreichend. In Deutschland werden aus diesem Grund bereits jetzt Baustellensperranhänger mit W-LAN Sendeeinheiten ausgestattet. Somit können, wie auch bei VLSA, für AF relevante Informationen, wie beispielweise Fahrstreifensperren oder Geschwindigkeitsbeschränkungen, direkt an Fahrzeuge weitergegeben werden. Eine verpflichtende Aufstellung von derartigen Sperranhängern müsste im Zuge der Baustellenabsicherung von Straßenbetreibern vorgeschrieben werden.

Bereits im Vorfeld, vor Fahrtantritt und Routenplanung, muss infrastrukturseitig abgeklärt werden, welche Straßenabschnitte grundsätzlich automatisiert befahren werden können. Ansonsten könnte es bei ungeplantem Erreichen von Systemgrenzen zum Stillstand von AF auf der Fahrbahn kommen. Derartige Streckenfreigaben müssten beispielsweise in Baustellenbereichen dynamisch stattfinden.

6 Analyse von Straßeninfrastrukturelementen und technischer Möglichkeiten automatisierter Fahrzeuge – Ausarbeiten möglicher Problempunkte der Schnittstellen

Im folgenden Kapitel werden anhand der Ergebnisse der in Kapitel 5 angeführten Expertenbefragung mögliche Problem- aber auch Schnittstellen bestehender Straßeninfrastruktur mit den erwarteten technischen Möglichkeiten von zukünftigen AF aufgezeigt.

Hersteller AF bewegen sich derzeit noch in der Entwicklungsphase. Sowohl die on-board Sensorik als auch die Kommunikationsmöglichkeiten und die Entwicklung digitaler Infrastruktur sind noch nicht ausgereift. Auch führende Experten der Branche können keine vollkommen konkreten Aussagen hinsichtlich den tatsächlichen Möglichkeiten und Fähigkeiten zukünftiger hochautomatisierter Fahrzeuge treffen. Die in den Interviews getätigten Aussagen beruhen auf Annahmen aufgrund des derzeitigen Entwicklungsstandes. Somit können auch die hier angeführten Schnittstellenproblematiken von zukünftigen tatsächlich auftretenden Überschneidungen abweichen.

Die Gliederung des folgenden Kapitels erfolgt synonym zur Gliederung von Kapitel 4. Zusätzlich werden die Abschnitte „Spezielle Einrichtungen für automatisiertes Fahren“ und „Digitale Infrastruktur“ ergänzt. Nach angeführten Problem- und Schnittstellen wird in folgender Form auf entsprechende Expertenaussagen verwiesen: „(Fragen „Nummer“: Abschnitt „Nummer“)“. Disgruente Expertenaussagen werden kenntlich gemacht.

Um Muster zu erkennen und darauf bezogene standardisierte Abläufe festzulegen, finden straßenbauliche Richtlinien bereits in der Entwicklung von AF Beachtung. Zudem werden Teststrecken nach entsprechenden Richtlinien ausgestattet. (Frage 1, 2: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5, 5.4.6) Um, ähnlich wie im Schienenverkehr, ein ideales und möglichst gesamtwirtschaftliches Zusammenspiel von Infrastruktur und Infrastrukturnutzern zu schaffen, sollte die Beachtung beidseitig stattfinden. Bereits beim Aufsetzen von straßenbaulichen Richtlinien sollten zukünftige Anforderungen der Automobilindustrie einfließen. Eine rein einseitige Anpassung der Automobilindustrie an die Straßeninfrastruktur wird mit steigenden Ansprüchen aufgrund voranschreitender Automatisierung nicht ausreichen. Experten sind sich einig, dass vollautomatisiertes Fahren bei bestehender Infrastruktur nicht umgesetzt werden kann. Ein Ausbau und eine Weiterentwicklung der Straßeninfrastruktur muss stattfinden. (Frage 3: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6) Infrastruktur und Fahrzeuge sind zukünftig als Einheit zu betrachten.

6.1 Leiteinrichtungen

Straßenbauliche Leiteinrichtungen werden in dieser Arbeit in fünf Kategorien unterschieden (siehe Abschnitt 4.2).

Gut sichtbare Bodenmarkierungen werden von fast allen befragten Experten als absolut essentiell für den Einsatz von AF eingestuft. (Frage 5: Interview 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5) Diese dienen der Orientierung eines Fahrzeugs innerhalb eines Fahrstreifens und werden auch bei Verfügbarkeit von HD-Maps nicht vollständig verzichtbar werden. Lediglich Herr Hauschild, als Vertreter der BMW-Group und Herr Rech von VW sehen keine absolute Grundvoraussetzung im Bestehen von Leiteinrichtungen. Herr Hauschild weist jedoch zusätzlich darauf hin, dass unzureichende Qualität von Leiteinrichtungen eventuell zu einer Einsatzbeschränkung für AF führen kann. (Frage 5: Interview 5.4.1) Dies bedeutet jedoch, dass,

wenn ein automatisierter Einsatz von Fahrzeugen ermöglicht werden soll, trotzdem gewisse Standards eingehalten werden müssen. Herr Rech betont, dass gerade zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen Bodenmarkierungen sehr wohl wichtig und ev. auch notwendig sein werden. Jedoch muss zumindest, um fahrerloses Fahren zu ermöglichen, eine Eigenverortung der Fahrzeuge auch ohne Bodenmarkierungen möglich sein. Schon bei geringer Verschmutzung oder Schneelage könnte ansonsten ein ausfallsfreier Einsatz nicht sichergestellt werden. Solange manuelle Fahrer als Rückfallebene bereitstehen, kann die Steuerung übertragen werden. (Interview 5.4.6)

Laut bestehenden Richtlinien ist lediglich die Beschaffenheit von Bodenmarkierungen direkt nach dem Aufbringen der Markierung geregelt. Zudem ist ein verpflichtender Einsatz, speziell von Randlinien, nicht in den Richtlinien verankert. Für Straßenabschnitten, auf denen vollautomatisiertes Fahren realisiert werden soll, müssten deshalb strengere Regelungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Wartung von Bodenmarkierungen definiert werden. Es sind entsprechende Mindestanforderungen festzulegen – diesbezüglich überschneiden sich alle Expertenmeinungen. (Frage 6: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5) Bezüglich der tatsächlich benötigten Qualität (Breite, Sichtbarkeit, Reflexion, etc.) kann zur Zeit noch keine Angabe getätigt werden.

Straßenverkehrszeichen können relativ einfach in digitalen Karten hinterlegt und als redundante Information bereitgestellt werden. Aus diesem Grund ist die Qualität der manuellen VZ weniger relevant als jene der Bodenmarkierungen. Es sollte lediglich darauf geachtet werden, dass die digitale Infrastruktur widerspruchsfrei zur manuellen aufgebaut wird. Im Falle eines Widerspruchs muss festgelegt werden, welche Information als höherrangig erachtet wird. (Frage 5: 5.4.4; Frage 8: 5.4.4; Frage 9: 5.4.1) Gänzlich können manuelle VZ, zumindest in den nächsten Jahren, nicht entfallen. Solange Mischverkehr herrscht, muss sowohl die manuelle als auch die zukünftige, digitale Infrastruktur aufrechterhalten werden. Ohne entsprechende Sanktionen wird auch in ferner Zukunft der Bestand manuell gesteuerte Fahrzeuge nicht gänzlich verdrängt werden.

Zurzeit ist in den österreichischen straßenbaulichen Richtlinien kein maximaler Installationsraum für VLSA vorgeschrieben. Dies sollte jedoch kein wesentliches Problem für den Einsatz von AF darstellen. Vielmehr vertreten ein Großteil der Experten die Meinung, dass eine aktive Kommunikationsmöglichkeit zwischen den Fahrzeugen und VLSA eingerichtet werden sollte. (Frage 7: 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6) Probleme könnten bei der korrekten Erfassung der Lichtsignale entstehen. Bei ungünstiger Sonneneinstrahlung ist eine Unterscheidung der Lichtsignale hinsichtlich der Bildverarbeitung oftmals nur schwer möglich. Aktive Kommunikation zwischen VLSA und AF könnte jedoch auch dieser Problematik entgegenwirken. (Frage 7: 5.4.3; Interview 5.4.6)

Zusammenfassend kann aufgrund der erhobenen Expertenmeinungen festgehalten werden, dass die Anforderungen an infrastrukturelle Leiteinrichtungen, speziell die Anforderungen an Bodenmarkierungen, steigen werden. Die Qualität anderer Leiteinrichtungen wie VZ, Fahrzeugrückhaltesysteme, Leitpföcke oder die Ausführung von VLSA ist als weniger relevant einzustufen. Jedoch sollten VLSA kommunikationsfähig hergestellt werden.

Um eine gewisse Qualität von Bodenmarkierungen sicherstellen zu können, sind unter Umständen Standards zu definieren, welche mit den Erfassungsmöglichkeiten der Sensorik abgeglichen werden sollten.

6.2 Trassierung

In Kapitel 4 Abschnitt 4.3 sind RVS, welche unter Umständen hinsichtlich der Trassierung von Straßenabschnitten einen Einfluss auf den Einsatz automatisierter Fahrzeuge haben könnten,

angeführt. In dieser Arbeit werden neben der tatsächlichen baulichen Trassierung von Straßen (Linienführung, Sichtweiten, Parkplätze, etc.), auch Vorgaben hinsichtlich zulässiger Höchstgeschwindigkeiten, Kategorisierung von Straßenabschnitten und die Oberbaubemessung als Trassierungsvorgaben erachtet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird diese Form auch in diesem Abschnitt beibehalten.

Frage 13 der Experteninterviews zielt speziell auf die Linienführung bzw. die Sichtweitenproblematik auf österreichischen Autobahnen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h ab. Auf einigen Abschnitten kann aufgrund enger Kurvenradien ein Fahren auf Sicht mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h nicht eingehalten werden. Menschliche Fahrer befahren derartige Abschnitte jedoch trotzdem oftmals, auf eigene Verantwortung, mit unverminderter Geschwindigkeit. Verhalten sich AF StVO konform, müssten diese in derartigen Bereichen die Geschwindigkeit reduzieren, könnten jedoch dadurch als hindernd von anderen Verkehrsteilnehmern wahrgenommen werden. Auch die befragten Experten sehen derartigen Situationen, zumindest in der Einführungsphase, durchaus kritisch. Bei höherer Marktdurchdringung von AF kann mittels C2C-Kommunikation die Sichtweite ev. virtuell erweitert werden und somit derartige Situation regelkonform bewältigt werden. (Frage 13: 5.4.3, 5.4.4) Infrastrukturseitige Streckenüberwachung, wie auch im Schienenverkehr üblich, würde auch bei sehr geringer Marktdurchdringung ein sicheres Befahren ermöglichen, wird jedoch aus wirtschaftlicher und rechtlicher Sicht nur schwer umsetzbar sein. (Frage 13: 5.4.2; Interview 5.4.6) Ist die in hochautomatisierten Fahrzeugen verbaute Sensorik den Fähigkeiten der menschlichen Wahrnehmung voraus (sensorische Erfassung von nicht direkt einsehbaren Bereichen), dann wäre auch ein Einsatz ohne zusätzliche infrastrukturseitige Einrichtungen möglich. (Frage 13: 5.4.5) Werden infrastrukturseitig keine Maßnahmen ergriffen und ist auch die on-board Sensorik von AF nicht in der Lage, derartige Bereiche „einzusehen“, dann könnten zu Beginn der Einführung Freigabebeschränkungen resultieren oder AF müssten in betroffenen Bereichen die Geschwindigkeit dementsprechend anpassen. (Frage 13: 5.4.1; Interview 5.4.6) Spätestens jedoch, wenn AF der Stufe 4/5 eingesetzt werden, kann von einer deutlichen Verringerung des Anhaltewegs ausgegangen werden (vergleiche dazu Abschnitt 3.3). Bestehende Trassierungen sollten unter diesen Umständen keine Einsatzbeschränkungen darstellen (Gegenüberstellung berechneter Sichtweiten in Kreisbogenradien mit Anhaltewegen von manuell und automatisiert gesteuerten Fahrzeuge siehe Abschnitt 4.3.1).

AF des Automatisierungslevels 4 können das Steuer bei Erreichen von Systemgrenzen oder bei unerwarteten Gebrechen, mit ausreichend Zeitreserve, an den Fahrer übergeben. Ist der Fahrer nicht in der Lage das Steuer in gegebener Zeit zu übernehmen, dann muss das Fahrzeug selbstständig in der Lage sein, einen sicheren Betriebszustand einzunehmen. Meistens wird der Fahrzeugstillstand, auf dafür vorgesehenen Flächen, einen sicheren Zustand darstellen. Auch bei manuell gesteuerten Fahrzeugen können unerwartete Gebrechen auftreten, die ein Abstellen des Fahrzeugs zwingend erforderlich machen. Insofern unterscheidet sich die Problematiken nicht wesentlich. (Frage 15: 5.4.5) Speziell auf Richtungsfahrbahnen sind bereits jetzt in regelmäßigen Abständen Haltebuchten oder ein durchgängiger Pannestreifen vorzusehen.²⁰⁶ Dadurch soll auf jeden Fall vermieden werden, dass Fahrzeuge auf der Fahrbahn zum Stillstand kommen. Ob die Abstände der Pannebuchten und deren Dimensionierung für den Einsatz von AF geeignet oder ob zusätzliche Abstellmöglichkeiten, eventuell auch im untergeordneten Netz vorzusehen sind, ist abzuklären. Fraglich ist, wie viele Fahrer nach Übernahmeaufforderung tatsächlich nicht in der Lage sein werden, das Steuer zu übernehmen. (Frage 15: 5.4.3) Aus technischer Sicht sollte es grundsätzlich möglich sein, Systemgrenzen an

²⁰⁶ Vgl. FSV August 2014b

infrastrukturelle Gegebenheiten anzupassen. Zusätzlich werden bereits jetzt geeignete tele-operation-Systeme entwickelt, welche bei Systemausfall eine menschliche Fernsteuerung von Fahrzeugen ermöglichen sollen. (Frage 15: 5.4.1)

Spätestens bei Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen muss bereits vor Fahrtantritt eine exakte Routenplanung durchgeführt werden können. Dazu werden exakte Informationen von grundsätzlichen Einsatzbeschränkungen, Ausbaustandards und des aktuellen Zustandes von Streckenabschnitten erforderlich sein. Können gewisse Streckenabschnitte nicht vollautomatisiert befahren werden, muss dies bereits bei der Routenplanung Beachtung finden. Fahrtabbrüche bei ungeplantem Erreichen von Systemgrenzen müssen weitestgehend verhindert werden. (Frage 16: 5.4.1, 5.4.3; Frage 14: 5.4.5; Interview 5.4.6) Eine rein statische Kategorisierung von Streckenabschnitten wird für diesen Einsatzzweck nicht ausreichend sein. Durch kontinuierliche Zustandserfassung durch die Fahrzeugflotte selbst kann eine dynamische Aktualisierung des Kartenmaterials bewerkstelligt werden. Um Informationen über kurz- und langfristige Sperren von Fahrstreifen oder Straßenabschnitten aufgrund von Baustellen oder anderen Behinderungen zeitnah an die Fahrzeugflotte zu übermitteln, sollte zudem eine Schnittstelle zu Behörden eingerichtet werden. (Frage 16: 5.4.1) Es kann jedoch auch eine gewisse statische Kategorisierung einen Nutzen liefern. Werden Streckenabschnitte hinsichtlich ihrer Ausstattung kategorisiert und auch AF hinsichtlich ihrer Fähigkeiten eingeteilt, können grundsätzliche Einsatzbeschränkungen, ev. schon bei der Entwicklung von Fahrzeugen, festgestellt werden (beispielsweise rein für den Einsatz im hochrangigen Straßennetz geeignet). (Frage 16: 5.4.3, 5.4.4) Die aktuelle Einteilung und Kategorisierung des Straßennetzes wird diesen Anforderungen eher nicht entsprechen.

Bei der Frage, ob und wann Platooning, speziell für LKWs, im hochrangigen Netz möglich sein wird, sind sich die befragten Experten uneinig.. Während Herr Winner der Meinung ist, dass Platooning aufgrund der Auf- und Abfahrtsproblematik²⁰⁷ in naher Zukunft nicht möglich sein wird, (Frage 17: 5.4.3) sieht hingegen Herr Morich Platooning aufgrund der hohen wirtschaftlichen Vorteile als eines der ersten angewendeten automatisierten Systeme. (Frage 17: 5.4.5) Möglich wäre beispielweise, dass anfänglich Platooning nur auf wenigen ausgewählten Strecken zulässig sein wird und im Bereich von Auf- und Abfahrten Platoons aufzulösen sind. Fraglich ist, inwieweit dadurch Platooning noch wirtschaftlich betrieben werden kann. Aus Sicht der Straßenbetreiber ist jedoch vielmehr von Interesse, welche Auswirkungen durch den Einsatz von Platooning infrastrukturseitig resultieren. Es ist zu erwarten, dass durch Schwingungsüberlagerungen und Nutzen der exakt gleichen Fahrspur aller LKWs der Straßenoberbau höheren statischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt wird. (Frage 17: 5.4.5) Ev. könnten höhere statische Lasten durch geeignete fahrzeugseitige Maßnahmen verhindert werden. Um den Radverschleiß von Waggons und Zugmaschinen im Schienenverkehr zu minimieren, sind deren Räder leicht konische ausgebildet. Dadurch wird auch auf geraden Abschnitten ein Sinuslauf eines Zuges erreicht und so der Verschleiß der Räder minimiert. Ähnlich könnte auch der Verschleiß oder die Spurrinnenbildung auf Autobahnen verhindert werden. Fahren Platoons nicht exakt gerade, sondern leicht sinusläufig, dann würden einzelne Platoons unterschiedliche Fahrspuren

²⁰⁷ Fahrzeuge werden über eine elektronische Deixel gekoppelt, nicht jedes Fahrzeug muss ununterbrochen durch einen Fahrer überwacht werden und durch die gering gehaltenen Abstände kann der Luftwiderstand der einzelnen LKWs reduziert und somit der Treibstoffverbrauch gesenkt werden. Um Platooning möglichst wirtschaftlich zu gestalten, muss versucht werden, die Abstände zwischen den einzelnen Fahrzeugen gering zu halten. Mehrere LKWs bilden so einen Platoon. Zurzeit ist jedoch noch nicht geklärt, wie sich derartige Platoons im Bereich von Auf- und Abfahrten verhalten. Andere Fahrzeuge können aufgrund der geringen Abstände, derartige LKW-Züge nicht einfach durchscheren, um Fahrstreifen zu wechseln. Somit werden in derartigen Bereichen Auf- und Abfahrten kurzzeitig durch Platoons versperrt.

nutzen und so ev. auftretende statische Zusatzbelastungen reduziert werden. Grundsätzlich müssen Kosten notwendiger infrastruktureller Maßnahmen mit möglichen Einsparungen durch Platooning abgeglichen werden (Frage 17: 5.4.2)

6.3 Ingenieurbauwerke

Wie bereits in Abschnitt 6.2 beschrieben, könnten durch Platooning höhere statische und dynamische Lasten auftreten. Auch auf die Dimensionierung von Brückenkonstruktionen könnte sich dies auswirken. Kommt Platooning tatsächlich zum Einsatz, dann müssen bestehende Konstruktionen hinsichtlich der maximalen Traglast überprüft werden. Bei neuen Bauten könnte Platooning als eigener Lastfallkombination bereits bei der Konstruktion Beachtung finden.

Frage 18 des Interviewleitfadens thematisiert auftretende Ausfälle der sensorischen Wahrnehmung bei Lichtwechseln bei Tunnelausfahrten. In der RVS 09.02.41²⁰⁸ sind bereits jetzt relativ strenge Vorgaben hinsichtlich der Beleuchtung von Straßentunneln definiert. Um die menschliche Wahrnehmung nicht zu überlasten, muss ein gewisser Beleuchtungsübergangsbereich von der freien Strecke zur Innenstrecke von Tunneln geschaffen werden. Die sensorische Wahrnehmung von AF mittels Kameras ist der menschlichen Wahrnehmung sehr ähnlich. Somit sind derartige Richtlinien auch aus Sicht der Automatisierungstechnik als durchaus positiv einzustufen. Durch den Einsatz unterschiedlicher Sensorsysteme können zukünftig auch Bereiche mit starken Lichtwechseln, ohne vorübergehenden Ausfall der sensorischen Wahrnehmung, befahren werden. (Frage 18: 5.4.1, 5.4.3, 5.4.5) Gibt es trotz simultan eingesetzter Sensorik Bereiche, die nicht erfasst werden können, resultieren unter Umständen Freigabebeschränkungen. Herr Tschabuschnig spricht zudem eine zur Zeit noch bestehende Problematik durch ungewollte Reflexionen im Tunnelbereich an. Auch diese Unsicherheiten können ev. durch simultan eingesetzte Sensorik und durch den Einsatz digitaler Infrastruktur geklärt werden. Abhilfe könnte zudem infrastrukturseitige Überwachung von Tunnelbereichen schaffen. (Frage 18: 5.4.2)

6.4 Baustellenbereich

Hinsichtlich der Absicherung von Baustellenbereich sind die befragten Experten zum größten Teil einer Meinung. Grundsätzlich ist auch der automatisierte Einsatz von Fahrzeugen in Baustellenbereichen denkbar. Abhängig ist dies jedoch immer von der Komplexität einer Situation. Eine Baustelleneinfahrt bringt aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsführungsvarianten und Beschilderungsmöglichkeiten hinsichtlich der Erfassung durch AF eine größere Komplexität mit sich als gewöhnliche Straßenabschnitte. Derzeitig ist die Absicherung und Kennzeichnung von Baustellen für automatisiertes Befahren nicht ausreichend. Weitestgehende Harmonisierung und Standardisierung der Kennzeichnung und Absicherung, speziell der Baustelleneinfahrten ist anzustreben. Regelpläne zur Baustellenabsicherung, wie beispielsweise in der RVS 05.05.43 angeführt, stellen hinsichtlich der Erfassung und Zuordnung von Baustellenbereichen eine durchaus sinnvolle Variante der Harmonisierung dar. Zukünftig wird auch eine exakte Verzeichnung von sowohl kurz- als auch langfristig geplanten Baustellen hinsichtlich Ort und Zeit in digitalen Karten unumgänglich werden. Um Routen bereits vor Fahrtantritt zu planen und so ungewollte Stillstände von Fahrzeugen vorzubeugen, müssen der Zustand und die Passierbarkeit von Straßenabschnitten bekannt sein. Zur Zeit sind behördliche Informationen hinsichtlich Baustellenbereiche (Positionierung und Baubeginn) allein zur

²⁰⁸ FSV Februar 2014

Fahrerinformation nicht zureichend. Ein konkreter Baubeginn wird nicht bekanntgegeben. (Fragen 19, 20, 21: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6)

Zusätzlich zur Harmonisierung und digitalen Verzeichnung von Baustellen sehen einige Experten auch eine Notwendigkeit der zusätzlichen Absicherung mittels RSU. Aufgrund der Komplexität, speziell von Baustelleneinfahrten, könnte die Erfassung basierend rein auf on-board Sensorik oftmals nicht ausreichend sein. In Deutschland werden aus diesem Grund bereits jetzt Baustellensperranhänger mit W-LAN Sendeeinheiten ausgestattet. Relevante Informationen, wie beispielsweise der Verlauf der Baustelle, Fahrstreifensperren oder Geschwindigkeitsbeschränkungen, können so direkt an AF gesendet werden. Eine verpflichtende Aufstellung von derartigen Sperranhängern müsste im Zuge der Baustellenabsicherung von Straßenbetreibern vorgeschrieben werden. (Frage 19: 5.4.2; Interview 5.4.6)

6.5 Straßenerhaltung

Aus wirtschaftlicher Sicht ist eine Intensivierung der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten schwer umsetzbar. Will man jedoch als Straßenbetreiber automatisiertes Fahren ermöglichen, dann werden in gewissen Bereichen der Straßeninfrastruktur höhere Anforderungen zu erfüllen sein. Speziell im Bereich der Bodenmarkierungen vermuten die befragten Experten, dass die derzeitige Qualität oftmals für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge unzureichend ist. (Frage 6, 22: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6) Wartungs- und Instandhaltungsintervalle müssen kürzer werden, regelmäßiges Auffrischen der Markierungen wird erforderlich. Jedoch wird es nicht notwendig werden, fix vorgeschriebene Wartungsintervalle festzulegen. Durch kontinuierliche Aufnahme von infrastrukturellen Einrichtungen wie die Fahrbahn, Leiteinrichtungen oder auch Beleuchtungseinrichtungen durch AF, können Abnutzungserscheinungen oder Schäden festgestellt und dementsprechende Maßnahmen frühzeitig und gezielt eingeleitet werden. Gegenseitiger Profit von Infrastrukturnutzern und Betreibern kann speziell bei der Inspektion von Streckenabschnitten stattfinden. Durch effiziente und ereignisorientierte Instandhaltung kann eine Kostenminimierung erzielt werden. (Frage 22: 5.4.1, 5.4.5)

Im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz wird die Qualität der infrastrukturellen Einrichtungen auch derzeit weitestgehend den Anforderungen von AF entsprechen. In Städten und speziell in ländlichen Gebieten wird die Qualität oftmals unzureichend sein. Solange alternative Routen vorhanden sind oder bei Erreichen von Systemgrenzen eine manuelle Steuerung eines Fahrzeugs möglich ist, wird es nicht notwendig sein, das gesamte Straßennetz für die automatisierte Nutzung von Fahrzeugen auszubauen. Ländliche Gebiete sind jedoch oftmals gering verflochten und Alternativrouten sind teilweise nicht vorhanden. Um von den Vorteilen hochautomatisierter Fahrzeuge auch in derartigen Gebieten profitieren zu können, wird ein umfassender Ausbau und eine Intensivierung der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten notwendig.

Findet in fernerer Zukunft ein Übergang zu vollkommen fahrerlosen Fahrzeugen statt, werden sich auch die Schwerpunkte der Straßenerhaltung verlagern. Auch bei Verschmutzung und geschlossener Schneedecke sollte eine Nutzung der Fahrzeuge möglich sein. Die Eigenverortung innerhalb eines Fahrstreifens muss auch ohne durchgängig verfügbaren Bodenmarkierungen funktionieren. Durch hochgenaue digitale Karten und zahlreiche Landmarken könnte eine exakte Positionsbestimmung stattfinden. Somit könnte in ferner Zukunft die Vermessung, Wartung und Instandhaltung von Landmarken einen Schwerpunkt für Straßenerhalter darstellen. (Frage 6: 5.4.3; Interview 5.4.6)

6.6 Spezielle Einrichtungen für automatisiertes Fahren

Zu Beginn der Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge werden diese mit den bestehenden infrastrukturellen Gegebenheiten funktionieren müssen. Anfänglich wird der Einsatz nur auf einigen wenigen Streckenabschnitten zulässig sein. Aufgrund der Homogenität und des hohen Ausbaustandes ist zu erwarten, dass erste Anwendungen auf das Autobahn- und Schnellstraßennetz beschränkt sind. Bei Erreichen der Systemgrenzen wird das Steuer an den menschlichen Fahrer übergeben. Mit voranschreitender Entwicklung seitens der Fahrzeugtechnik und schrittweisen Anpassung der bestehenden Infrastruktur können Systemgrenzen ausgeweitet und so das Einsatzgebiet vergrößert werden. Gewisse Situationen werden jedoch aus heutiger Sicht nicht mittels rein auf Fahrzeugsensorik basierender Erfassung und ausreichender Ausfallssicherheit wahrgenommen und interpretiert werden können. Spätestens für den Einsatz fahrerloser Fahrzeuge werden gewisse Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug und Infrastruktur essentiell – darüber sind sich alle befragten Experten einig.

Bei der korrekten Erfassung von Lichtsignalen mithilfe sensorischer Wahrnehmung stoßt die Entwickler an seine Grenzen. Speziell nachts bei nasser Fahrbahn kann beispielsweise ein Lichtsignal nur schwer von Rück- und Bremslichtern, Scheinwerfern oder Leuchtreklame und zahlreichen Reflexionen unterschieden werden. Auch bei tiefstehender Sonne ist die Erfassung von Signalen beeinträchtigt. (Interview 5.4.6) Um korrekte Erfassung mit nahezu hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit sicherzustellen, wird es daher notwendig werden, kommunikationsfähige VLSA zu installieren. Erforderliche Informationen können so direkt mittels geeignetem W-LAN Standard an AF gesendet werden. Die in Frage 7 des Interviewleitfadens thematisierte Problematik des Installationsraumes von VLSA wird damit hinfällig. (Frage 7: 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5) Ergänzend zur Ausrüstung von Lichtsignalanlagen, könnte es zudem zielführend und notwendig sein, auch Lichtsignale und elektronische Hinweistafeln auf Autobahnen entsprechend auszurüsten.

Neben AF können auch manuell gesteuerte Fahrzeuge von kommunikationsfähigen VLSA profitieren (ausschließlich Fahrzeuge, die mit Kommunikationsschnittstellen ausgerüstet sind – VW wird ab 2019 Fahrzeuge serienmäßig dahingehend ausrüsten (Interview 5.4.6)). Beispielsweise ist angedacht, Einsatzfahrzeuge mit Sende- und Empfangseinrichtungen auszustatten. Signalphasen könnten frühzeitig beeinflusst werden und so ein Überqueren von Einsatzfahrzeugen bei rotem Lichtsignal vermieden werden. Im Kreuzungsbereich befindliche Fahrzeuge können frühzeitig auf herannahende Einsatzfahrzeuge hingewiesen werden – für AF wird das sensorische Erfassen und Zuordnen von Blaulichtsignalen nicht mit ausreichender Sicherheit möglich sein. Durch Installation von Kommunikationsschnittstellen ist ein Sicherheitsgewinn für annähernd die gesamte zukünftige Fahrzeugflotte zu erwarten.

Eine weitere Herausforderung in der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge stellt die korrekte Erfassung und Interpretation von Baustellenbereichen dar. Aufgrund der Komplexität, speziell von Baustelleneinfahrten, ist die Erfassung, basierend rein auf on-board Sensorik, oftmals nicht ausreichend. In Deutschland werden aus diesem Grund bereits jetzt Baustellensperranhänger mit W-LAN Sendeeinheiten ausgestattet. Somit können, wie auch bei VLSA, für AF relevante Informationen, wie beispielweise Fahrstreifensperren oder Geschwindigkeitsbeschränkungen, direkt an Fahrzeuge weitergegeben werden.

Prinzipiell können jegliche Straßenabschnitte infrastruktureitig überwacht und vorverarbeitetes Datenmaterial an AF gesendet werden. Aus wirtschaftlicher Sicht wird dies jedoch nur sinnvoll sein,

wenn daraus ein tatsächlicher Sicherheitsgewinn resultiert und die sensorische Erfassung mit anschließender Datenverarbeitung fahrzeugseitig nicht ausfallssicher möglich ist.

Aus Sicht der Infrastrukturbetreiber ist jede Bereitstellung von bereits vorverarbeiteten Daten unumgänglich mit daraus resultierender Haftung verbunden. Die Korrektheit der Daten muss gewährleistet werden können. Zudem ist zu erwarten, dass jegliche dezentrale Einrichtungen mit hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten verbunden sind.

Aus strategischen Gründen werden Fahrzeughersteller versuchen, großteils der Informationsverarbeitung im Fahrzeug zu behalten und infrastrukturelle Abhängigkeiten auf das Notwendigste zu reduzieren. So können Automobilkonzerne möglichst unabhängig von der Infrastruktur fungieren und sind hinsichtlich des Einsatzgebiets der Fahrzeuge ungebunden. Jegliche zusätzliche Bereitstellung von Informationen seitens der Infrastruktur bietet jedoch aufgrund der Redundanz der Informationen zusätzliche Sicherheit.

Weiters muss jede Kommunikationsschnittstelle auch als potentielles Sicherheitsrisiko betrachtet werden. Sowohl Datenschutz als auch Datensicherheit muss gewährleistet werden können.

6.7 Digitale Infrastruktur

Absolute Notwendigkeit stellt neben einer entsprechend ausgebauten manuellen Infrastruktur auch eine präzise und aktuelle digitale Infrastruktur dar. (Frage 9: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6) Neben trivialen Einsatzzwecken wie der Routenplanung oder der ungefähren Eigenverortung werden digitale Karten zur exakten Positionsbestimmung innerhalb eines Fahrstreifens oder zur Umfelderkassung eingesetzt. Beispielsweise sollte auch, wenn infrastrukturelle Leiteinrichtungen kurzzeitig nicht in zureichender Qualität verfügbar sind, ein sicheres Manövrieren, basierend auf digitalen Karten, möglich sein. Die digitale Infrastruktur kann als Rückfallebene, somit als redundantes System zur manuellen Infrastruktur, angesehen werden.

Neben statischen Inhalten wie Routeninformationen (Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrverbote, etc.) und Vorrangregelungen (Verzeichnung von statischen VZ) müssen digitale Karten zukünftig auch dynamische Streckeninformationen beinhalten – beispielsweise Informationen über den Fahrbahnzustand (Schlaglöcher, Schneefahrbahn, Glatteis, etc.), vorübergehende Sperren von Straßen oder einzelnen Fahrstreifen oder Informationen über aktuelle Wetterlagen. Es kann und wird jedoch nicht alleinige Aufgabe der Infrastrukturbetreiber sein, die Aktualität zu gewährleisten. Ein großer Teil der enthaltenen Informationen kann durch die Fahrzeugflotte selbst erfasst und verzeichnet werden – Self-healing-Map – dynamische Anpassung des Kartenmaterials durch eigenständige Situationsaufnahme. (Frage 14: 5.4.1) Informationen wie vorübergehende Streckensperren oder Baustellenbereiche müssen jedoch vom Straßenbetreiber verzeichnet werden. Spätestens wenn fahrerlose Fahrzeuge zum Einsatz kommen, wird es absolut notwendig sein, die genaue Beschaffenheit einzelner Routen zu kennen. Es muss möglich sein, einzelne Fahrten bereits vor Fahrtantritt genau zu planen, um ungewolltes Erreichen von Systemgrenzen zu verhindern. Aktuelle Verkehrsflussinformationen können zum einen teilweise von AF aufgenommen und an Infrastrukturbetreiber geliefert werden, zum anderen könnten Infrastrukturbetreiber die gesammelten Daten nutzen und AF zur Verfügung stellen, um so den Verkehrsfluss gezielt zu beeinflussen und beispielsweise Verkehrsstaus vor dem Entstehen zu verhindern.

Wie bereits erwähnt dienen digitale Karten nicht nur der Routenplanung, sondern werden zudem zur Eigenverortung von hochautomatisierten Fahrzeugen eingesetzt. Eigenverortung über Satelliten, wie diese zurzeit bei Navigationsgeräten zum Einsatz kommt, genügen den Anforderungen von

hochautomatisierten Fahrzeugen nicht. Um ausreichende Genauigkeit zu erreichen und die sichere Orientierung eines Fahrzeugs innerhalb eines Fahrstreifens gewährleisten zu können, kommen Landmarken zum Einsatz. Eigenverortung innerhalb eines Fahrstreifens, anhand digitaler Karten, wird beispielsweise absolut notwendig, wenn Fahrzeuge auch im Winter bei geschlossener Schneedecke oder verschmutzter Fahrbahn einsatzfähig sein müssen. Solange ein menschlicher Fahrer zu Verfügung steht, der bei Erreichen von Systemgrenzen das Steuer übernehmen kann, genügt unter Umständen rein auf Umfeldsensorik basierende Positionierung.

Landmarken müssen mittels unterschiedlicher Fahrzeugsensorik und anschließender Bildverarbeitung eindeutig identifizierbar und zuordenbar sein. Sehr gut eignen sich dazu stangenförmige Gebilde wie beispielsweise Pfosten von Schildern, Laternen oder Lichtsignalanlagen. Es können jedoch auch Ecken und Kanten von Gebäuden oder anderen markanten Bauwerken als Landmarken verzeichnet werden. Nicht alle Landmarken müssen zwingend infrastruktureitig absolut vermessen werden. Grundsätzlich könnten diese auch dynamisch von der Fahrzeugflotte selbst aufgenommen werden. Werden seitens der Infrastruktur einige exakt und absolut vermessene Landmarken bereitgestellt, dann könnte eine Kalibrierung der absoluten Eigenposition von AF stattfinden. (Frage 11: 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5; Interview 5.4.6) Werden VLSA, wie in Abschnitt 6.6 beschrieben, mit kommunikationsfähiger Einheit ausgestattet, dann wäre es sinnvoll, diese absolut zu vermessen und neben für den Verkehrsfluss relevante Informationen auch Standortinformationen bereitzustellen. Somit würden VLSA gleichzeitig als Landmarken fungieren. Selbige Systematik könnte auch für Signalanlagen im hochrangigen Straßennetz angedacht werden. (Interview 5.4.6)

Auch Infrastrukturbetreiber können von hochgenauen, digitalen Karten profitieren. Zur Zeit ist, um Leitlinien auf der Fahrbahn herzustellen, ein aufwändiges Vermessungssystem notwendig. Trotzdem sind noch immer Abweichungen von mehreren Zentimetern von der tatsächlich geplanten Position festzustellen. Mit hochpräzisen Karten wäre beispielsweise eine Überprüfung und Korrektur von Leiteinrichtungen möglich. (Frage 10: 5.4.2)

7 Handlungsansätze und Empfehlungen für Infrastrukturbetreiber und Richtliniengestaltung

Da sich AF, speziell auch sensorische Erfassungssysteme inkl. Datenverarbeitung, aktuell noch im Entwicklungsstadium befinden, kann derzeit noch kein konkreter Änderungs- oder Ergänzungsbedarf bestehender Richtlinien definiert werden. Es wird daher versucht, basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit, Handlungsansätze, Empfehlungen und Strategien für Infrastrukturbetreiber aufzustellen. Grundsätzlich können diese Ansätze auch aus der in Kapitel 6 durchgeführten Schnittstellenanalyse abgeleitet werden. Dennoch werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die wichtigsten Punkte an dieser Stelle aufgelistet.

Bodenmarkierungen:

Gerade zu Beginn der Einführung höher automatisierter Fahrzeuge spielen Bodenmarkierungen eine wesentliche Rolle zur Eigenverortung innerhalb eines Fahrstreifens. Um sensorisch korrekte Erfassung und Interpretation sicherstellen zu können, müssen diese in gewisser Qualität (Sichtbarkeit, Farbe, Reflexionsverhalten, etc.) verfügbar sein. Tatsächliche Mindestanforderungen können derzeit nicht definiert werden, sollten jedoch frühzeitig unter Absprache von Fahrzeugherstellern und Infrastrukturbetreibern festgelegt werden. Diese sollten, zumindest für Strecken, welche für automatisierte Nutzung freigegeben werden, in entsprechende Richtlinien definiert werden. Laufende oder regelmäßige Kontrolle der Sichtbarkeit von Markierungen wird unumgänglich sein, könnte jedoch durch AF selbst erfolgen. Nicht nur die Qualität, sondern jedenfalls auch die tatsächliche Verfügbarkeit ist sicherzustellen. Zurzeit bestehen in Österreich keinerlei Regelungen, die Infrastrukturbetreiber zur Bereitstellung von Bodenmarkierungen verpflichten. Auf automatisiert genutzten Strecken sollten zumindest Randlinien vorgeschrieben werden. Mit voranschreitender Automatisierung, spätestens jedoch ab der serienmäßigen Nutzung von Fahrzeugen des Automatisierungslevels 5, wird die Relevanz physischer Leiteinrichtungen abnehmen. Die tatsächliche Qualität von Bodenmarkierungen wird eine untergeordnete Rolle einnehmen. Bei Fahrzeugen der Stufe 5 muss eine automatisierte Steuerung unter allen Bedingungen möglich sein. Beispielsweise muss somit die Eigenverortung eines Fahrzeugs auch bei geschlossener Schneedecke oder verschmutzter Fahrbahn möglich sein. Die Positionsbestimmung wird basierend auf digitaler Infrastruktur und Erfassung von Landmarken erfolgen.

Verkehrszeichen:

Da VZ relativ einfach in digitalen Karten verzeichnet werden können, sollte die bestehende Qualität physischer Beschilderung auch den Anforderungen automatisierter Fahrzeuge gerecht werden. Können einzelne VZ mittels sensorischer Erfassung nicht einwandfrei zugeordnet und interpretiert werden, können redundante Informationen in digitalen Karten verzeichnet werden. Es muss jedoch auf Widerspruchsfreiheit digitaler und physischer Infrastruktur geachtet bzw. festgelegt werden, welche Information im Zweifelsfall höherrangig zu erachten ist.

Verkehrslichtsignalanlagen:

Neben der Eigenverortung stellt die korrekte Interpretation von Kreuzungsbereichen für AF eine hohe Herausforderung dar. Speziell nachts bei Nässe oder auch bei tiefstehender Sonne können Lichtsignale sensorisch nicht mit ausreichender Sicherheit erfasst werden. Um Fahrzeuge auch im Kreuzungsbereich automatisiert und auch sicher betreiben zu können, sollten VLSA mit kommunikationsfähigen Einheiten ausgerüstet werden. Nicht nur im urbanen Raum ist die Aufrüstung von VLSA als sinnvoll und auch notwendig zu erachten, auch im hochrangigen Straßennetz sollten digitale Signalgeber kommunikationsfähig ausgeführt werden. Neben einer Erhöhung der allgemeinen Verkehrssicherheit würden Kommunikationsschnittstellen an VLSA zudem Vorteile für die Verkehrsleitung bieten. Durch Umkehr des Informationsflusses (Datenübertragung von Fahrzeugen an die Infrastruktur) können beispielsweise Grünzeiten gezielt dem aktuellen Verkehrsfluss angepasst und so der Verkehrsfluss effizienter gestaltet werden.

Linienführung:

Es ist zu erwarten, dass das Verhalten automatisierter Fahrzeuge werkseitig StVO konform programmiert werden. Durch Fahren auf ganze oder halbe Sicht, abhängig von infrastrukturellen Gegebenheiten, werden demnach AF, zu Beginn der Einführung, einige Straßenabschnitte langsamer befahren als derzeit bei konventioneller Befahrung üblich. Aus wirtschaftlicher Sicht wird es nur in Ausnahmefällen sinnvoll sein, eine Streckentrassierung anzupassen, um höhere Fahrgeschwindigkeiten zu erreichen. Längerfristig und bei entsprechender Durchdringung und Entwicklung von AF kann unter Umständen mittels C2C-Kommunikation die Umfeldwahrnehmung einzelner Fahrzeuge erweitert und so höhere Fahrgeschwindigkeiten erreicht werden. Denkbar, jedoch aus wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten unwahrscheinlich, wäre auch eine infrastrukturseitige Überwachung derartiger Abschnitte. Basierend auf den Ergebnissen, der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Expertenbefragung, wird bezüglich der Sichtweitenproblematik herstellerseitiger Handlungsbedarf gesehen (Verbesserung der Umfeldwahrnehmung und der Kommunikationstechniken). Initiativen seitens der Infrastrukturbetreiber sind aus heutiger Sicht nicht wirtschaftlich. Mittels Fahrzeuge des SAE Levels 4/5 können voraussichtlich, aufgrund kurzer Latenzzeiten und elektronisch angesteuerter Bremsen, deutlich kürzere Anhaltewege als derzeit manuell möglich, erzielt werden. Längerfristig wird somit die Linienführung keine Einsatzbeschränkung für AF darstellen.

Haltebuchten:

In Abschnitt 4.3.1 wird eine mögliche Übernahmeproblematik bei Fahrzeugen der Stufe 4 (Fahrzeug kommt zum Stillstand, da bei Erreichen der Systemgrenzen das Steuer nicht übernommen wird) beschrieben. AF sollten in derartigen Fällen in der Lage sein, trotz Erreichen von Systemgrenzen Parkplätze oder Haltebuchten für die Einnahme eines sicheren Zustandes aufzusuchen, bzw. sollten Systemgrenzen mit Bedacht auf mögliche Übernahmeproblematik festgelegt werden. Demnach müssten infrastrukturseitig keine zusätzlichen Abstellflächen (Haltebuchten) vorgesehen werden. Ob bestehende Haltebuchten

in ihrer Dimensionierung ausreichen, kann zur Zeit noch nicht festgestellt werden.²⁰⁹ Kommt es bei einem automatisierten Fahrzeug zu einem Gebrechen, dann ist dies aus heutiger Sicht nicht anders zu bewerten als ein Gebrechen bei einem konventionellen Fahrzeug (z.B. Stillstand durch Motorschaden).²¹⁰

Kategorisierung:

Grundsätzlich wird eine Kategorisierung von Straßen oder Streckenabschnitten der Nutzung von AF entgegenkommen, oder erforderlich sein, um Systemgrenzen festzulegen. In welcher Form eine Kategorisierung durchgeführt wird und wer diese vornimmt, ist derzeit unklar. Durch entsprechende sensorische Erfassung infrastruktureller Gegebenheit wird es rein technisch auch Herstellern ohne Beteiligung der Infrastruktur möglich sein, ein Streckennetz zu kategorisieren. Wenn sich Infrastrukturbetreiber nicht an der Kategorisierung des Netzes beteiligen, könnten diese jedoch jeglichen Einfluss bei der Festlegung von Systemgrenzen verlieren. Systemgrenzen werden sowohl statisch, beispielweise aufgrund infrastruktureller Ausstattung von Streckenabschnitten, als auch dynamisch, z.B. wetterbedingt, festgelegt werden. Zumindest bei statischen Anforderungen sollten Infrastrukturbetreiber Mitspracherecht einfordern (Zulassung von AF).

Punkte, die bei statischer Kategorisierung von Strecken beachtet werden sollten:

- Vorhanden Leiteinrichtungen und deren Qualität
- Trassierung (Linienführung, zulässige Höchstgeschwindigkeiten, Fahrbahnbreite, etc.)
- Ausstattung der VLSA
- Oberflächenbeschaffenheit
- Tunnelabschnitte
- Statische Traglasten (ev. essentiell, wenn Abschnitte Platooningfreigabe erhalten)
- Misch- oder rein motorisierter Verkehr
- Dauerbaustellen
- Etc.

Eventuell werden neben der Kategorisierung der Infrastruktur auch AF aufgrund ihrer Fähigkeiten kategorisiert. Durch Abgleichen infrastruktureller Gegebenheiten und fahrzeugseitiger Fähigkeiten könnten Systemgrenzen festgelegt bzw. die Zulassung von AF beeinflusst werden.

Aktuelle Gegebenheiten (Wetter, Unfall, Fahrbahnverschmutzung, etc.) könnten durch die Flotte selbst erfasst und Streckenfreigaben beispielsweise dynamisch von Verkehrsleitzentralen erteilt werden.

²⁰⁹ Vgl. Abschnitt 5.4.3, Frage 15

²¹⁰ Vgl. Abschnitt 5.4.5, Frage 15

Oberbaubemessung – Platooning:

Ob Platooning in Österreich aufgrund der Auf- und Abfahrtsproblematik tatsächlich zu Einsatz kommt, kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht beantwortet werden. Mögliche infrastrukturelle Problematiken, welche durch Schwerverkehrsplatooning resultieren können, sollten jedenfalls im Frühzeitig bedacht werden. Fahren künftig LKWs exakt hintereinander, ist mit erhöhter Spurrinnenbildung zu rechnen. Infrastruktureitige Anpassung durch entsprechende Oberbauverstärkung scheint in erster Linie unwirtschaftlich. Ähnlich der Geradeausfahrt von Schienenfahrzeugen könnten Platoons, anstatt exakter Geradeausfahrt entlang der Fahrbahnachse, eine leicht sinusförmige Fahrverlauf durchführen. Bei Schienenfahrzeugen wird durch den Sinuslauf der Radverschleiß reduziert. Bei Platooning würde die Spurrinnenbildung, also somit der Fahrbahnverschleiß, reduziert werden. Somit besteht in dieser Hinsicht infrastruktureitig kein direkter Handlungsbedarf.

Brückenbemessung – Platooning:

Es ist zu erwarten, dass durch Platooning sowohl statische als auch dynamische Lasten (durch mögliche Schwingungsüberlagerungen) ansteigen. Bestehende Brückenbauten sollten deshalb vor der Freigabe für Platooning statisch überprüft werden. Bei der Planung von Neubauten sollten mögliche Zusatzlasten bereits in die Dimensionierung einfließen. Welche Zusatzlasten durch Platooning entstehen können, wurde im Zuge dieser Arbeit nicht exakt ermittelt.

Tunnelbereiche:

In Abschnitt 4.4.2 werden mögliche Ausfälle sensorischer Wahrnehmung bei starken Lichtwechseln diskutiert. In der RVS 09.02.41 sind bereits Regelungen zu finden, welche eine Anpassung der Beleuchtungsstärke in Tunnelbereichen an die Lichtverhältnisse auf freier Strecke vorschreiben. Um die menschliche Wahrnehmung durch starke Lichtwechsel speziell bei Tunnelausfahrten nicht einzuschränken, ist lt. RVS 09.02.41 die Beleuchtungsstärke bereits im Tunnel, ab einem gewissen Bereich, bis zur Ausfahrt stetig zu erhöhen und an die natürlich herrschenden Lichtverhältnisse anzupassen. Speziell die Umfeldwahrnehmung von AF mittels Kamerasensorik weist Ähnlichkeiten zu der menschlichen Bildwahrnehmung auf. Somit kommen derartige Regelungen auch AF zugute. Zudem kann durch Verfügbarkeit digitaler Infrastruktur bei einer Tunnelfahrt der Zeitpunkt des Erreichens der Tunnelausfahrt relativ exakt bemessen werden. Sind zudem aktueller Wetterdaten verfügbar, kann die sensorische Erfassung automatisierter Fahrzeuge bereits frühzeitig an wechselnde Lichtverhältnisse angepasst werden. Somit wird, basierend auf in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen, in der Gestaltung von Tunnelbereichen kein dringender infrastruktureitiger Handlungsbedarf gesehen. Ob die Beleuchtung bestehender Tunnelbauten anzupassen ist, muss im Einzelfall überprüft werden.

Baustellenbereiche:

Die Einhaltung von Regelplänen zur Baustellenabsicherung wie sie in der RVS 05.04.43 zu finden sind, wird, wenn Baustellenbereiche tatsächlich automatisiert befahren werden sollen, eine wesentliche Rolle spielen. Grundsätzlich müssen Maßnahmen ergriffen werden, um speziell die Gestaltung von Baustelleneinfahrten zu harmonisieren und die Einhaltung von

derartigen Gestaltungsansätzen sicherzustellen. Zudem wird es, spätestens wenn Fahrzeuge der Stufe 5 betroffene Bereiche befahren, notwendig werden, den genauen Ort, den Baubeginn und die Dauer der Bauarbeiten in digitalen Karten zu verzeichnen. Stellen Baustellenbereiche unter Umständen Systemgrenzen für AF dar, muss dies bereits bei der Routenwahl berücksichtigt werden, um ungewollte Stillstände zu verhindern. Auch wenn lediglich einzelne Fahrstreifen vorübergehend nicht befahrbar sind, sollte dies digital verzeichnet werden. Zusätzlich zur physischen Absicherung von Baustellenbereichen könnte es unter Umständen notwendig werden, Baustellenbereiche mit kommunikationsfähigen Baustellensperranhängern (mobile RSU) oder Ähnlichem auszurüsten. Für AF wesentliche Informationen, wie beispielsweise der Baustellenverlauf, zulässige Höchstgeschwindigkeiten, Fahrstreifensperren, etc., könnten so direkt an die Fahrzeuge übertragen werden. Bereits jetzt kommen derartige Baustellensperranhänger in Pilotprojekten zum Einsatz.²¹¹

Durchaus könnte eine Art Kategorisierung von Baustellenbereichen, abhängig von Absicherungsklassen, verfügbaren Fahrbahnbreiten oder anderen Einflussparametern, angedacht werden. Diese könnte, durch das Abgleichen mit möglichen Fähigkeiten von AF, zur Festlegung von Systemgrenzen beitragen.

Es ist jedenfalls davon auszugehen, dass die derzeitige Verzeichnung und Absicherung von Baustellenbereichen für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge nicht ausreichend ist und diesbezüglich zusätzliche Aufwände zu tätigen sind.

Straßenerhaltung:

Grundsätzlich ist aus heutiger Sicht, um automatisiertes Fahren zu ermöglichen, von einer Intensivierung der Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen auszugehen. Speziell zu Beginn der Einführung automatisierter Fahrzeuge werden die Anforderungen an die Qualität von Bodenmarkierungen steigen und somit engere Wartungsintervalle notwendig werden. Auf längere Sicht könnten sich die Schwerpunkte der Straßenerhaltung verlagern. Vollautomatisierte Fahrzeuge werden Eigenverortung eher anhand digitaler Infrastruktur und verfügbaren Landmarken durchführen und weniger anhand von Bodenmarkierungen. Bei verschmutzter Straße oder Schneefall wird auch durch Intensivierung der Wartungsmaßnahmen keine durchgängige Sichtbarkeit gewährleistet werden können.

Durch Kooperation von Infrastrukturbetreibern und Nutzern könnte die Straßenerhaltung, speziell die Erfassung von Schäden und Mängel, effizienter gestaltet werden. Informationen hinsichtlich Abnutzungserscheinungen von Leiteinrichtungen oder auch Fahrbahnschäden und die aktuelle Fahrbahnbeschaffenheit (Verschmutzung, Glatteis, Schneelage, etc.) werden von der Fahrzeugflotte erfasst und können direkt an Straßenerhalter weitergegeben werden. Somit könnten Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gezielt geplant und durchgeführt werden. Aus Sicht der Infrastrukturbetreiber sollte versucht werden, die Automobilindustrie dahingehend zu verpflichten, sicherheitsrelevanten Informationen wie straßenbauliche Mängeln, aber auch Unfälle oder beispielsweise Glatteis umgehend, nach sensorischer Erfassung durch ein AF, an Verkehrsleitzentralen weiterzuleiten

²¹¹ Vgl. Abschnitt 5.4.6

Kommunikationsschnittstellen:

Um vollautomatisiertes Fahren zu ermöglichen, könnten, neben bereits erwähnten, Kommunikationsschnittstellen mit der Straßeninfrastruktur, wie kommunikationsfähige VLSA oder RSU zur Baustellenabsicherung, weitere infrastruktureitige Installationen erforderlich werden oder aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein. Beispielsweise werden, um automatisiertes Valet Parking zu ermöglichen, kommunikationsfähige Parkleitsysteme zum Einsatz kommen. Des Weiteren könnte es notwendig werden, gewisse Bereiche infrastruktureitig zu überwachen und bereits verarbeitete und gefilterte Informationen an AF zu leiten. Welche infrastruktureitigen Einrichtungen diesbezüglich erforderlich werden, kann zum heutigen Zeitpunkt noch nicht festgelegt werden. Wer die Kosten für derartige Installationen trägt bzw. diese verwaltet und somit für bereitgestellte Informationen haftet, wird zukünftig zu klären sein.

Digitale Infrastruktur:

Aus heutiger Sicht ist nicht zu erwarten, dass staatliche Organisationen als Betreiber digitaler Infrastruktur auftreten werden. Einige Unternehmen sind bereits seit längerem am Aufbau digitaler Infrastruktur beschäftigt und sehen darin ein umfangreiches Geschäftsfeld. Der Vorsprung dieser Unternehmen wird mittlerweile mittels staatlicher Finanzierung nicht mehr aufzuholen sein. Somit muss davon ausgegangen werden, dass Betreiber physischer Infrastruktur nicht als Betreiber digitaler Infrastruktur auftreten werden. Trotzdem sollte sichergestellt werden, dass Straßenbetreiber auf eine gewisse Art und Weise, digitale Infrastruktur beeinflussen können. Wie bereits erwähnt müssen Straßen- oder Fahrstreifen sperren zukünftig in digitalen Karten verzeichnet werden, um entsprechenden Routenplanung durchzuführen und Systemgrenzen frühzeitig zu erfassen. Des Weiteren benötigen Verkehrsleitzentralen sicherheitsrelevante Informationen, um zeitnah den Verkehrsfluss entsprechend beeinflussen zu können.

Werden aufgrund AF infrastrukturelle Richtlinien erlassen, könnten zumindest zu Beginn der Einführung diese ausschließlich für Strecken geltend gemacht werden, die tatsächlich automatisiert befahren werden dürfen. Umgekehrt formuliert: Es darf nur auf den Richtlinien entsprechenden Strecken automatisiert gefahren werden. Aus wirtschaftlicher Sicht wird es nicht sinnvoll und auch nicht möglich sein, umgehend das gesamte Straßennetz für die automatisierte Nutzung von Fahrzeugen vorzubereiten.

Wichtig wäre, dass die Kooperation von Infrastrukturbetreibern und Fahrzeugherstellern zukünftig intensiviert wird. Fahrzeughersteller werden mit voranschreitender Automatisierung vermehrt auf entsprechende Ausstattung der Infrastruktur angewiesen sein. Umgekehrt erscheint es jedoch auch nicht sinnvoll, Infrastruktur bereitzustellen, die den Anforderungen der Nutzer nicht entspricht.

8 Resümee und Ausblick

„**Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf Richtlinien der Straßeninfrastruktur**“ – der Titel dieser Masterarbeit wurde mit Absicht provokativ formuliert. Grundsätzlich würde man annehmen, dass neue Entwicklungen an bestehende und langjährig bewährte Gegebenheiten anzupassen sind und nicht gegenteilig. Sollen alle Vorteile des automatisierten Fahrens nutzbar gemacht und wichtiger noch, maximale Sicherheit im Straßenverkehr gewährleistet werden, dann scheint in diesem Fall eine Anpassung bestehender, langjährig bewährter Strukturen unumgänglich.

Zukünftige Vorteile und Möglichkeiten hinsichtlich der Organisation des Mobilitätsmarktes durch voranschreitende Automatisierung von Fahrzeugen werden in zahlreichen Formaten beworben und wurden auch zu Beginn dieser Arbeit kurz erläutert. Jedoch resultieren aus der Automatisierung der Fahrzeuge, wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, auch neue Anforderungen an die straßeninfrastrukturelle Ausstattung. Infrastrukturbetreiber werden mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Die bestehende Straßeninfrastruktur ist so aufgebaut, dass Situationen von Menschen korrekt wahrgenommen und interpretiert werden können. Teilweise nicht völlig eindeutige Situationen können aufgrund Erfahrung und logischer Schlussfolgerung bewältigt werden. Da aus heutiger Sicht nicht davon ausgegangen werden kann, dass AF mittels sensorischer Wahrnehmung und softwaregestützter Datenverarbeitung die Güte menschlicher Fähigkeiten erreichen, muss, um derzeit bestehende Sicherheit im Straßenverkehr auch weiterhin gewährleisten zu können oder diese sogar zu erhöhen, eine gewisse Anpassung der Straßeninfrastruktur erfolgen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit können drei wesentliche Schwerpunkte der infrastrukturellen Gestaltung definiert werden:

1. Qualität und Verfügbarkeit von Bodenmarkierungen
2. Homogenisierung der Gestaltung von Baustellenbereichen
3. Kommunikationsschnittstellen für VLSA

Mit voranschreitender Automatisierung, spätestens jedoch, wenn Fahrzeuge ausschließlich automatisiert betrieben werden und kein menschlicher Fahrer zur Übernahme des Steuers bereitsteht, verliert Punkt 1, die Qualität und Verfügbarkeit von Bodenmarkierungen, an Bedeutung. Bodenmarkierungen werden zu Beginn der Einführung automatisierter Fahrzeuge in erster Linie zur Eigenverortung von Fahrzeugen innerhalb eines Fahrstreifens benötigt. Soll die automatisierte Steuerung von Fahrzeuge jedoch in weitere Folge unter allen Bedingungen ermöglicht werden, muss exakte Eigenverortung, auch wenn Bodenmarkierungen vorübergehend nicht sichtbar sind (z.B. bei geschlossener Schneedecke), möglich sein. Exakte Positionsbestimmung wird anhand hochgenauer digitaler Karten, in Kombination mit physischen Landmarken, passieren.

Soll die Effizienz und Sicherheit im Straßenverkehr weiterhin erhöht werden, kann langfristig davon ausgegangen werden, dass äquivalent zum System des Schienenverkehrs, Infrastruktur und Nutzer in einer Einheit fungieren müssen. Die im Zuge dieser Arbeit interviewten Vertreter der Automobilindustrie signalisieren bereits einen starken Willen zur Zusammenarbeit. Zumindest in Österreich sollte diese jedoch noch intensiviert werden.

Um die Sicherheit im Straßenverkehr nicht zu gefährden, sollten ab Beginn der serienmäßigen Nutzung automatisierter Fahrzeuge klare Systemgrenzen im Zuge der Zulassung definiert werden. Dazu könnte es erforderlich werden, gewisse Mindeststandards für beide Seiten, Infrastruktur und Fahrzeuge, festzulegen. Dies wiederum kann nur in enger Zusammenarbeit von Automobilindustrie und

Infrastrukturbetreibern erfolgen. Die vorliegende Arbeit kann als erster Leitfaden für die Gestaltung der österreichischen Straßeninfrastruktur angesehen werden.

Neben zahlreichen bereits durchgeführten oder zurzeit in Bearbeitung befindlichen Forschungsprojekten wird es auch zukünftig notwendig sein, Forschungsprojekte mit Bezug auf AF zu forcieren und fördern.

Durch Automatisierung von Fahrzeugen können Mobilitätsdienste sowohl flexibler und effizienter organisiert als auch die allgemeine Sicherheit im Straßenverkehr erhöht werden. Das volle Potential automatisierter Systeme kann jedoch nur in enger Kopplung von Infrastruktur und Nutzern ausgeschöpft werden.

Literaturverzeichnis

Bücher, Beiträge, Berichte

Abendroth, Bettina; Bruder, Ralph (2015): Grundlagen der Fahrerassistenzsystementwicklung. Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–16.

Bartl, Steffi (2012): LIDAR-Sensorik in Automobilapplikationen. Sensorsysteme 2012. 14th Leibniz Conference Of Advanced Science. Leibniz, 2012.

Bayer, Bernward; Büse, Axel; Linhoff, Paul; Piller, Bernd; Rieth, Peter; Schmitt, Stefan et al. (2015): Aktorik für Fahrerassistenzsysteme. Elektromechanische Bremssysteme. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 579–590.

Berg, Alexander (2016): Automatisiertes Fahren und Mobilität 4.0: Integrierter Ansatz für einen besseren und sicheren Verkehr. In: *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* (4), S. 128–143.

Cacilo, Andrej; Schmidt, Sarah; Wittlinger, Philipp; Herrmann, Florian; Bauer, Wilhelm; Sawade, Oliver et al. (2015): Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen. Industriepolitische Schlussfolgerungen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Hg. v. Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. München.

Cunningham, Mitchell L.; Regan, Michael A.; Catchpole, John (2017): Registration, Licensing and CTP Insurance Issues Associated with Automated Vehicles. Research Report AP-R540-17. Hg. v. Austroads Ltd. Sydney.

Dang, Thao; Hoffmann, Christian; Stiller, Christoph (2005): Visuelle mobile Wahrnehmung durch Fusion von Disparität und Verschiebung. In: Markus Maurer und Christoph Stiller (Hg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, S. 21–42.

Darms, Michael (2015): Datenfusion und Umfeldpräsentation. Fusion umfelderfassender Sensoren. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 439–452.

Dietmayer, Klaus (2015): Prädiktion von maschineller Wahrnehmungsleistung beim automatisierten Fahren. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, S. 419–438.

Eisenberger, Iris; Gruber, Christian J.; Huber, Andreas; Lachmayer, Konrad (2016): Automatisiertes Fahren. Komplexe regulatorische Herausforderungen. In: *Zeitschrift für Verkehrsrecht* (10), S. 383–392.

- Eisenkopf, Alexander; Fricke, Hartmund; Gerike, Regine; Friedrich, Makus; Haasis, Hans-Dietrich; Knieps, Günter (2017a): Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr. Herausforderungen für die zukünftige Verkehrspolitik. Teil 1. In: *Straßenverkehrstechnik* 61 (8), S. 533–539.
- Eisenkopf, Alexander; Fricke, Hartmund; Gerike, Regine; Friedrich, Makus; Haasis, Hans-Dietrich; Knieps, Günter (2017b): Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr. Herausforderungen für die zukünftige Verkehrspolitik. Teil 2. In: *Straßenverkehrstechnik* 61 (9), S. 622–628.
- Fellendorf, Martin; Kohla, Birgit (2015): Verkehrsplanung. Grundlagen und Begriffe. TU-Graz - Institut für Straßen- und Verkehrswesen. Graz, 2015.
- Friedrich, Bernhard (2015): Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, S. 331–350.
- Frost & Sullivan (Hg.) (2016): *LiDAR: Driving the Future of Autonomous Navigation*. A Frost & Sullivan Exclusive Whitepaper For Analysis of LiDAR technology for advanced safety.
- Fuchs, Hendrik; Hofmann, Frank; Löhr, Hans; Schaaf, Gunther (2015): Datenfusion und Umfeldpräsentation. Car-2-X. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 525–540.
- Gasser, Tom M.; Arzt, Clemens; Ayoubi, Arne; Eier, Jana; Flemisch, Frank; Häcker, Dirk et al. (2012): Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. In: *Fahrzeugsicherheit* (F 83).
- Gotzig, Heinrich; Geduld, Georg (2015): Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. LIDAR-Sensorik. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 317–334.
- Gratzer, Werner; Becke, Manfred (2009): Kinematik. In: Heinz Burg und Andreas Moser (Hg.): *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation*. 2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Fachverlag, S. 89–169.
- Haberl, Michael; Tomasch, Ernst; Fellendorf, Martin (2016): *Holistic Method to evaluate Driver-Assistance-Systems during Pre-Crash Phases*. Grazer SafetyUpdate. Graz.
- Hartmann, Martin; Motamedidehkordi, Nassim; Krause, Sabine; Hoffmann, Silja; Vortisch, Peter; Busch, Fritz (2017): *Impact of Automated Vehicles on Capacity of the German Freeway Network*. Paper ID SP0792. Hg. v. ITS World Congress 2017 Montreal. Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Transport Studies, Germany; Technical University of Munich, Chair of Traffic Engineering and Control. Montreal.
- Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2017): *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Höppner, Tom; Schuster, Andreas (2017): Auswirkungen des fahrerlosen Valet Parkings auf die Verkehrsqualität in Parkbauten. In: *Straßenverkehrstechnik* 61 (9), S. 629–634.

Huggins, Rosie; Topp, Rebecca; Gray, Lachlan; Piper, Lachlan; Jensen, Ben; Isaac, Lauren et al. (2017): Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles. Hg. v. Austroads Ltd. Sydney.

Isermann, Rolf (Hg.) (2017): Fahrerassistenzsysteme 2017. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Johanning, Volker; Mildner, Roman (2015): Car IT kompakt. Das Auto der Zukunft – Vernetzt und autonom fahren. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kleine Zeitung (2016): Startschuss für autonomes Fahren in Österreich. In: *Kleine Zeitung*, 08.06.2016. Online verfügbar unter http://www.kleinezeitung.at/wirtschaft/5005552/Aktionsplan_Startschuss-fuer-autonomes-Fahren-in-Oesterreich, zuletzt geprüft am 20.10.2017.

Kleine-Besten, Thomas; Kersken, Ulrich; Pöchmüller, Werner; Schepers, Heiner; Mlasko, Torsten; Behrens, Ralph; Engelsberg, Andreas (2015): Fahrerassistenz auf Bahnführungs und Navigationsebene. Navigation und Verkehrstelematik. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1047–1080.

Knoll, Peter (2010): Sensorik für Fahrzeugrundumsicht. In: Konrad Reif (Hg.): Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme. Bosch Fachinformation Automobil. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 130–145.

Kockelman, Kara; Avery, Paul; Bansal, Prateek; Stephen, Boyles D.; Bujanovic, Pavle; Choudhary, Teja et al. (2016): Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks: A Final Report. Hg. v. University of Texas at Austin, Center for Transportation Research. University of Texas at Austin, Center for Transportation Research. Austin.

Kramer, Florian (Hg.) (2013): Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Biomechanik – Simulation – Sicherheit im Entwicklungsprozess. 4. erweiterte und korrigierte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Krause, Sabine; Motamedidehkordi, Nassim; Hoffmann, Silja; Busch, Fritz; Hartmann, Martin; Vortisch, Peter (2017): Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur. FAT-Schriftenreihe 296. Hg. v. FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik; Karlsruher Institut für Technologie, Instituts für Verkehrswesen. Berlin.

Lategahn, Henning; Stiller, Christoph (2012): Experimente zur hochpräzisen landmarkenbasierten Eigenlokalisierung in unsicherheitsbehafteten digitalen Karten. In: 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2012. Walting, S. 39–46.

Lemmer, Karsten (2016): Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft. acatech Studie. Hg. v. acatech. Berlin.

Litman, Todd (2017): Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Hg. v. Victoria Transport Policy Institut. Victoria Transport Policy Institut.

Liu, Feng (2009): Objektverfolgung durch Fusion von Radar- und Monokameradaten auf Merkmalebene für zukünftige Fahrerassistenzsysteme. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.

- Maurer, Markus; Gerdes, J. Christian; Lenz, Barbara; Winner, Hermann (Hg.) (2015): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Daimler und Benz Stiftung. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Mörbe, Matthias (2015): *Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. Fahrdynamikensensoren für FAS*. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 223–242.
- Mosquet, Xavier; Dauner, Thomas; Lang, Nikolaus; Russmann, Michael; Mei-Pochtler, Antonella; Agrawal, Rakshit; Schmiege, Florian (2015): *Revolution in the Driver's Seat. The Road to Autonomous Vehicles*. Hg. v. The Boston Consulting Group. Boston.
- Neukirchner, Ernst-Peter (2010): *Fahrzeugnavigation*. In: Konrad Reif (Hg.): *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme*. Bosch Fachinformation Automobil. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 192–203.
- Noll, Martin; Rapps, Peter (2015): *Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. Ultraschallsensorik*. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 243–258.
- Punke, Martin; Menzel, Stefan; Werthessen, Boris; Strache, Nicolaj; Höpfl, Maximilian (2015): *Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. Kamera-Hardware*. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 347–368.
- Radlmayr, Jonas; Bengler, Klaus (2015): *Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren*. FAT-Schriftenreihe 276. Hg. v. FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie. Berlin.
- Reif, Konrad (Hg.) (2010): *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme*. Bosch Fachinformation Automobil. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Reimann, Gerd; Brenner, Peter; Büring, Hendrik (2015): *Aktorik für Fahrerassistenzsysteme. Lenkstellsysteme*. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 591–618.
- Remfrey, James; Gruber, Steffen; Ocvirk, Norbert (2015): *Aktorik für Fahrerassistenzsysteme. Hydraulische Pkw-Bremssysteme*. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 555–578.
- Röhrleef, Martin; Deutsch, Volker; Ackermann, Till (2015): *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge. Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen*. Hg. v. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV). Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV). Köln.

Schindler, Andreas (2009): Neue Konzeption und erstmalige Realisierung eines aktiven Fahrwerks mit Preview-Strategie. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.

Schlag, Bernhard (2016): Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr. Offene Fragen aus Sicht der Psychologie. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* (2), S. 94–98. Online verfügbar unter https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/ressourcen/dateien/dateien/vortraege-kolloquium/Schlag_WS1617?lang=de, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Schreurs, Miranda A.; Steuwer, Sibyl D. (2015): Autonomous Driving - Political, Legal, Social, and Sustainability Dimensions. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, S. 151–173.

Sivak, Michael; Schoettle, Brandon (2015): Road Safty with Self-Driving Vehicles. General Limitations and Road Sharing with Conventional Vehicles. Hg. v. The University of Michigan, Transportation Research Institute. The University of Michigan, Transportation Research Institute. Ann Arbor, Michigan. Online verfügbar unter <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/111735>, zuletzt geprüft am 25.10.2017.

Stiller, Christoph; Bachmann, Alexander; Geiger, Andreas (2015): Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. Maschinelles Sehen. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 369–394.

Trommer, Stefan; Kolarova, Viktoriya; Fraedrich, Eva; Kröger, Lars; Kickhöfer, Benjamin; Kuhnimhof, Tobias et al. (2016): Autonomous Driving. The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour. Hg. v. Institute for Mobility Research (ifmo). German Aerospace Center (DLR), Institute of Transport Research; Humboldt-Universität zu Berlin, Department of Transport Geography. München.

Uhr, Andrea (2016): Automatisiertes Fahren. Herausforderungen für die Verkehrssicherheit. bfu-Grundlage. Hg. v. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.

van Zanten, Anton; Kost, Friedrich (2015): Fahrerassistenz auf Stabilisierungsebene. Bremsenbasierte Assistenzfunktionen. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 723–754.

VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. (Hg.) (2015): *Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*. Berlin.

Vogelpohl, Tobias; Vollrath, Mark (2016): Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. Unfallforschung kompakt. Hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

Vogelpohl, Tobias; Vollrath, Mark; Kühn, Matthias; Hummel, Thomas; Gehlert, Tina (2016): Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung. Forschungsbericht Nr. 39. Hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

Winner, Hermann (2015): Sensorik für Fahrerassistenzsysteme. Radarsensorik. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli, Felix Lotz und Christina Singer (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 259–316.

Online-Literatur

ALP.Lab GmbH (2018): ALP.Lab GmbH – Austrian Light Vehicle Proving Region for Automated Driving. Online verfügbar unter <http://www.alp-lab.at/>, zuletzt geprüft am 19.04.2018.

Amadeo, Ron (2017): Google's Waymo invests in LIDAR technology, cuts costs by 90 percent. Hg. v. Ars Technica. Online verfügbar unter <https://arstechnica.com/cars/2017/01/googles-waymo-invests-in-lidar-technology-cuts-costs-by-90-percent/>, zuletzt geprüft am 07.11.2017.

Berylls Strategy Advisors GmbH (Hg.) (2014): Automatisiertes Fahren - "The next big thing!?". Online verfügbar unter http://www.berylls.com/media/informationen/downloads/presse/141217_BeryllsPM_AutomatisiertesFahren.pdf, zuletzt geprüft am 10.11.2017.

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung (Hg.): Reaktionszeit im Strassenverkehr. Online verfügbar unter https://www.bfu.ch/de/Documents/01_Ratgeber/01_Ratgeber-Unfallverhuetung/Strassenverkehr/2008-05-27_stellungnahme-reaktionszeit_bfu.pdf, zuletzt geprüft am 10.11.2017.

Branman, Miles (2016): No steering wheel, no pedals, no driver: Ford's autonomous car is coming in 2021. Hg. v. Digital Trends. Online verfügbar unter <https://www.digitaltrends.com/business/ford-mobility-fully-autonomous-ridesharing-car-2021/>, zuletzt geprüft am 28.10.2017.

bussgeldkatalog.org (Hg.): Reaktionszeit: Rechtzeitig gebremst? Verband für bürgernahe Verkehrspolitik e.V. Online verfügbar unter <https://www.bussgeldkatalog.org/reaktionszeit/>, zuletzt geprüft am 10.11.2017.

Daimler AG (Hg.) (2016): Aktiver Brems-Assistent. Online verfügbar unter <http://techcenter.mercedes-benz.com/de/active-braking-assist-with-cross-traffic-function/detail.html#media-section>, zuletzt geprüft am 08.11.2017.

Ebberg, Jörn (2017): Bosch und Daimler zeigen fahrerloses Parken im realen Verkehr. Weltpremiere im Parkhaus des Mercedes-Benz Museums. Hg. v. Robert Bosch GmbH. Online verfügbar unter <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-und-daimler-zeigen-fahrerloses-parken-im-realen-verkehr-116096.html>, zuletzt geprüft am 08.11.2017.

Golson, Jordan (2016): Volvo autonomous car engineer calls Tesla's Autopilot a 'wannabe' - The Verge. Hg. v. The Verge. Online verfügbar unter <https://www.theverge.com/2016/4/27/11518826/volvo-tesla-autopilot-autonomous-self-driving-car>, zuletzt geprüft am 28.10.2017.

Leopold, Stefan (2018): Autonomes Fahren: USA führen im fahrerlosen Wettrennen. Hg. v. STANDARD Verlagsgesellschaft m.b.H. Online verfügbar unter <https://derstandard.at/2000075142006/Autonomes-Fahren-USA-fuehrt-im-fahrerlosen-Wettrennen>, zuletzt geprüft am 12.04.2018.

Lindholmen Science Park (Hg.) (2017): DriveMe. Online verfügbar unter <https://www.testsitesweden.com/en/projects-1/driveme>, zuletzt geprüft am 17.04.2018.

LTE-Anbieter.info (Hg.) (2017): LTE in Österreich – Ausbau, Tarife und Verfügbarkeit. Alle Details für 4G-Internet in Österreich. Online verfügbar unter <http://www.lte-anbieter.info/laender/lte-in-oesterreich.php>, zuletzt geprüft am 08.11.2017.

National Conference of State Legislatures (2018): Autonomous Vehicles. Self-Driving Vehicles Enacted Legislation. Hg. v. National Conference of State Legislatures. Online verfügbar unter <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>, zuletzt geprüft am 12.04.2018.

NHTSA National Highway Traffic Safety Administration (2013): Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. Hg. v. NHTSA National Highway Traffic Safety Administration. Online verfügbar unter https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf., zuletzt geprüft am 27.10.2017.

SAE International (2016): Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Hg. v. SAE International. Online verfügbar unter https://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2017.

Stroh, Iris (2014): Bosch: Radar - ein großer Wachstumsmarkt. Hg. v. WEKA FACHMEDIEN GmbH. Online verfügbar unter <http://www.elektroniknet.de/markt-technik/automotive/radar-ein-grosser-wachstumsmarkt-113386.html>, zuletzt geprüft am 09.11.2017.

Voigt, Kai-Ingo (2017): Automatisierung. Hg. v. Gabler Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72569/automatisierung-v7.html>, zuletzt geprüft am 20.10.2017.

Volvo Car Austria (Hg.) (2011): Volvo Notbremsassistent gewinnt ADAC-Vergleichstest. Online verfügbar unter <https://www.media.volvocars.com/at/de-at/media/pressreleases/38073>, zuletzt geprüft am 8.1.2017.

waymo.com (Hg.): Waymo Journey. Online verfügbar unter <https://waymo.com/journey/>, zuletzt geprüft am 08.11.2017.

Wolff, Christian: Grundlagen der Radartechnik. Winkelauflösungsvermögen. Online verfügbar unter <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Azimutauf%C3%B6sung.de.html>, zuletzt geprüft am 29.05.2018.

Richtlinien

FSV (Oktober 1980): RVS 05.02.22 Leitpflöcke – Anordnung und Aufstellung.

FSV (Oktober 1998): RVS 05.04.33 Verkehrslichtsignalanlagen – Ausführung, Abnahme, Betrieb, Instandhaltung.

FSV (Jänner 2001a): RVS 03.04.12 Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen.

FSV (Jänner 2001b): RVS 05.04.21 Verkehrslichtsignalanlagen – Verkehrsleitsysteme.

FSV (März 2001): RVS 03.05.13 Gemischte und planfreie Knoten.

FSV (Juni 2001): RVS 03.03.21 Trassierung – Räumliche Linienführung.

FSV (Juni 2002): RVS 05.02.14 Leittafeln.

FSV (November 2003): RVS 05.05.43 Baustellenabsicherung – Straßen mit zwei oder mehr Fahrstreifen je Fahrtrichtung.

- FSV (Mai 2004): RVS 05.02.41 Schneestangen – Ausbildung und Anforderungen.
- FSV (März 2007a): RVS 05.03.12 Auswahl von Bodenmarkierungen.
- FSV (März 2007b): RVS 03.05.12 Plangleiche Knoten – Kreuzungen, T-Kreuzungen.
- FSV (Jänner 2008): RVS 09.04.11 Erhaltung und Betrieb.
- FSV (Mai 2008): RVS 03.07.11 Organisation und Anzahl der Stellplätze für den Individualverkehr.
- FSV (September 2008): RVS 05.01.12 Ereignisse und Meldungen in kooperativen Verkehrsmanagementzentralen.
- FSV (Juli 2009a): RVS 05.03.11 Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen.
- FSV (Juli 2009b): RVS 05.02.12 Beschilderung und Wegweisung im untergeordneten Straßennetz.
- FSV (Juli 2009c): RVS 05.02.11 Verkehrszeichen und Ankündigungen – Anforderungen und Aufstellung.
- FSV (März 2010): RVS 06.01.41 Brücken – Ziel- und Aufgabenbeschreibung.
- FSV (Oktober 2010): RVS 03.05.14 Plangleiche Knoten – Kreisverkehre.
- FSV (April 2011): RVS 03.03.81 Ländliche Straßen und Güterwege.
- FSV (Mai 2012a): RVS 05.05.41 Baustellenabsicherung – Gemeinsame Bestimmungen für alle Straßen.
- FSV (Mai 2012b): RVS 05.05.42 Baustellenabsicherung – Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen.
- FSV (Juli 2012): RVS 03.01.13 Kategorisierung und Anforderungsprofile von Straßen.
- FSV (August 2012): 03.01.11 Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Straßen.
- FSV (November 2012): RVS 13.01.16 Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken.
- FSV (September 2013): RVS 06.02.41 Brücken und Überbauungen – Ziel- und Aufgabenbeschreibung.
- FSV (Oktober 2013): RVS 12.01.12 Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen.
- FSV (November 2013): RVS 05.02.13 Beschilderung und Wegweisung auf Autobahnen.
- FSV (Februar 2014): RVS 09.02.41 Beleuchtung.
- FSV (August 2014a): RVS 03.03.23 Linienführung und Trassierung.
- FSV (August 2014b): RVS 03.07.12 Parkplätze und Haltebuchten an Richtungsfahrbahnen.
- FSV (Februar 2015a): 02.02.37 Geschwindigkeitsbeschränkungen.
- FSV (Februar 2015b): RVS 08.23.01 Verkehrszeichen.
- FSV (April 2015): RVS 09.01.25 Vorportalbereich.
- FSV (Dezember 2015): RVS 05.02.15 Verkehrszeichenkatalog.
- FSV (Februar 2016): RVS 05.05.44 Baustellenabsicherung – Straßen mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung.
- FSV (Juni 2016): RVS 03.08.63 Oberbaubemessung.

FSV (November 2016): RVS 08.31.02 Temporäre Verkehrszeichen.

FSV (Juli 2017): RVS 03.03.82 Spurwege.

FSV (November 2017): RVS 05.02.31 Rückhaltesysteme – Anforderungen und Aufstellung.

Gesetze / Verordnungen

Bundeskanzleramt (1960): Straßenverkehrsordnung 1960. StVO 1960. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011336>, zuletzt geprüft am 30.11.2017.

Bundeskanzleramt (2002): Bodenmarkierungsverordnung. BMVO. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10012574>, zuletzt geprüft am 30.11.2017.

Bundeskanzleramt (2017): Straßenverkehrszeichenverordnung 1998. StVZVO 1998. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10012793>, zuletzt geprüft am 29.11.2017.

Bundeskanzleramt (2018a): Übereinkommen über den Straßenverkehr. Wiener Übereinkommen, vom 16.01.2018. Fundstelle: RIS.

Bundeskanzleramt (2018b): Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren. AutomatFahrV, vom Fassung vom 17.04.2018. Fundstelle: Rechtsinformationssystem des Bundes. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20009740>, zuletzt geprüft am 17.04.2018.

Bundesministerium Deutschland (2017): Straßenverkehrsgesetz § 1a. § 1a StVG. Online verfügbar unter <https://dejure.org/gesetze/StVG/1a.html>, zuletzt geprüft am 18.04.2018.

Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) (Januar 2006): Regelung Nr. 79 - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage, vom Revision 2. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:137:0025:0051:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 11.04.2018.

Anhang

<p style="text-align: center;">Institut für Straßen- und Verkehrswesen</p> <p>An Teilnehmer der Expertenbefragung</p> <p><i>Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf Richtlinien der Straßeninfrastruktur,</i></p> <p>Vorabinformation</p>	<div style="text-align: right;">  TU Graz Graz University of Technology </div> <p>Vorstand Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf</p> <p>Rechbauerstraße 12 A-8010 Graz</p> <p>Tel.: +43 (0) 316 873-6220 martin.fellendorf@tugraz.at http://www.lsv.tugraz.at</p> <p>Diplomand: Michael Wimmesberger Mobile: 0043 677 61251309 m.wimmesberger@student.tugraz.at</p> <p>DVR: 008 1833 UID: ATU 574 77 929</p>
--	--

Graz, am 31.01.2018

Leitfaden für telefonische oder persönliche Interviews

Im Zuge einer Masterarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Graz sollen Gestaltungsansätze für die Straßeninfrastruktur im Hinblick auf automatisiertes Fahren erarbeitet werden. Die Arbeit erfolgt in enger Abstimmung mit dem Arbeitsausschuss „Automatisiertes Fahren“ der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV, Arbeitsausschuss GV11). Es ist zu klären, welche Straßeninfrastruktur benötigt wird, um einen reibungslosen Ablauf des Verkehrs mittels automatisierter Fahrzeuge gewährleisten zu können.

Anhand der Ergebnisse dieser Expertenbefragung soll die Relevanz bestehender österreichischer Straßenbau Richtlinien (RVS) auf automatisiertes Fahren geprüft und möglicher Änderungsbedarf aufgezeigt werden. Dabei sollen im Detail die Themenbereiche Bodenmarkierungen, Leiteinrichtungen, Straßenverkehrszeichen und Anforderungen an die Trassierung bearbeitet werden. Des Weiteren sollen Anforderungen an Ingenieurbauwerke der Straßeninfrastruktur, im Speziellen die Anforderungen an Tunnelgestaltung, untersucht werden. Es soll geklärt werden, welche Straßeninfrastruktur benötigt wird, um einen reibungslosen Ablauf des Verkehrs mittels automatisierter Fahrzeuge gewährleisten zu können.

Dazu erfragt der Diplomand Herr Michael Wimmesberger Anfang 2018 ausgewählte Personen der Automobilindustrie und Automobilclubs. Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne unter oben genannten Kontaktdaten zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

1 Hinweise

Das Interview enthält 23 Fragen, die im Gespräch je nach Interessenlage angepasst werden. Es wird mit einer Interviewlänge von ca. 30 Minuten gerechnet. Die Auflistung der Fragen dient vorab als Orientierung. Falls Sie beim ersten Lesen einige Fragestellungen im Vorhinein ausschließen wollen, teilen Sie dies bitte Herrn Wimmesberger bei Beginn des Interviews mit.

Anhand der Ergebnisse dieser Expertenbefragung wird versucht, infrastrukturelle Maßnahmen abzuleiten. Da aus Sicht der Infrastruktur die Umsetzung von längerfristigen Maßnahmen anzustreben ist, sind die Fragestellungen ausschließlich auf vollautomatisierte oder fahrerlose Fahrzeuge¹ bezogen. Eine infrastrukturelle Anpassung für den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen der Stufe 3 wird aufgrund der angenommenen Kurzlebigkeit als nicht sinnvoll erachtet.

Rechtliche Einschränkungen sollen bei dieser Befragung nicht miteinbezogen werden.

2 Fragestellungen

1. Kennen und nutzen Sie straßenbaurechtliche Normen? (StVO, RVS, RAA, RAL, RAST²)
2. Werden straßenbaurechtliche Normen in die Entwicklung von automatisierten Systemen einbezogen?
3. Ist zu erwarten, dass vollautomatisiertes Fahren mit bestehender Infrastruktur umsetzbar ist, oder sollte eine Weiterentwicklung der Infrastruktur angestrebt werden?
4. Ist zu erwarten, dass für den Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen spezielle Einrichtungen seitens der Infrastruktur benötigt werden?
5. Stellen straßenbauliche Leiteinrichtungen (Bodenmarkierungen, Verkehrszeichen, Lichtsignalanlagen Leitpföcke, Fahrzeugrückhaltesysteme) eine Grundvoraussetzung für das einwandfreie Funktionieren von hochautomatisierten Fahrzeugen dar? – Wenn Ja, welche? (Randlinien, Mittellinien, Verbotsschilder, etc.)

¹ Automatisierungsstufe 4 und 5 nach der Kategorisierung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) – siehe **Abbildung 1**

² StVO – Straßenverkehrsordnung; RVS – Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (A); RAA – Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (D); RAL – Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (D); RAST – Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (D)

6. Welche Mindestanforderungen werden an die Ausführung von Leiteinrichtungen (Bodenmarkierungen, Verkehrszeichen) gestellt (Farbe, Sichtbarkeit, Beleuchtung, Wartung, etc.), um eine eindeutige Detektion mittels on-board Sensorik zu ermöglichen?
7. Sollte, um mögliche Erfassungskegel von AF mit infrastrukturseitigen Installationen abzugleichen, ein maximaler Installationsraum festgelegt werden?
8. Ist die Erfassungsgenauigkeit der Umfeldsensorik von AF ausreichend, um geschwindigkeitsrelevante Informationen rein über Bodenmarkierungen zu erfassen?
9. Welche Relevanz wird für den Einsatz von AF der Stufe 4 oder 5 in hochpräzisen und aktuellen digitalen Karten (HD-Maps) gesehen?
10. Kann durch die Verwendung von HD-Maps gänzlich auf straßenbauliche Leiteinrichtungen verzichtet werden?
11. Welche Aufgaben müssten infrastrukturseitig übernommen werden, um den Einsatz von HD-Maps zu ermöglichen? – Vermessung von Fixpunkten?
12. Wird V2I als Voraussetzung für den Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen angesehen?
13. Speziell auf Autobahnen: Kann bei gegebenen Sichtweiten und einer Geschwindigkeit von 130 km/h ein Fahren auf Sicht nicht immer eingehalten werden. Wie verhalten sich AF in derartigen Situationen?
14. Einige Straßenzüge, speziell in ländlichen Gebieten oder im innerstädtischen Bereich weichen von straßenbaulichen Vorgaben ab. Müssen derartige Straßenzüge in digitalen Karten verzeichnet werden oder ist ein Einsatz von AF auch ohne konkrete Verzeichnung möglich?
15. Zu Beginn der Einführung von hochautomatisierten Fahrzeugen ist zu erwarten, dass der Einsatz auf gewisse Bereiche (Autobahnbetrieb) beschränkt ist. Bei Erreichen der Systemgrenzen muss ein sicherer Zustand (Stillstand) herbeigeführt werden können. Müssen an entsprechenden Stellen Haltebuchten vorgesehen werden?
16. Sollte, um Systemgrenzen definieren zu können, eine flächendeckende Kategorisierung von Straßenabschnitten angestrebt werden?

17. Werden durch Platooning höhere Belastungen für den Straßenoberbau oder Ingenieurbauwerke (Brücken und ähnliche) erwartet?
18. Kann durch den Einsatz unterschiedlicher simultan eingesetzter Sensorsysteme die Erfassung der direkten Fahrzeugumgebung ohne unerwünschte Ausfälle im Tunnelbereich (speziell bei Ausfahrten) mit derzeitiger Beleuchtung umgesetzt werden?
19. Ist der Einsatz von AF grundsätzlich auch in Baustellen Bereichen denkbar (auch bei fehlenden oder falsch liegenden Bodenmarkierungen)? Ab Wann?
20. Ist die derzeitige Absicherung von Baustellen für den Einsatz von AF ausreichend?
21. Sollten Baustellen in digitalen Karten verzeichnet werden? Wenn ja, ab welcher Baustellendauer?
22. Sind derzeitige Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen für den Betrieb von AF ausreichend oder sollten strengere Vorgaben eingeführt werden?
23. Wann ist der Einsatz von AF (Stufe 4 oder 5 / PKW, LKW) zu erwarten? (Autobahn und Schnellstraße, innerstädtisch, ländliche Gebiete)

3 Abbildungen

Abbildung 1: Automatisierungsgrade des automatisierten Fahrens³

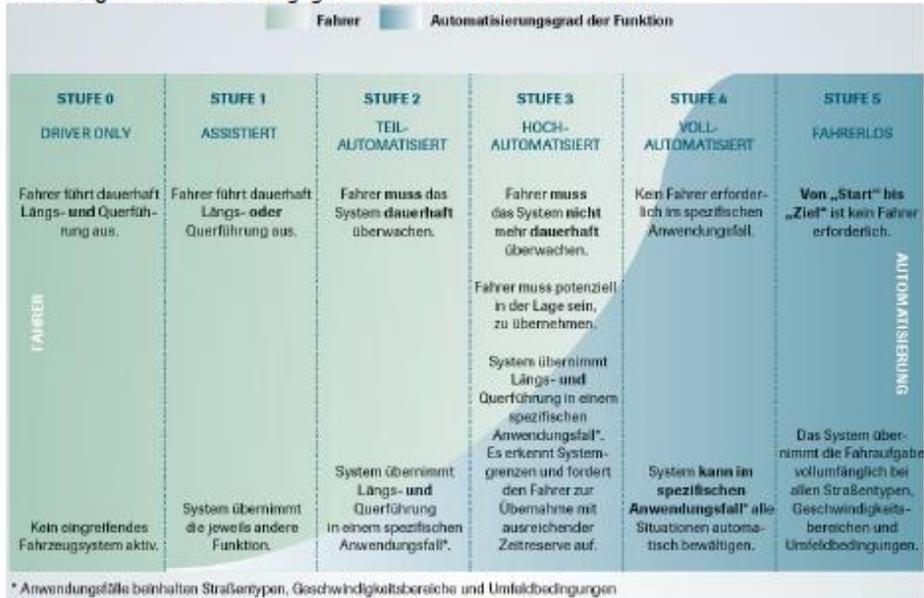


Abbildung 2: Landstraße [TU Graz, ISV]



Abbildung 3: Autobahn [TU Graz, ISV]



³ VDA - Verband der Automobilindustrie e. V. (Hg.) (2015): Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Berlin.

Abbildung 4: Bankett sanierungsbedürftig [Wimmerberger]



Abbildung 5: Zebrastreifen Sichtbarkeit [Wimmerberger]



Abbildung 6: VZ – Bodenmarkierung [Wimmerberger]



Abbildung 7: Bodenmarkierungen verblasst [Wimmerberger]

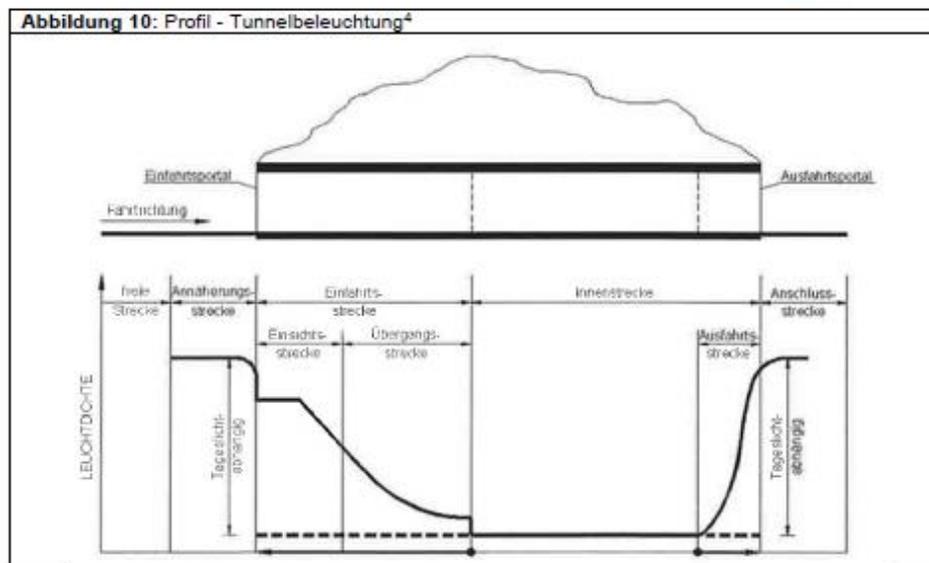


Abbildung 8: Baustellenbereich 1 [TU Graz, ISV]



Abbildung 9: Baustellenbereich 2 [TU Graz, ISV]



Abbildung 10: Profil - Tunnelbeleuchtung⁴⁴ RVS 09.02.41, Februar 2014: Beleuchtung.