



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