

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht über die Ergebnisse der Evaluation der Regelungen zum automatisierten Fahren

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	2
2. Wesentliche Voraussetzungen	2
3. Sachstand	3
3.1 Erfahrungen auf nationaler Ebene.....	3
3.2 Erfahrungen auf internationaler Ebene	3
3.3 Arbeiten zur Erstellung international harmonisierter technischer Vorschriften für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen	5
3.3.1 Erarbeitung von generischen Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen auf internationaler Ebene.....	5
3.3.2 Speziell: Erarbeitung einer UN-Regelung für einen Stau-Chauffeur	7
3.3.3 Erkenntnisse aus Forschungsprojekten	9
4. Ausblick	16
Anhang	18
Quellenverzeichnis	24

1. Einführung

Angesichts sich abzeichnender Weiterentwicklungen von automatisierten Fahrfunktionen, die es technisch möglich machen, dass während des Einsatzes dieser automatisierten Fahrfunktionen die fahrzeugführende Person dieses mit derartigen Fahrfunktionen ausgerüsteten Kraftfahrzeugs sich von der Fahrzeugführung und vom Verkehrsgeschehen abwenden könnte, wurde die Frage nach der rechtlichen Zulässigkeit eines derart technisch möglichen Verhaltens gestellt.

Das Achte Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes schaffte sowohl für Verbraucherinnen und Verbraucher als auch für die Automobilindustrie insofern Rechtssicherheit: Das Änderungsgesetz regelt, unter welchen Voraussetzungen, insbesondere technischen, und unter welchen Bedingungen sich die fahrzeugführende Person eines Kraftfahrzeuges mit derartigen hoch- (Level 3) und voll- (Level 4) automatisierten Fahrfunktionen abwenden darf, ohne sich des Vorwurfs fahrlässigen Handelns ausgesetzt zu sehen und dabei Gefahr zu laufen, bei einem schädigendem Ereignis während der automatisierten Phase, gegebenenfalls zur Verantwortung gezogen werden zu können.

Mit den gesetzlich vorgegebenen Voraussetzungen und Bedingungen für ein Sich-abwendendürfen während des Einsatzes der automatisierten Fahrfunktion hat sich der Gesetzgeber auch abgegrenzt von bereits auf dem Markt befindlichen Assistenzsystemen. Fahrerassistenzsysteme erfüllen die normierten, insb. technischen Voraussetzungen für ein Abwenden nicht. Damit kann ein Abwenden von der Fahrzeugführung und dem Verkehrsgeschehen mit Kraftfahrzeugen, die nur über Fahrerassistenzsysteme verfügen, weiterhin als fahrlässiges Handeln gewertet werden.

2. Wesentliche Voraussetzungen

Zentrale neue Regelungen des Achten Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG, 2017) sind die §§ 1a und 1b des Straßenverkehrsgesetzes (StVG).

Während § 1a StVG die Voraussetzungen für die rechtssichere Nutzung der technischen Möglichkeiten automatisierter Fahrfunktionen regelt, gibt § 1b StVG die Bedingungen für ein erlaubtes Abwenden vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung vor.

a. Abwenden vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung unter Einhaltung von Bedingungen

Beim Abwenden muss die fahrzeugführende Person wahrnehmungsbereit bleiben, um die Fahrzeugsteuerung unverzüglich wieder übernehmen zu können, wenn sie durch das automatisierte System dazu aufgefordert wird oder wenn sie erkennt oder aufgrund offensichtlicher Umstände erkennen muss, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung der automatisierten Fahrfunktionen nicht mehr vorliegen.

Die Einhaltung dieser Bedingungen durch die fahrzeugführende Person ist in jedem Einzelfall zu beurteilen. Zum Beispiel bedeutet eine „unverzügliche“ Übernahme der Fahrzeugsteuerung, dass die fahrzeugführende Person „ohne schuldhaftes Zögern“ reagieren muss.

b. Wesentliche Voraussetzungen für ein Abwenden

Um die Regelung des Abwendendürfens nutzen zu können, sind sowohl hohe technische Anforderungen als auch weitere Vorgaben zu erfüllen.

aa. Technische Voraussetzungen

- So muss zum Beispiel das automatisierte System gemäß § 1a Absatz 2 Satz 1 Nummer 4 StVG in der Lage sein, während der hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeugsteuerung (Level 3 und Level 4) den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften zu entsprechen. Diese Regelung ist eine Konsequenz daraus, dass hoch- oder vollautomatisierte Fahrfunktionen als solche technischen Systeme definiert werden, die in der Lage sind, während der automatisierten Phase die Fahrzeugsteuerung zu übernehmen und einer Überwachung durch die fahrzeugführende Person nicht bedürfen.

- Weitere technische Voraussetzungen:

Vorhandensein von hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktionen, also eine technische Ausrüstung, die

- zur Bewältigung der Fahraufgabe (einschließlich Längs- und Querführung) das jeweilige Kraftfahrzeug nach Aktivierung steuern kann, aber jederzeit durch die fahrzeugführende Person übersteuerbar oder deaktivierbar ist,
- das Erfordernis der eigenhändigen Fahrzeugsteuerung durch die fahrzeugführende Person erkennen und dieses ihr mit ausreichender Zeitreserve optisch, akustisch, taktil oder sonst wahrnehmbar anzeigen kann.

bb. Weitere Voraussetzungen

- Die Fahrfunktionen müssen in internationalen in Deutschland anzuwendenden technischen Vorschriften beschrieben sein bzw. es muss eine Ausnahmegenehmigung nach der EU-Rahmenrichtlinie über die Typgenehmigung vorliegen.
- Hersteller müssen in der Systembeschreibung verbindlich erklären, dass das Fahrzeug die gesetzlich vorgegebenen Anforderungen an die automatisierten Fahrfunktionen erfüllt.

Es liegt in der Hand der Hersteller von Kraftfahrzeugen, insbesondere die Voraussetzungen technischer Art gemäß § 1a StVG zu realisieren.

3. Sachstand

3.1 Erfahrungen auf nationaler Ebene

Derzeit sind noch keine Kraftfahrzeuge mit gemäß § 1a StVG automatisierten Fahrfunktionen in Deutschland zugelassen worden. Anträge auf Erteilung von Typgenehmigungen für Fahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierten (Level 3/Level 4) Fahrfunktionen wurden nach Kenntnis der Bundesregierung bislang nicht gestellt.

Ein Grund könnte darin liegen, dass die bisher erste automatisierte Fahrfunktion (ALKS – Automated Lane Keeping System) für den Anwendungsfall Autobahn, hier der Einfachheit halber als Stau-Chauffeur¹ bezeichnet, erst Mitte 2020 final in internationalen, in Deutschland anzuwendenden technischen Vorschriften beschrieben wurde. Die Vorschrift trat erst mit Ablauf einer sechsmonatigen Frist nach Notifizierung am 22. Januar 2021 in Kraft. Auch wurde bislang die zweite Möglichkeit der Erlangung einer Typgenehmigung, nämlich eine Ausnahmegenehmigung nach der EU-Rahmenrichtlinie über die Typgenehmigung für ein automatisiertes System im Sinne des Gesetzes, bis zum jetzigen Zeitpunkt nichtwahrgenommen.

Die Ursachen können darin liegen, dass es einen hohen, u.a. auch zeitlichen Aufwand durch die Fahrzeugindustrie darstellt, die für das automatisierte Fahren notwendige technische Reife und die fortlaufenden Diskussionen zu den technischen Anforderungen an diese Systeme umzusetzen.

3.2 Erfahrungen auf internationaler Ebene

Japan

Die Aktivitäten der japanischen Regierung zur Einführung des automatisierten/autonomen Fahrens in Japan werden vom „Autonomous Driving Strategic Headquarters“ koordiniert, das beim Ministerium für Land, Infrastruktur, Verkehr und Tourismus (MLIT) angesiedelt ist. Im Dezember 2018 wurde ein Strategiepapier veröffentlicht, das drei Maßnahmenbereiche definiert (MLIT, 2019): Entwicklung des Umfelds zur Realisierung autonomen Fahrens, Förderung der Entwicklung und Einführung autonomer Fahrzeugtechnologien, Durchführung von Versuchen und Einbindung der Öffentlichkeit.

Mit den ab April 2020 in Kraft getretenen Änderungen zum Straßenfahrzeug-Gesetz (Road Transportation Vehicle Act, RTVA) und zum Straßenverkehrs-Gesetz (Road Traffic Act, RTA) wurde die Zulassung automatisierter Fahrzeuge der Automatisierungsstufe Level 3 für die Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr Japans ermöglicht. Die in der RTVA festgelegten technischen Spezifikation für Level-3-Fahrzeuge entsprechen im

¹ ALKS ist in der Funktionsweise nicht zwingend an eine Stausituation gebunden.

Wesentlichen den Typgenehmigungskriterien, die durch die UNECE WP.29 im Juni 2020 angenommen wurden. In den Ergänzungen des RTA sind u. a. Auflagen zur Speicherung von Betriebsparametern und die Überwachung der Einhaltung der bestimmungsgemäßen Verwendung enthalten (Nepaulsingh et al., 2020).

Level-4-Fahrzeuge sind im Rahmen der Änderungen des RTA im öffentlichen Straßenverkehr bislang nur für Tests zugelassen und benötigen zudem eine polizeiliche Sondergenehmigung. Leitlinien für den Erhalt der Sondergenehmigung wurden im September 2019 veröffentlicht (Nepaulsingh et al., 2020).

Das MLIT hat dem japanischen Fahrzeughersteller Honda Motor Co. die Typzulassung für einen Pkw mit Level-3-Fahrfunktion (Staupilot) erteilt (Prawitz et al., 2020; The Japantimes, 2020). Der Hersteller kündigte die Markteinführung des Level-3-Pkws für März 2021 an.

USA

In 2016 starteten USDOT (U.S. Department of Transportation) und NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) das Programm „Federal Automated Vehicle Policy“, das die Einführung automatisierter Fahrzeuge der SAE Level 3 bis 5 in den USA begleiten soll.

Basierend auf diesem Programm wurden bisher eine Reihe von Strategiepapieren und nicht-verpflichtenden Leitlinien veröffentlicht, die Sicherheitsaspekte automatisierter Fahrzeuge in den Vordergrund stellen: So betont eine im Jahre 2016 veröffentlichte Leitlinie zur IT-Sicherheit von modernen Fahrzeugen die Bedeutung der Abwehr von Cyber-Angriffen auf automatisierte Fahrsysteme und gibt Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen (NHTSA, 2016). AV 2.0 (NHTSA, 2017) richtet sich an Fahrzeughersteller, Zulieferer, Funktionsentwickler und die Bundesstaaten. Das Papier enthält Empfehlungen zur Bewertung der Verkehrssicherheit und Beispiele für die Gesetzgebung auf Ebene der Bundesstaaten. In AV 3.0 (USDOT, 2018) werden Leitlinien für die Einführung automatisierter Fahrzeuge in allen Bereichen des Land- und Seeverkehrs sowie Strategien der Regierung gegen Einführungshemmnisse beschrieben. Mit AV 4.0 (NSTC & USDOT, 2020) hat die U.S.-Regierung zehn Prinzipien vorgestellt, die eine einheitliche Vorgehensweise der beteiligten Bundesbehörden im Hinblick auf das automatisierte Fahren sicherstellen sollen und die dazu benötigten Ressourcen bei Behördenbeteiligung, Forschung und Investments detailliert.

Mit dem Ziel, die Transparenz für die Öffentlichkeit zu fördern und die Öffentlichkeit verstärkt einzubinden, wurde Mitte 2020 die Initiative AV TEST (Automated Vehicle Transparency and Engagement for Safe Testing) gestartet. Die Initiative dient dem freiwilligen Austausch von Informationen über die Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen und die laufenden Tests im öffentlichen Straßenverkehr. Auf der mittlerweile installierten Online-Plattform werden u. a. Herstellerinformationen, Forschungserkenntnisse und behördliche Informationen zu Betriebsgenehmigungen der Fahrzeuge, Notfallplänen und zur Gesetzgebung veröffentlicht (NHTSA, 2020).

Seit 2016 wurden lt. NHTSA bisher über 87 befristete Ausnahmegenehmigungen für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen erteilt, die zu Test- und Demonstrationszwecken in über 80 verschiedenen Projekten in 20 US-Staaten eingesetzt wurden. Anfang 2020 erhielt ein Hersteller die befristete Ausnahmegenehmigung für fahrerlose Lieferroboter mit geringer Fahrgeschwindigkeit; Daten zum Betrieb der Fahrzeuge müssen an die NHTSA berichtet werden (Owens, 2020).

Zum Stand der Markverfügbarkeit von automatisierten Fahrzeugen wurde Mitte 2020 von NHTSA darauf hingewiesen, dass vollständig selbstfahrende Fahrzeuge bislang noch nicht am US-Markt eingeführt wurden. Alle automatisierten Fahrzeuge, die käuflich erworben werden können, erfordern einen aktiven, aufmerksamen und vollständig eingebundenen Fahrer, der jederzeit eingreifen kann (Owens, 2020).

In den USA gibt es Pilotprojekte, wie beispielsweise die der Firmen „Waymo“ oder „Uber“, bei denen in einem beschränkten Anwendungsbereich fahrerlose Taxen oder Fahrdienste betrieben werden können. Bei den Fahrzeugen handelt es sich jedoch um keine Serienfahrzeuge, sondern Prototypenfahrzeuge mit spezieller Sensorausstattung, die damit automatisiert im Pilotbetrieb fahren dürfen. Zudem wird regelmäßig eine Person als Sicherheitsfahrerin oder Sicherheitsfahrer auf dem Fahrersitz eingesetzt, da es nach Versuchen auch ohne einen solchen Sicherheitsfahrers schon mehrere Zwischenfälle gegeben hat. Trotz des Einsatzes menschlicher Sicherheitspersonen konnten Unfälle aufgrund existierender technischer Probleme nicht vollständig verhindert werden.

Singapur

Singapur strebt eine Vorreiterrolle beim automatisierten und autonomen Fahren an und beabsichtigt, ab 2022 einen ausgeweiteten Pilotbetrieb in Industriegebieten und einen Regelbetrieb autonomer Busse (mit Sicherheitsfahrer) einzuführen. Hierfür wurde 2018 ein Testzentrum (CETRAN – Centre of Excellence for Testing and Research of Autonomous Vehicles) in einer Partnerschaft mit dem TÜV Süd und der Nanyang Technology University (NTU Singapore) eröffnet, indem unter anderem neben innerstädtischen Verkehrssituationen auch extreme Umweltbedingungen wie Starkregen für die Sensoren getestet werden können. Zusätzlich gibt es in Singapur seit 2014 ebenfalls Pilotprojekte beispielsweise zu autonomen Shuttles und Bussen verschiedener Fahrzeughersteller und Forschungseinrichtungen im öffentlichen Straßenverkehr.

Südkorea

Südkorea hat 2018 mit „K-City“ ebenfalls ein Testgelände für die Entwicklung und Prüfung für das Vernetzte und Autonome Fahren errichtet, das neben innerstädtischen Verkehrsszenarien mit Häuserfassaden, Szenarien mit Mautstationen auf Schnellstraßen oder Autobahnen und 5G-Netzwerk weiter ausgebaut wird.

3.3 Arbeiten zur Erstellung international harmonisierter technischer Vorschriften für die Typp Genehmigung von Kraftfahrzeugen

3.3.1 Erarbeitung von generischen Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen auf internationaler Ebene

3.3.1.1 Fahrzeugtechnische Anforderungen an Kraftfahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen

Fahrzeugtechnische Vorschriften können in der EU nur dann national festgelegt werden, wenn es für eine Fahrzeugkategorie keine abschließenden Regelungen auf Ebene der Europäischen Union gibt. Da zweispurige Kraftfahrzeuge und deren Anhänger in der EU durch die Verordnung (EU) Nr. 858/2018 geregelt sind, besteht hier kein nationaler Handlungsspielraum (Verordnung (EU) 858/2018).

Die Europäische Kommission, vertreten durch die Generaldirektion für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum sowie kleine und mittlere Unternehmen (Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and small businesses – DG GROW), die für die Verordnung zuständig ist, verweist dort und in der Verordnung (EU) 2144/2019 über die generelle Sicherheit von Fahrzeugen (Verordnung (EU) 2144/2019) für konkrete technische Anforderungen entweder

- auf eigene delegierte Rechtsakte, die für automatisierte Fahrfunktionen noch zu erstellen sind, oder
- auf Vorschriftendokumente des Weltforums für die Harmonisierung von fahrzeugtechnischen Vorschriften (WP.29 der Vereinten Nationen, Wirtschaftskommission für Europa (UNECE)), die den Vorteil haben, auch über Europa hinaus harmonisiert zu sein.

Als erste Regelung für automatisierte Fahrfunktionen, bei denen die fahrende Person ihre Hände vom Lenkrad entfernen kann und ihr Nebentätigkeiten erlaubt sind, ist am 22. Januar 2021 auf internationaler Ebene die Vorschrift (UN) Nr. 157 für automatische Spurhaltesysteme (ALKS = Automated Lane Keeping Systems) in Kraft getreten.² Die Vorschrift konnte nach Ablauf einer sechsmonatigen Frist nach Notifizierung der Vertragsparteien in Kraft treten. Diese Notifizierung durch die Generaldirektion der Vereinten Nationen ist im Juli 2020 erfolgt.

Die UN-Regelung Nr. 157 beschreibt Anforderungen, ergänzt durch Testkonzepte, für automatisierte Spurhaltesysteme bis 60 km/h auf Autobahnen. Diese Vorschrift wird auch von der Europäischen Kommission für die Typp Genehmigung entsprechender Systeme herangezogen werden. Derzeit liegen bei den Vereinten Nationen zwei von der Bundesrepublik Deutschland eingereichte Ergänzungsvorschläge für diese Regelung vor, um einerseits Spurwechselvorgänge des automatisierten Fahrzeugs zu ermöglichen, andererseits um die erlaubte Geschwindigkeit von 60 auf 130 km/h zu erhöhen. Über diese beiden Vorschläge ist aber bislang noch nicht entschieden worden.

² Vollzitat: United Nations Regulation No. 157. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to automated lane keeping systems, entry into force of United Nations Regulation no. 157.

Weitergehende Vorschriften sind sowohl bei den Vereinten Nationen als auch innerhalb der Europäischen Kommission in Arbeit. Die Struktur der Gremien ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

3.3.1.2 Typp Genehmigung von automatisierten Fahrzeugen als Zukunftstechnologie

Die EU-Verordnung über die Typp Genehmigung von Fahrzeugen sieht vor, dass Fahrzeuge mit neuen Technologien genehmigt werden können, sofern diese Genehmigungen von den Mitgliedsstaaten unterstützt werden (Artikel 39 Verordnung (EU) 858/2018). Die Genehmigungen können zeitlich oder der Menge nach begrenzt werden. Dies war bereits nach Artikel 20 der Vorgänger-Verordnung von 2007 (Richtlinie 2007/46/EU) möglich. Der Antrag muss von einem Mitgliedsstaat im Komitologie-Ausschuss verteidigt werden; hierfür sind entsprechende Gutachten und Dokumente eines technischen Dienstes hilfreich.

Seit November 2018 existieren prinzipielle Anforderungen in Form von Richtlinien³ seitens der Europäischen Kommission für die Genehmigung von automatisierten Fahrzeugen. Eine Genehmigung ist, vorausgesetzt sie wird von einem Mitgliedsstaat unterstützt, auch vorher schon grundsätzlich möglich gewesen. Es war daher zu jeder Zeit möglich, automatisierte Fahrfunktionen basierend auf einer Einzelfallentscheidung zu genehmigen.

3.3.1.3 Vorschriftenentwicklung bei den Vereinten Nationen

Zuständig für fahrzeugtechnische Vorschriften ist auf Ebene der Vereinten Nationen das Weltforum für die Harmonisierung von fahrzeugtechnischen Vorschriften („World Forum for the Harmonization of Vehicle Regulations“), die sogenannte „Working Party 29“ (WP.29), angesiedelt bei der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE). Im Forum sind die Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen (die sogenannten Vertragsparteien) sowie beratend diverse Organisationen, die beispielsweise die Fahrzeughersteller und Zulieferer vertreten, stimmberechtigt. Die WP.29 trifft überwiegend strategische Entscheidungen und delegiert die Aufgabe der konkreten Erarbeitung von technischen Anforderungen an Unterarbeitsgruppen. Nach Vorliegen von Ergebnissen der Unterarbeitsgruppen verabschiedet sie diese. Im Fall von automatisierten Fahrzeugen hat die WP.29 ein Rahmendokument entwickelt, das sog. „Framework Document on Automated/Autonomous Vehicles“, an dem sich die Arbeiten zum Thema orientieren sollen (ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.1) (Framework Document, 2019).

Für die Arbeit an Vorschriften für automatisierte Fahrfunktionen ist im Wesentlichen die Arbeitsgruppe über automatisierte, vernetzte und autonome Fahrzeuge („Working Group on Automated/Autonomous and Connected Vehicles“, interne Bezeichnung GRVA) zuständig. Die GRVA hat ihre Arbeit im Bereich der automatisierten Fahrfunktionen in folgende informellen Arbeitsgruppen delegiert:

- FRAV: Funktionelle Anforderungen für automatisierte Fahrzeuge („Functional Requirements on Automated Vehicles“) zur Entwicklung von Anforderungen an automatisierte Fahrzeuge,
- VMAD: Validierungsmethoden für automatisierte Fahrzeuge („Validation Methods for Automated Vehicles“) zur Entwicklung von Methoden für den Nachweis der innerhalb der Gruppe FRAV entwickelten Anforderungen.

Weitere Arbeitsgruppen sind für die Cyber-Sicherheit sowie Software-Updates eingerichtet und für die Datenaufzeichnung bzw. die Gestaltung eines Fahrmodusspeichers, der festhält, ob zu einem bestimmten Zeitpunkt der Mensch oder die Maschine gefahren ist.

Das Thema der automatisierten Fahrzeuge trifft bei sehr vielen Staaten auf starkes Interesse. Der Entwicklungsprozess von Vorschriften ist dadurch vergleichsweise langwierig, aber transparent, da alle Arbeitsdokumente auf der Website der UNECE öffentlich zugänglich gemacht werden.

3.3.1.4 Vorschriftenentwicklung in der Europäischen Kommission

Innerhalb der Europäischen Kommission erarbeitet das gemeinsame Forschungszentrum (Joint Research Center, JRC) im Auftrag der Generaldirektion für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (DG GROW) Konzepte und Vorschriften für den sicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen. Ziel ist der Erlass delegierter Rechtsakte für den Fall, dass sich der Entwicklungsprozess auf Ebene der Vereinten Nationen

³ Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles, verfügbar unter <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34802>.

zu langwierig gestalten sollte und hierdurch die Einführung der Technologie im europäischen Binnenmarkt verhindert werden könnte.

Zuständige Arbeitsgruppen innerhalb der Europäischen Kommission sind die Arbeitsgruppe für Motorfahrzeuge („Motor Vehicle Working Group“, MVWG), in der Mitgliedsstaaten und weitere Beteiligte vertreten sind, und der Komitologie-Ausschuss für Straßenfahrzeuge („Technical Committee for Motor Vehicles“, TCMV), in dem nur die Mitgliedsstaaten vertreten sind. Beide Gruppen arbeiten auf der Basis von bereits existierenden Vorschriftenentwürfen, die beispielsweise von Fachleuten innerhalb der Kommission, teilweise unter Zuziehung von externen Experten, entwickelt werden.

Für automatisierte Fahrzeuge hatte das JRC eine Arbeitsgruppe aus Expertinnen und Experten und Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zusammengestellt, um grundlegende Fragestellungen zu erarbeiten und zu diskutieren. Die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), ist in der Arbeitsgruppe beteiligt.

3.3.2 Speziell: Erarbeitung einer UN-Regelung für einen Stau-Chauffeur

3.3.2.1 Vorarbeiten: UN-Regelung Nr. 79 und automatisches Lenken

Für die fahrzeugtechnischen Vorschriften auf UNECE-Ebene wurden unter maßgeblicher Mitwirkung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der BASt im Vorlauf zu den Arbeiten an einem Stau-Chauffeur bereits Anpassungen an der Regelung Nr. 79 für kontinuierlich assistierte Lenkfunktionen (ACSF = Automatically Commanded Steering Functions) umgesetzt (UN Regulation No. 79, 2018).

Änderungen der UN-Regelung Nr. 79 waren insbesondere deshalb notwendig, weil kontinuierliches systemseitiges automatisiertes Lenken für Geschwindigkeiten über 10 km/h ausdrücklich verboten war. Um dennoch Anwendungen mit automatischen Lenkfunktionen im Rahmen des automatisierten Fahrens zu ermöglichen, mussten international harmonisierte Vorschriften für ACSF-Systeme entwickelt werden, um so sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit durch Systeme mit automatisierten Lenkfunktionen nicht beeinträchtigt wird. Eine einfache Aufhebung des Verbotes wäre verbunden gewesen mit einem weiten Feld möglicher automatisierter Lenkfunktionen, für die es keine Anforderungen gegeben hätte.

Hier sind insbesondere die ACSF-Systeme der Kategorie A (Schlüsselparken), B1 (kontinuierliche Spurführungsunterstützung) und C (aktive Spurwechselunterstützung) zu nennen, die deutlich von den bisher bekannten lenkunterstützenden Systemen zur reinen Lenkkorrektur (CSF = Corrective Steering Functions) abgegrenzt wurden und bereits im Markt erhältlich sind. Die ACSF-Systeme sind noch als Assistenzsysteme (bis max. Level 2) anzusehen, die jederzeit von der fahrzeugführenden Person überwacht werden müssen und bei deren Einsatz die fahrzeugführende Person jederzeit in der Verantwortung der Fahraufgabe verbleibt.

3.3.2.2 UN-Regelung Nr.157: Level-3-Spurhaltesystem (Autobahn-Stau-Chauffeur)

Die zuständige informelle Arbeitsgruppe, die die UN-Regelung Nr. 79 in Bezug auf automatische Lenkfunktionen (ACSF-Gruppe) überarbeitete, hatte anschließend – und bevor die oben genannten Arbeitsgruppen FRAV und VMAD ins Leben gerufen wurden – darauf aufbauend den Auftrag, technische Anforderungen für die höheren Automatisierungsstufen zu erarbeiten. Ein automatisiertes System in Level 3 gemäß SAE-Standard J3016 muss dabei neben der Querführung (Lenken) auch die Längsführung des Fahrzeugs (Bremsen und Beschleunigen) komplett übernehmen und seine Funktionsgrenzen rechtzeitig selbst erkennen, um gegebenenfalls eine sichere Rückübergabe an die fahrzeugführende Person mit der entsprechenden deutlichen Aufforderung und ausreichender Vorlaufzeit gewährleisten zu können.

Im März 2020 wurde ein neuer Regelungsentwurf mit Anforderungen für die ersten hochautomatisierten Systeme (ALKS - Automated Lane Keeping System) bei der UNECE von der ACSF Gruppe bei der GRVA zur Abstimmung gestellt und zwar für den oben genannten Stau-Chauffeur für Autobahnfahrten (Proposal for a new UN Regulation ALKS, 2020). Auf der 181. Sitzung der WP.29 am 24. Juni 2020 wurden die ersten fahrzeugtechnischen Voraussetzungen im Typgenehmigungsrecht geschaffen, um Level 3 Systeme zu genehmigen. Mit Abschluss des Notifizierungsverfahrens und somit dem Inkrafttreten der Regelung am 22. Januar 2021 bekommen die ersten Fahrzeugsysteme zum hochautomatisierten Fahren ab diesem Zeitpunkt den nötigen internationalen Vorschriftenrahmen für die Typgenehmigung und die Zulassungsmöglichkeit. ALKS ist das erste elektronische System im Fahrzeug, bei dem die fahrzeugführende Person in Teilbereichen des Straßenverkehrs von der Pflicht der Fahraufgabe zeitweise vollständig (hier im Stau auf autobahnähnlichen Straßen mit baulich getrennter Gegenfahrbahn und bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h) entbunden werden kann, solange das

Fahrzeug diese Aufgabe in seiner ODD (Operational Design Domain)⁴ vollständig übernehmen kann. Ein ALKS muss Quer- und Längsführung des Fahrzeugs komplett und fehlerfrei ausführen können. Es muss vor dem Erreichen seiner Systemgrenzen rechtzeitig eine sichere Rückübergabe an die fahrzeugführende Person einleiten, die ihr nach der Übernahmeaufforderung genügend Zeit lässt, die Kontrolle über die Fahraufgabe wiederzuerlangen (während der Übernahmeaufforderung in der sogenannten Übernahmephase muss das System in der Lage sein, die Fahraufgabe vollumfänglich fortzusetzen). Wenn während einer automatisiert ablaufenden Fahrt plötzlich eine kritische Situation auftritt, in der eine Übergabe an die fahrzeugführende Person auf Grund der zeitlichen Kürze nicht mehr möglich ist, muss das System selbständig in der Lage sein, die Situation, z. B. durch Notbremsen oder Ausweichen, zu bewältigen.

Sollte eine fahrzeugführende Person trotz Übernahmeaufforderung nach einer bestimmten Zeit ihrer Pflicht der Übernahme der Fahraufgabe nicht nachgekommen sein, muss das System ein risikominimierendes Manöver ausführen, das das Fahrzeug sicher zum Stehen bringt.

3.3.2.3 Sicherheitsgrundsätze bei der Erarbeitung der Regelungsinhalte

Die technischen Mindestanforderungen an ALKS wurden unter der Leitung von Japan und Deutschland auch vor dem Hintergrund des bereits existenten § 1a StVG bei der UNECE entwickelt und sollen den sicheren Betrieb des Fahrzeugs mit aktivem System sicherstellen.

Die an das System gestellten Anforderungen wurden maßgeblich vom BMVI mitgestaltet, wobei auf die Expertise der BAST in Bezug auf die aktive Fahrzeugsicherheit und die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion zurückgegriffen wurde. Anforderungen an die Kollisionsvermeidung und Anforderungen an die Übernahmeprozedur fußen im Wesentlichen auf dem Input der BAST. Dies gilt auch für die Vorgabe der vom System erfolgreich zu absolvierenden Tests in Form von Fahrversuchen.

Für das Setzen der Anforderungen orientierte man sich an übergeordneten Sicherheitsprinzipien:

Neben einem Zugewinn an Komfort wird von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen ein Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erwartet. Gleichzeitig birgt aber jede neue Technologie die Gefahr, mit bisher unbekanntem Risiken behaftet zu sein. Demensprechend waren und sind die Vorschriften so auszugestalten, dass mögliche Risiken minimiert werden und gleichzeitig das vorhandene Verkehrssicherheitspotenzial voll ausgeschöpft werden kann.

Für die Interaktion und das Vermeiden von Kollisionen mit anderen Fahrzeugen wurde Wert darauf gelegt, dass sich das System an die gegebenen Verkehrsregeln halten und so defensiv fahren muss, dass das Fahrzeug selbst keinen Unfall verursacht. Diese Forderung wirkt insbesondere auf die Wahl einer sicheren Fahrgeschwindigkeit durch das System. Weiterhin soll das System bis zu gewissen Grenzen auf Fehler anderer Verkehrsteilnehmer so reagieren können, dass ein Unfall möglichst vermieden wird. Die Grenzen in Bezug auf Kollisionsfreiheit werden hier durch das physikalisch bzw. technisch Mögliche festgelegt. Insofern muss das System hier besser als der Mensch sein, da es durchaus kürzere Reaktionszeiten aufweisen kann. Im Falle des ALKS stellt das Szenario eines Einscherers - ein anderes Fahrzeug, das knapp vor dem ALKS-Fahrzeug in dessen Spur wechselt und eine geringere Geschwindigkeit aufweist – eine der größten Herausforderungen für das automatisierte Fahrzeug in Form eines Fehlers anderer Verkehrsteilnehmer dar. Die Forderung, durch Fehler von anderen Verkehrsteilnehmenden ausgelöste Situationen innerhalb bestimmter fahrdynamischer Werte möglichst unfallfrei zu bewältigen, setzt die Fähigkeit des Systems voraus, kritische Situationen frühzeitig zu antizipieren. Gleichzeitig sorgt die Forderung dafür, dass die beste verfügbare Technologie zur Kollisionsvermeidung zum Einsatz kommt.

Für die Interaktion des Menschen mit dem System wurde Wert daraufgelegt, dass der Mensch jederzeit über den Status des Systems informiert ist, um Verwechslungen und Fehleinschätzungen der Betriebsmodi (Mode-Confusion) zu vermeiden. Besondere Bedeutung kommt hier nicht nur der Aktivierung, Deaktivierung und dem Übersteuern des Systems durch den Fahrer zu, sondern vor allem der Übernahmeprozedur von der Maschine zurück zum Menschen. Das System muss klar und unmissverständlich kommunizieren, welche Aufgabe von der fahrzeugführenden Person verlangt wird, und solange weiter sicher die Fahraufgabe durchführen, bis die fahrzeugführende Person die Kontrolle wieder innehat. Und für den von der fahrzeugführenden Person zu verantwortenden Fall einer Nichtübernahme muss das System zusätzlich eine Rückfallebene in Form eines Minimum Risk Manoeuvre (Fahrmanöver zum Erreichen eines sicheren Zustands) vorhalten.

⁴ Die ODD definiert die Betriebsbereiche und -bedingungen, in denen das System aufgrund seiner Ausgestaltung funktioniert.

Im Anhang werden die in der UN-Regelung Nr. 157 (ALKS) gesetzten Anforderungen detaillierter beschrieben.

3.3.2.4 Folgearbeiten

Die oben beschriebene UN-Regelung Nr. 157 zu ALKS trat nach einer sechsmonatigen Frist nach Notifizierung der Vertragsparteien am 22. Januar 2021 in Kraft. Die Notifizierung durch die Generaldirektion der Vereinten Nationen ist im Juli 2020 erfolgt.

Schon jetzt wird seitens des BMVI an Erweiterungen der UN-Regelung für ALKS gearbeitet, um den weiteren Fortschritt der Systeme zu unterstützen und den eingeschränkten Anwendungsbereich von ALKS zu erweitern, damit die möglichen Anwendungszeiten der Systeme auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen zukünftig weiter gesteigert werden können und damit die möglichen Sicherheitspotenziale des automatisierten Fahrens besser ausgeschöpft werden können. Ziel der seitens des BMVI vorgeschlagenen Erweiterungen der UN-Regelung für ALKS ist eine optionale Erweiterung der maximalen Systemgeschwindigkeit bis 130 km/h und die Ermöglichung einer zusätzlichen, voll automatisierten Spurwechselfähigkeit des Systems, sowohl im Falle eines Minimum Risk Manoeuvre als auch im normalen Fahrzustand für einen regulären, notwendigen Spurwechsel. Diese beiden Erweiterungsvorschläge würden bei voller Anwendung durch ein System dann einen vollständigen „Autobahn-Chauffeur“ in Level 3 ermöglichen.

Die vom BMVI mit maßgeblicher Unterstützung der BAST entworfenen Erweiterungen wurden zur 7. Sitzung der zuständigen Arbeitsgruppe (GRVA) bei der UNECE im September 2020 eingereicht.

Zusätzlich werden derzeit die Möglichkeiten überprüft, die Regelung für ALKS für weitere Fahrzeugkategorien zu öffnen und die technischen Anforderungen gegebenenfalls entsprechend zu erweitern.

3.3.3 Erkenntnisse aus Forschungsprojekten

3.3.3.1 Nutzen

Im Hinblick auf die Abschätzung des Nutzens des automatisierten Fahrens wurde im Auftrag der BAST das Forschungsprojekt „Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung“ durchgeführt. In diesem Forschungsprojekt wurden die Potenziale zum gesellschaftlichen Nutzen im Hinblick auf Verkehrssicherheit, Änderung des Energieverbrauchs, sowie Auswirkung auf die Verkehrseffizienz und auf die Verkehrskapazitäten untersucht, wobei der Fokus auf der Abschätzung des Sicherheitsnutzens von automatisierten Fahrfunktionen lag.

Im Rahmen der Sicherheitsbetrachtungen wurden fünf generische automatisierte Fahrfunktionen der Automatisierungsstufen 3 und 4 untersucht: Stau-Chauffeur, Autobahn-Chauffeur, Pendler-Chauffeur, Universal-Chauffeur, Roboter-Taxi. Diese automatisierten Fahrfunktionen operieren in unterschiedlichen Domänen - der Stau- und Autobahn-Chauffeur nur auf Autobahnen, der Pendler-Chauffeur nur außerorts (inkl. Autobahn), der Universal-Chauffeur in allen Domänen und das Roboter-Taxi nur innerorts. Je nach Fahrfunktion werden unterschiedliche Ortslagen, Straßenarten und -klassen, Geschwindigkeitsbereiche und eine unterschiedliche Anzahl an Szenarien abgedeckt.

Unter Zuhilfenahme von Simulationsmethoden wurden die Wirkfelder der Fahrfunktionen ermittelt, welche die maximal mögliche Anzahl an Unfällen benennen, die durch diese Fahrfunktionen adressiert werden können. Dabei wurden die Domäne, die Konstellation und die Beteiligten des Unfalls berücksichtigt. Die Berechnung ergab, dass die Fahrfunktionen einen Anteil zwischen 56 Prozent und 65 Prozent der Unfälle in der jeweiligen Domäne adressieren können. In anschließenden Verkehrssimulationen wurden die durch die automatisierten Fahrfunktionen induzierten verkehrlichen Änderungen abgeschätzt.

Die Resultate wurden auf das Unfallgeschehen der Bundesrepublik Deutschland hochgerechnet, wobei unterschiedliche Marktdurchdringungsraten der automatisierten Fahrfunktionen angenommen wurden. Die Ergebnisse für eine Marktdurchdringungsrate von 100 Prozent zeigten, dass bis zu 50 Prozent aller Außerortsunfälle (inkl. Bundesautobahnen) durch Autobahn-, Pendler- oder Universal-Chauffeur verhindert werden können. Für den Stau-Chauffeur wurde ein Unfallvermeidungspotenzial von 8 Prozent aller Autobahnunfälle ermittelt. Auf Innerortsstraßen könnten zudem durch Universal-Chauffeur und Roboter-Taxi bei einer Marktdurchdringung von 100 Prozent bis zu 54 Prozent der dortigen Unfälle verhindert werden. Bei einer Marktdurchdringungsrate von 25 Prozent liegt das Unfallvermeidungspotenzial auf Außerortsstraßen (inkl. Bundesautobahnen) bei 13 Prozent bis 17 Prozent, auf Innerortsstraßen bei ca. 14 Prozent der dortigen Unfälle.

Bzgl. der Wirkung auf den Energiebedarf zeigten die Simulationen, dass bei einer Marktdurchdringungsrate von 100 Prozent automatisierter Fahrfunktionen eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um ca. 8 Prozent

möglich ist. Weiterhin hat eine Literaturanalyse ergeben, dass durch eine Vollausstattung von kommunizierenden Fahrzeugen untereinander die Fahrzeit auf Autobahnen um bis zu 6 Prozent reduziert werden kann. Unter der Annahme, dass 20 Prozent aller Staus durch Unfälle verursacht werden, ergab eine Analyse zum Stauvermeidungspotenzial, dass durch die Reduktion der Unfallzahlen 1 Prozent bis 11 Prozent aller Staus vermieden werden können (je nach Marktdurchdringungsrate).

3.3.3.2 Interaktion

Die Änderung des StVG vom Juni 2017 regelt die Verwendung von Kraftfahrzeugen „mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion“. Diesen beiden Fahrfunktionen liegen Automatisierungsgrade der Automatisierungsstufen 3 bzw. 4 zugrunde (Gasser et. al., 2012; VDA, 2015). Auf Ebene der internationalen Forschung als auch der UNECE-Aktivitäten zur Typgenehmigung hat sich für eine Differenzierung der verschiedenen Automatisierungsgrade mittlerweile die Verwendung der Nomenklatur der amerikanischen Vereinigung von Automobilingenieuren SAE als Standard etabliert (SAE, 2018). Die SAE Nomenklatur weicht hinsichtlich der Bezeichnung der Automatisierungsstufen von den bei Gasser et al. (2012) und VDA (2015) verwendeten Begriffen ab: Nach SAE Nomenklatur werden insgesamt sechs statt nur fünf Stufen unterschieden. Zudem verschieben sich die Begrifflichkeiten ab der in deutscher Sprache als „Hochautomatisierung“ bezeichneten Stufe 3, da diese bei einem inhaltlich seit 2016 angeglichenerem Verständnis durch SAE als „Conditional Driving Automation“ bezeichnet wird. Als High Driving Automation wird nach SAE erst die Automatisierungsstufe 4 bezeichnet, die vormals von Gasser et al. (2012) und VDA (2015) noch als „Vollautomatisierung“ bezeichnet worden ist. Hinzu kommt bei SAE noch die Automatisierungsstufe 5, sog. Full Driving Automation. Diese letzte Automatisierungsstufe unterscheidet sich vor allem darin von Stufe 4, dass eine Automatisierung in allen sogenannten „Domänen“ also in allen Einsatzbereichen zur Verfügung steht. Um mögliche Missverständnisse bei der Zuordnung der verschiedenen Automatisierungsstufen zu vermeiden, wird empfohlen, die SAE Nomenklatur unter numerischer Bezeichnung des Level oder der Stufe zu verwenden, da dies stets Konsistenz gewährleistet.

Die Nomenklatur der SAE ist für ein Nutzerverständnis zu komplex und unübersichtlich (Homans, Radlmayr & Begnler, 2019). Deshalb wurde unter Federführung der BAST für den Runden Tisch Automatisiertes Fahren des BMVI eine vereinfachte Nomenklatur entwickelt, die auf unterschiedlichen Fahrerrollen aufbaut und nur drei verschiedene Varianten kennt. Hiernach werden die bereits seit einigen Jahren am Markt verfügbaren Systeme kontinuierlich wirkender Fahrzeugautomatisierung als „Assistenz“ bezeichnet (und fassen die Level 1 und 2 zusammen). Level 3 erhält aufgrund der Möglichkeit von fahrzeugführenden Personen, sich vom Fahrgeschehen abzuwenden und fahrfremde Tätigkeiten vorübergehend aufzunehmen, bis das System zur Rückübernahme der Fahrzeugsteuerung wieder auffordert, eine eigene Bezeichnung als „Automatisierung“. Ab Level 4, wenn das Ausbleiben der Fahrzeugautomatisierung ohne eine nachteilige Wirkung für die Fahrzeuginsassen und andere Verkehrsteilnehmende bleibt (bspw. aufgrund eines sog. risikominimalen Fahrmanövers durch das System), wird von „Autonomie“ gesprochen. Diese Begrifflichkeiten wurden durch den Runden Tisch Automatisiertes Fahren 2019 gebilligt.

Für die Einführung des automatisierten Fahrens bestehen aufgrund der veränderten Rolle des Fahrzeugführers erhebliche Herausforderungen für die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI). Beim automatisierten Fahren in den Automatisierungsstufen SAE Level 3 und Level 4 ist die fahrzeugführende Person zumindest zeitweise von der eigentlichen Fahraufgabe entbunden („out of the loop“). Bei SAE Level 3 muss er als Rückfallebene zur Verfügung stehen und die Fahrzeugkontrolle innerhalb der systemseitig vorgegebenen Vorlaufzeit wieder übernehmen, wenn das System dazu auffordert. Bei SAE Level 4 ist die Übernahme durch die fahrzeugführende Person nicht zwingend erforderlich. Allerdings können Level-4-Fahrfunktionen nur in begrenzten Anwendungsbereichen eingesetzt werden, für die sie entwickelt worden sind, so dass das Fahrzeug außerhalb dieser Einsatzbereiche von der fahrzeugführenden Person gesteuert werden muss.

Die MMI-Forschung im Bereich des automatisierten Fahrens nutzt das Konzept „In-the-Loop Out-of-the-Loop“, um die Einbindung des Menschen in die Prozesse zur Kontrolle des Fahrzeugs zu umschreiben. Aufgrund der Bedeutung des Konzepts für Sicherheitsaspekte des automatisierten Fahrens und wegen der zum Teil unterschiedlichen Verwendung in der Vergangenheit wurde in einem international besetzten Expertenarbeitskreis die Definition harmonisiert (Merat et al., 2018). Gemäß dieser Definition ist die fahrzeugführende Person vollständig in die Fahrzeugkontrolle eingebunden und befindet sich damit „in the loop“, wenn er das Fahrzeug physisch steuert (laterale und longitudinale Kontrolle mittels Hand- und Fußmotorik) und gleichzeitig die Fahrsituation überwacht (kognitive Aspekte der Kontrolle). Die fahrzeugführende Person befindet sich „out of the loop“, wenn sie die Fahrsituation nicht überwacht, unabhängig davon, ob er eine physische Steuerung ausübt

oder nicht. Die Überwachung der Fahrsituation ist auf das Fahrzeugumfeld sowie das (automatisierte) Fahrsystem ausgerichtet und wirkt sich auf den Aufbau und den Erhalt des Situationsbewusstseins aus. Dabei umfasst Situationsbewusstsein nicht nur das Verstehen der aus dem Fahrzeugumfeld und dem Fahrsystem wahrgenommenen Elemente und Ereignisse für die aktuelle Situation, sondern auch die Abschätzung von deren Bedeutung für mögliche Situationen in der nahen Zukunft (Rauch et al., 2007). Auf diese Weise wirkt sich das Situationsbewusstsein auf Entscheidungsprozesse bei der Fahrzeugkontrolle aus.

Neben den Aspekten der fahrzeuginternen Interaktion zwischen fahrzeugführender Person und ihrem automatisierten Fahrzeug treten beim automatisierten Fahren ab SAE Level 3 auch Forschungsfragen bezüglich der fahrzeugexternen Interaktion von automatisierten Fahrzeugen mit anderen, nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden auf. Im Mittelpunkt der MMI-Forschung der letzten Jahre stehen folgende Themenbereiche:

1. Zustand der fahrzeugführenden Person

Durch die veränderte Rolle der fahrzeugführenden Person beim automatisierten Fahren werden Auswirkungen auf ihren Zustand erwartet, z. B. Ermüdung und Vigilanzminderung (Minderung der Daueraufmerksamkeit). Die Kenntnis von möglichen Einschränkungen bei der Verfügbarkeit und Übernahmebereitschaft der fahrzeugführenden Person sind im Hinblick auf die Rückübertragung der Fahrzeugkontrolle auf sie von hoher Bedeutung.

2. Fahrfremde Tätigkeiten

Im Hinblick auf die Möglichkeit der fahrzeugführenden Person, sich während der automatisierten Fahrt mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen, stellen sich Fragen hinsichtlich der Eignung von fahrfremden Tätigkeiten und deren Einfluss auf die Übernahmeleistung der fahrzeugführenden Person. Die Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten kann einerseits zum Verlust von Situationsbewusstsein führen, andererseits wird ein positiver Einfluss der fahrfremden Tätigkeiten auf die Aktiviertheit der fahrzeugführenden Person erwartet.

3. Übernahmeleistung, Mensch-Maschine-Schnittstelle

Für eine erfolgreiche Übergabe der Fahrzeugkontrolle ist die Gestaltung der fahrzeuginternen Mensch-Maschine-Schnittstelle relevant. Ein zentraler Punkt ist hierbei die notwendige Vorlaufzeit, die der fahrzeugführenden Person ab Übernahmeaufforderung bis zur Übernahme zur Verfügung gestellt werden sollte, sowie weitere Gestaltungsmaßnahmen, die sie bei der Übernahme unterstützen können, z. B. Warnstrategien für die Übernahmeaufforderung. Zudem sind Maßnahmen in Bezug auf Systemtransparenz und geeignete Informations- und Bedienstrategien zu entwickeln, um Fehlgebrauch (z. B. wegen Fehleinschätzung der Funktionalität und der Systemgrenzen) oder Missbrauch (z. B. bei Übervertrauen oder riskanten Verhaltensanpassungen) zu verhindern.

4. Akzeptanz, Vertrauen

Die Akzeptanz automatisierten Fahrens, sowohl bei Nutzerinnen und Nutzern als auch in der öffentlichen Diskussion, wirkt sich auf Verbreitung und Nutzung automatisierter Fahrsysteme aus und stellt damit eine wichtige Voraussetzung dafür dar, dass die von diesen Systemen erwarteten Sicherheits- und Mobilitätsnutzen realisiert werden können.

5. Externe Kommunikation im Mischverkehr

Im Hinblick auf die Kollisionsvermeidung und den Verkehrsfluss im Mischverkehr stellt sich die Frage, wie verkehrsrelevante Zustände und Intentionen zwischen einem automatisierten Fahrzeug und den umgebenden, nicht automatisierten Verkehrsteilnehmern kommuniziert werden sollen.

6. Methoden

Bestehende Methoden zur sicherheitsgerechten, nutzerfreundlichen Entwicklung, Gestaltung und Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstellen und der gesamten Mensch-Maschine-Interaktion müssen im Hinblick auf Aspekte des automatisierten Fahrens überprüft und ggf. ergänzt werden.

Anhand einiger ausgewählter Forschungsprojekte werden nachfolgend Beispiele zu Forschungsfragen und aktuellen Forschungsergebnissen dargestellt.

Zu 1. Zustand der fahrzeugführenden Person

Das durch das BMWi geförderte Projekt Ko-HAF (Kooperatives hochautomatisiertes Fahren) zielte auf das sichere automatisierte Fahren mittels einer Level-3-Fahrfunktion bei höheren Geschwindigkeiten auf Autobahnen (Hohm et al., 2018). Ob der fahrzeugführenden Person die Übernahme der Fahrzeugführung nach Aufforderung durch die automatisierte Fahrfunktion und innerhalb der zur Verfügung gestellten Vorlaufzeit gelingt, ist u. a. vom Zustand der fahrzeugführenden Person und damit von ihrer Verfügbarkeit abhängig. Anhand mehrerer empirischer Studien wurde evaluiert, wie sich der Zustand der fahrzeugführenden Person während längerer automatisierter Fahrten verändert (Radlmayr et al., 2018). Die Versuche haben gezeigt, dass während einer monotonen automatisierten Fahrt Schläfrigkeit und Ermüdung innerhalb kurzer Zeit entstehen können und die Daueraufmerksamkeit beeinträchtigt wird. So wurden beispielsweise Realfahrten mit einem Wizard-of-Oz Versuchsfahrzeug auf einer Teststrecke durchgeführt und Hirnströme der Probanden zur Müdigkeitsmessung abgeleitet (Frey, 2019). Es zeigte sich im Mittel ein maximaler Anstieg der Müdigkeit nach ca. 20 Minuten Fahrzeit, wenn die fahrzeugführende Person sich nicht mit anderen, fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen konnte.

Simulatorstudien von Feldhütter (2019a) bestätigten, dass längerdauernde monotone Fahrten mit einer Level-3-Funktion (also ohne Ausübung fahrfremder Tätigkeiten) zu einer Ermüdung der fahrzeugführenden Personen führen. Die Müdigkeit trat bei knapp der Hälfte der Probanden nach ca. einer halben Stunde nach Fahrtbeginn ein. Etwa 25 Prozent der Probanden zeigten starke Müdigkeitserscheinungen oder schiefen kurz ein. Ermüdete fahrzeugführende Personen bewältigten die Übernahme schlechter als wache fahrzeugführende Personen. Die Beeinträchtigungen im Übernahmeverhalten zeigten sich in zu starkem Abbremsen, nicht angepasster Bahnkurve und einer höheren Anzahl von Unfällen.

Für die Beobachtung und Einschätzung des Zustands der fahrzeugführenden Person bei Level-3- und Level-4-Automation sollten fahrzeuginterne Monitoringsysteme verwendet werden, die mehrere verschiedene Größen des Zustands der fahrzeugführenden Person erfassen können (Collet et al., 2019). Beeinträchtigte Zustände der fahrzeugführenden Person, die eine sichere Übernahme der Fahrzeugkontrolle gefährden könnten, resultieren v. a. aus dem Ermüdungsgrad, der Unaufmerksamkeit, das Verlassen des Fahrersitzes während der Fahrt und plötzliche Schwächeanfälle. Als weitere Anforderung an geeignete Monitoringsysteme empfehlen die Autoren, dass das Monitoringsystem in der Lage sein sollte, der fahrzeugführenden Person ein Feedback zu ihrem Zustand zu geben und ggf. zu warnen.

Zu 2. Fahrfremde Tätigkeiten

Unterschiedliche fahrfremde Tätigkeiten wurden im Rahmen einer theoretischen Betrachtung systematisiert (Naujoks et al., 2016). Die Betrachtung schloss auch natürliche fahrfremde Tätigkeiten ein (z. B. Essen, Lesen). Im Vordergrund stand hierbei eine Zuordnung verschiedener Aspekte dieser Tätigkeiten (z. B. Möglichkeit zu Kontrollblicken) zu unterschiedlichen Phasen des Übernahmeprozesses bei Level-3-Automation (z. B. Bemerkten und Interpretieren von Übernahmeaufforderungen). Die Studie lieferte damit einen Ansatz für die prospektive Bewertung der vermuteten Einschränkungen der Übernahmefähigkeit durch fahrfremde Tätigkeiten. Die Autoren verwiesen darauf, dass zum Zeitpunkt der Studie umfassende, systematische Untersuchungen zur Validierung des Bewertungssystems fehlten und eine Konsolidierung mit anderen Wirkungen der fahrfremden Tätigkeiten erforderlich ist.

In einer Simulatorstudie mit einer Level-3-Fahrfunktion für Autobahnfahrt bei hohen Geschwindigkeiten wurde die Wirkung von fahrfremden Tätigkeiten auf die Ermüdung der fahrzeugführenden Person untersucht (Schömig et al., 2015). Sobald die Probanden während der Fahrt ein definiertes Ermüdungsniveau erreicht hatten, erfolgte eine Testphase mit oder ohne fahrfremde Tätigkeiten. Dabei wurden Augen und Lidbewegungen gemessen und so der Ermüdungsverlauf der Probanden während der Testphase bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Ermüdung der Probanden deutlich anstieg, wenn die Fahrt während der Testphase ohne fahrfremde Tätigkeit erfolgte. Konnten sich die Probanden mit einer fahrfremden Tätigkeit beschäftigen, stieg die Ermüdung dagegen nicht an. Aus den Ergebnissen wurde geschlossen, dass eine interessante und motivierende fahrfremde Tätigkeit die Wachheit der fahrzeugführenden Person während einer Level-3-Fahrt positiv beeinflussen kann.

In der Realfahrt-Studie von Frey (2019) wurde das Ermüdungsverhalten mit und ohne fahrfremde Tätigkeit bei einer monotonen automatisierten Fahrt verglichen. Der Ermüdungsanstieg konnte reduziert werden, wenn die Probanden sich während der automatisierten Fahrt mit motivierenden Tätigkeiten beschäftigten. Es wurde daraus geschlossen, dass mit diesem Ansatz der Ermüdungsanstieg beim automatisierten Fahren verzögert und für eine positive Wirkung auf die Übernahmeleistung des Fahrers genutzt werden könnte.

Zu 3. Übernahmeleistung, Mensch-Maschine-Schnittstelle

Frühe Studien zur Auslegung der systemseitigen Übernahmeaufforderung konzentrierten sich auf die Bestimmung der benötigten Übernahmezeiten beim Fahren mit einer Level-3-Funktion. In einer Simulatorstudie von Damböck et al. (2012) wurde die Übernahmeleistung der Probanden bei verschiedenen Vorlaufzeiten zwischen Übernahmeaufforderung und Erreichen der Systemgrenze untersucht. Die gemessenen Übernahmezeiten hingen von der Dauer der gewährten Vorlaufzeit ab und zeigten eine hohe interindividuelle Streuung. Aus den Ergebnissen schlossen die Autoren, dass bei einer Vorlaufzeit von acht Sekunden eine im Mittel vergleichbare Leistung wie bei einer manuellen Fahrt erreicht wird. Allerdings wurden auch bei einer Vorlaufzeit von acht Sekunden Fehler bei der Übernahme beobachtet. Für eine sichere Auslegung der Übernahmeaufforderung in einem solch sicherheitskritischen System verwiesen die Autoren daher auf die Notwendigkeit, den Grenzwert für die Vorlaufzeit mit einem Sicherheitspuffer zu versehen.

In der Studie von Petermann-Stock et al. (2013) wurden dagegen keine Vorlaufzeiten zwischen Übernahmeaufforderung und Systemgrenze vorgegeben, sondern die Übernahme durch den Probanden selbst, als Reaktion auf ein bremsendes Führungsfahrzeug, eingeleitet. Die Simulatorstudie zielte auf die Ableitung von Übernahmezeiten in Abhängigkeit von der Schwere der fahrfremden Tätigkeit bei einer Level-3-Funktion für Staufolgefahrten auf Autobahnen. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass die automatisierte Fahrfunktion nach einer Übernahmeaufforderung noch für einen Zeitraum von fünf bis zehn Sekunden die Fahraufgabe übernehmen sollte. Für planbare Übernahmen wurde eine komfortable Vorlaufzeit von acht bis zehn Sekunden empfohlen. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass für den vollständigen Aufbau des Situationsbewusstseins auch nach der Übernahme noch Zeitbedarf besteht. Es wurde daher auf weiteren Forschungsbedarf zur Wirkung verschiedener Rückholstrategien und zum Verhalten der fahrzeugführenden Person in der Phase unmittelbar nach der motorischen Übernahme hingewiesen.

In Simulatorstudien von Feldhütter et al. (2019b) wurde die Übernahmeleistung ermüdeten fahrzeugführender Personen in zeitkritischen Situationen untersucht. Bei diesen Situationen war das Level-3-System nicht mehr in der Lage, eine komfortable Vorlaufzeit zur Verfügung zu stellen. Die getesteten Vorlaufzeiten bis zum Erreichen eines Hindernisses auf der Fahrbahn lagen bei sechs und fünf Sekunden. Die Ergebnisse zeigten, dass sich das Übernahmeverhalten verschlechtert, wenn die zur Verfügung stehende Vorlaufzeit verringert wird. Mit der Abnahme der Vorlaufzeit verkürzten sich zwar die Reaktionszeiten der Probanden bis zur Einleitung erster motorischer Aktivitäten zur Steuerung des Fahrzeugs, gleichzeitig nahm aber die Qualität der Übernahmeleistung ab (übermäßiges Abbremsen).

Der Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Übernahmeleistung der fahrzeugführenden Person bei Level-3-Automation wurde im Zusammenhang mit dem BMWi-Projekt PEGASUS untersucht (Klamroth et al., 2020). In einer ersten Versuchsreihe wurden Realfahrten mit einem Wizard-of-Oz Versuchsfahrzeug im realen Verkehr auf Autobahnen durchgeführt und die Übernahmeleistung der fahrzeugführenden Person in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte erfasst. Die zweite Versuchsreihe wurde auf einer Teststrecke durchgeführt und zielte auf die Frage, ob sich eine vorausgehende automatisierte Fahrt auf die Bewältigung eines unerwarteten Ereignisses (stark verzögerndes Vorderfahrzeug) im Anschluss an eine erfolgreich abgeschlossene Übernahme auswirkt. Basierend auf den Befunden beider Fahrversuche kann angenommen werden, dass Übernahmezeiten im fließenden Verkehr länger sind als bei Stop-and-go-Fahrten bzw. in Stausituationen. Mit steigender Kritikalität aufgrund zunehmender Verkehrsdichte zeigte sich eine Abnahme der mittleren Übernahmezeit. Diese war jedoch nicht mit einer qualitativen Verbesserung der Übernahmeleistung verbunden, da eine tendenzielle Zunahme von Inhomogenitäten bei der Querführung auftrat. Zudem ergab die Analyse der Blickbewegungen, dass vor und während der Übernahme keine adäquate visuelle Absicherung der Verkehrsumgebung durch Spiegel- und Schulterblicke erfolgt. Zur Vermeidung von sicherheitskritischen Verkehrssituationen bei der Übernahme empfehlen die Autoren eine assistierende Unterstützung der fahrzeugführenden Person bei der Übernahme, insbesondere durch Maßnahmen zur Absicherung des rückwärtigen Verkehrsraumes.

In der Studie von Walch et al. (2015) wurde ein multimodales Warnkonzept für die Übernahmeaufforderung gestaltet und im Simulator evaluiert. Das Warnkonzept bestand aus einer Verknüpfung von visuellen Informationen (Piktogramme und textliche Aufforderungen) mit akustischen Warnsignalen. Das Konzept soll es ermöglichen, die Aufmerksamkeit der mit einer fahrfremden Tätigkeit beschäftigten fahrzeugführenden Person sicher auf die Fahraufgabe zu lenken, dem Fahrer die Notwendigkeit zur Übernahme zu verdeutlichen und überstürzte Ersteinriffe der fahrzeugführenden Person zu vermeiden. Die Ergebnisse der subjektiven Bewertung zeigten, dass die Probanden Übernahmeaufforderungen mit vorgeschalteter Erläuterung gegenüber Übernahmeaufforderungen ohne vorgeschaltete Erläuterung bevorzugten. Allerdings wurde mit vorgeschalteter Erläuterung eine etwas längere Übernahmezeit benötigt. Die Studie verweist auf weiteren Untersuchungsbedarf, da ein Teil der

Probanden trotz Warnkonzept nicht dazu veranlasst werden konnte, vor der ersten Intervention eine visuelle Prüfung der Verkehrssituation vorzunehmen.

Das derzeit laufende EU-Projekt HADRIAN betrachtet die Mensch-Maschine-Interaktion für ein Fahrzeug, das über mehrere Systeme mit unterschiedlichen Automatisierungslevels verfügt (Mörtl et al., 2019). Die fahrzeugführende Person soll darin unterstützt werden, ihre aktuelle Rolle in Abhängigkeit vom jeweils aktivierten Automatisierungslevel zu erkennen und auszufüllen. Im Projekt werden dynamisch anpassbare Mensch-Maschine-Schnittstellen (fluid HMIs) als ein möglicher Lösungsansatz untersucht.

Zu 4. Akzeptanz, Vertrauen

Bei Level-3-Fahrfunktionen wird die Übernahmeaufforderung aufgrund des Erreichens der Systemgrenze ein häufig wiederkehrendes Ereignis sein. Aus Forschungserkenntnissen im Bereich der Assistenzsysteme ist bekannt, dass es zu Beeinträchtigungen im Systemvertrauen und der Nutzerakzeptanz kommen kann, wenn die Nutzerin oder der Nutzer die Funktions- und Leistungsbegrenzung des Systems nicht versteht oder wenn sich das System als fehleranfällig erweist. In der Studie von Körber et al. (2018) wurde untersucht, wie das Vertrauen in die automatisierte Funktion und die Nutzerakzeptanz beeinflusst werden, wenn das System die Übernahmeaufforderung begründet. Dazu wurde den Probanden nach der erfolgten Übernahme eine Erläuterung für die notwendige Übernahmeaufforderung über die Mensch-Maschine-Schnittstelle des Systems angezeigt. Die Ergebnisse zeigten, dass die nachträglich gegebene Begründung kaum Einfluss auf das Vertrauen oder die Nutzerakzeptanz hatte. Allerdings führte die gegebene Begründung zu einer höheren Systemtransparenz, so dass die Probanden das System besser verstanden.

Aus empirischen Studien mit nicht-automatisierten Fahrzeugen ist bekannt, dass fahrzeugführende Personen wahrgenommene kritische Fahrsituationen durch den Einsatz von Fahrstrategien entschärfen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde die von der fahrzeugführenden Person subjektiv akzeptierte Fahrleistung während einer automatisierten Fahrt untersucht (Voß et al., 2020). Aus den Ergebnissen konnte abgeleitet werden, dass fahrzeugführende Personen desto früher regulativ in die Fahrzeugsteuerung des automatisierten Fahrzeugs eingreifen, je weiter der Gegenverkehr zur Straßenmitte versetzt fährt. Ausgehend von den Ergebnissen wurden Empfehlungen für automatisierte Fahrfunktionen im Sinne adaptiver Mechanismen bei der Planung der Bahnkurve abgeleitet.

Zu 5. Externe Kommunikation im Mischverkehr

Im heutigen Straßenverkehr spielt der non-verbale Informationsaustausch zwischen Verkehrsteilnehmenden eine wichtige Rolle in der Verkehrssicherheit und beim Verkehrsablauf. Er ermöglicht die Klärung von Verkehrssituationen oder die Einschätzung und Vorhersage des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmender. Als Kommunikationsmittel stehen dabei Signaleinrichtungen am Fahrzeug (z. B. Lichthupe), Fahrdynamik des Fahrzeugs (z. B. Abbremsen), von der fahrzeugführenden Person ausgehende Körpergesten (Handbewegungen) und Blickkontakte zur Verfügung. Beim automatisierten Fahren mit Fahrzeugen der Automatisierungsstufe SAE Level 3 oder höher ist die menschliche fahrzeugführende Person nicht oder nur in deutlich verringertem Umfang für eine Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden verfügbar. Ein im Auftrag der BAST durchgeführtes Forschungsprojekt untersuchte daher, ob heutige Interaktionsszenarien eines herkömmlichen Pkw mit anderen Verkehrsteilnehmern auf automatisiert fahrende Pkws im Mischverkehr übertragbar sind (Schaarschmidt et al., 2020). Es wurden relevante Szenarien im Bereich des Innerortsverkehrs, auf Außerortsstraßen sowie auf Bundesautobahnen betrachtet. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zeigten, dass bei über 60 Prozent der analysierten Interaktionsszenarien eine Übertragung auf den Mischverkehr möglich ist. In vielen der übertragbaren Szenarien scheint insbesondere die implizite Kommunikation mittels Fahrverhaltens des Fahrzeugs (Fahrdynamik) ausschlaggebend für die Übermittlung der relevanten Information an die umgebenden Verkehrsteilnehmer zu sein. Als nicht auf den Mischverkehr übertragbar wurden Szenarien eingestuft, bei denen die zugrundeliegende Verkehrssituation nicht eindeutig durch die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) geregelt oder die traditionellen technischen Signaleinrichtungen am Fahrzeug für die Übermittlung der erforderlichen Botschaft nicht geeignet sind. Bei diesen Verkehrssituationen besteht Handlungsbedarf zur Schaffung neuer Interaktions- und Kommunikationskonzepte, mit denen die dort auftretenden Konfliktsituationen gelöst werden können.

Ein Schwerpunkt des europäischen Forschungsprojekts interACT (Schieben et al., 2020) lag auf der Entwicklung innovativer Mensch-Maschine-Schnittstellen, welche die Mensch-Maschine-Kommunikation im Mischverkehr ermöglichen sollen. Ähnlich wie bei Schaarschmidt et al. (2020) gezeigt, konnte in den von interACT

analysierten Anwendungsfällen beobachtet werden, dass die meisten Verkehrsbegegnungen aufgrund der gegenseitigen Einschätzung des Bewegungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer gelöst werden. Dort, wo eine Kommunikation mittels externer Mensch-Maschine-Schnittstellen am Fahrzeug erforderlich ist, sollte die Übertragung der Botschaft mittels abstrakter Lichtsignale bevorzugt werden. Aus den Tests verschiedener Prototypen wurde geschlossen, dass ein horizontal umlaufendes LED-Lichtband in Kombination mit einer auf einzelne Verkehrsteilnehmende ausrichtbaren Signalleuchte das höchste Potenzial im Hinblick auf die gestellten Kommunikationsanforderungen aufweist. Lösungsvarianten, die Text oder Piktogramme anzeigen oder über Projektionen auf die Straßenoberfläche kommunizieren, haben sich als eher ungeeignet erwiesen. Allerdings besteht weiterer Forschungsbedarf, um diese neuen externen Mensch-Maschine-Schnittstellen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für verschiedene Interaktionsszenarien zu bewerten.

Für das automatisierte Fahren in der Stadt werden im derzeit laufenden Projekt @City u. a. neue Technologien für das Situationsverstehen sowie Konzepte für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern entwickelt (Kreßel, 2017). Automatisierte Fahrfunktionen werden prototypisch umgesetzt und evaluiert. Im Fokus steht das automatisierte Fahren über komplexe, urbane Knotenpunkte, durch Engstellen auf urbanen Verbindungsstraßen sowie die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmenden wie Fußgängern und Radfahrenden.

Zu 6. Methoden

Fragen zur Methodik für die experimentelle Untersuchung des Zustands der fahrzeugführenden Person beim hochautomatisierten Fahren waren Gegenstand des Forschungsprojekts „Untersuchung fahrerspezifischer Aspekte beim hochautomatisierten Fahren“ (Feldhütter et al., 2018). Die Ergebnisse lieferten Beiträge für die Entwicklung, Veränderung und Messung von verminderter Daueraufmerksamkeit und Müdigkeit beim hochautomatisierten Fahren. Die zunächst für den Fahrsimulator entwickelte Methodik ließ sich auch auf ein reales Forschungsfahrzeug im Realverkehr übertragen.

Derzeit gibt es noch keine allgemein akzeptierten Gestaltungsrichtlinien, die sich speziell auf Mensch-Maschine-Schnittstellen automatisierter Fahrfunktionen beziehen. In einer Studie von Naujoks et al. (2018) wurde eine erste Sammlung von Gestaltungsprinzipien und Beurteilungskriterien für Mensch-Maschine-Schnittstellen automatisierter Fahrfunktionen erstellt. Die Zusammenstellung enthält u. a. Empfehlungen zu Systemaktivierung/-deaktivierung, Anzeige des Systemstatus und des Automationsmodus, Wechsel zwischen unterschiedlichen Automationsmodi, sowie allgemeine ergonomische Prinzipien für die nutzergerechte Gestaltung von Anzeigen.

Im Rahmen des derzeit laufenden EU-Projekts L3Pilot wird ein Leitfaden für Entwickler und Gestalter von automatisierten Fahrfunktionen in der Automobilindustrie erarbeitet (Fahrenkrog et al., 2020). Dieser „Code of Practice for automated driving“ enthält u. a. Empfehlungen zu Sicherheitsaspekten und Methoden, die den Entwicklungsprozess im Hinblick auf einen sicheren Betrieb von automatisierten Fahrfunktionen unterstützen sollen. Im Abschnitt „Human-Vehicle Integration“ wird dabei auf Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion eingegangen z. B. Mode Awareness, Trust, Misuse, Driver Monitoring.

Zusammenfassender Ausblick zur MMI-Forschung

Die technische Weiterentwicklung automatisierter Fahrfunktionen vollzieht sich entlang der Klassifikation der Automatisierungsgrade. Neben den Forschungsfragen zur Level-3-Automation, die im Mittelpunkt der MMI-Forschung der vergangenen Jahre stand, sind mit den Level-4-Funktionen neue Herausforderungen für die MMI-Forschung hinzugekommen. Die Systemgrenzen der Level-4-Anwendungen werden ein breiter werden – das Feld an möglichen Straßentypen und Verkehrssituationen umschließen können, in dem neben Autobahn und Landstraße auch der urbane Bereich eine zunehmende Rolle spielt. Die Fahrzeiten ununterbrochener automatisierter Fahrten werden deutlich länger. Die fahrzeugführende Person als Rückfallebene bei einer Übernahmeaufforderung des Systems wird bei Level 4 nicht mehr vorausgesetzt. Daher gewinnen Fragen zur Überwachung des Zustands der fahrzeugführenden Person und die Befähigung der Monitoring-Systeme, sicherheitsrelevante Entscheidungen aus dem Zustand der fahrzeugführenden Person ableiten zu können, an Bedeutung. Zusätzlich sind Forschungsfragen hinsichtlich des Verhaltens und der Akzeptanz von Notfallsystemen, die das automatisierte Fahrzeug in den risikominimalen Zustand bringen, zu erwarten.

4. Ausblick

Vor dem Hintergrund der oben gegebenen Ausführungen stellt dieser Bericht keine Evaluierung über die Anwendung der Regelungen zum automatisierten Fahren im Wortsinne des mit dem Achten Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes neu eingeführten § 1c StVG dar. Dies liegt insbesondere daran, dass bisher kein Fahrzeug eine entsprechende Typgenehmigung erhalten hat. Vielmehr stellt die Evaluation den erreichten Stand der kraftfahrzeugtechnischen Vorschriftenentwicklung für die Typgenehmigung von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen sowie die Ergebnisse und den Stand ausgewählter Forschungsarbeiten mit engem Bezug zu den Änderungen im Straßenverkehrsgesetz dar.

Mit Blick auf die Ausrichtung der künftigen Vorschriftenentwicklung ist die Verordnung (EU) Nr. 2144/2019 über die allgemeine Sicherheit von Fahrzeugen insofern maßgebend, als hier erstmalig hochentwickelte Fahrerassistenzsysteme für alle Fahrzeugklassen reguliert werden. Zukunftsweisend ist dabei zur Ermöglichung einer datenschutzgerechten Verarbeitung personenbezogener Daten insbesondere das mit Artikel 6 Absatz 3 und Absatz 4c der Verordnung (EU) 2019/2144 eingeführte Prinzip des geschlossenen Systems. Dies dient der Durchsetzung des Zweckbindungsprinzips für die verarbeiteten personenbezogenen Daten und wird auch in künftigen Vorschriften für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen zur Anwendung kommen müssen, soweit für diese personenbezogene Daten verarbeitet werden sollen. Insoweit für automatisierte Fahrfunktionen ein umfangreicher Einsatz audiovisueller Sensorik zur Erfassung der Fahrzeugumgebung zu erwarten ist, werden technische Vorschriften zur Ermöglichung oder gar Erzwingung einer datenschutzgerechten Verarbeitung z. B. dieser audiovisuellen Daten von besonderer Bedeutung sein.

Eine Marktdurchdringung von Kraftfahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen im Sinne des Achten Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes lässt sich mit einem erweiterten ALKS (höhere Geschwindigkeit und Spurwechselfähigkeit) sowie der Einbeziehung von Lkw und Bussen erwarten. Es wird vorgeschlagen, nach Einführung dieses automatisierten Systems eine wissenschaftliche Evaluierung vorzusehen. Für diese Evaluierung sind zwei Voraussetzungen auf internationaler Ebene zu berücksichtigen:

1. Für unfallstatistische Aussagen sind Voraussetzungen zur Identifikation der entsprechend ausgestatteten Fahrzeuge notwendig (bspw. eine eigene Typschlüsselnummer). Weiterhin wird hierbei ein ausreichend lang bemessener Bewertungszeitraum anzusetzen sein, bis Effekte sichtbar werden und statistisch signifikante Aussagen möglich sind, da zu Beginn der Markteinführung mit geringen Fallzahlen zu rechnen ist.
2. Im internationalen Rahmen sind für Evaluierungen seitens der Verkehrsunfallforschung entsprechende Datenzugangsrechte und Nutzungsmöglichkeiten für die fahrzeugtechnischen Daten ohne Personenbezug zu schaffen, z.B. Zugang zu den Daten und Steuerung über eine zentrale Stelle, damit diese ebenfalls zu Evaluierungszwecken vorliegen.

Ungeachtet dessen wird die Entwicklung fahrzeugtechnischer Vorschriften auf internationaler Ebene weiter voranzutreiben sein, um die Bandbreite der möglichen Anwendungsfälle für automatisierte Fahrfunktionen zu vergrößern. Die Strukturen dafür sind, wie oben beschrieben, vorhanden; Arbeiten finden sowohl auf UNECE- als auch auf EU-Ebene statt.

Konkret wird schon jetzt seitens des BMVI an Erweiterungen der UN-Regelung für ALKS gearbeitet, um den weiteren Fortschritt der Systeme zu unterstützen und den eingeschränkten Anwendungsbereich von ALKS zu erweitern, damit die möglichen Anwendungszeiten der Systeme auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen zukünftig weiter gesteigert werden können und damit die möglichen Sicherheitspotenziale des automatisierten Fahrens besser ausgeschöpft werden können. Ziel der seitens des BMVI vorgeschlagenen Erweiterungen der UN-Regelung für ALKS ist eine optionale Erweiterung der maximalen Systemgeschwindigkeit bis 130 km/h und die Ermöglichung einer zusätzlichen, voll automatisierten Spurwechselfähigkeit des Systems, sowohl im Falle eines Minimum Risk Manövers zum Erlangen eines sicheren Zustandes als auch im normalen Fahrzustand für einen regulären, systemseitig gewünschten oder verkehrsbedingt notwendigen Spurwechsel. Diese beiden Erweiterungsvorschläge würden bei voller Anwendung durch ein System dann einen vollständigen „Autobahn-Chauffeur“ in Level 3 ermöglichen.

Die vom BMVI mit maßgeblicher Unterstützung der BAST entworfenen Erweiterungen wurden zur 7. Sitzung der zuständigen Arbeitsgruppe (GRVA) bei der UNECE im September 2020 eingereicht.

Zusätzlich werden derzeit die Möglichkeiten überprüft, die Regelung für ALKS für weitere Fahrzeugkategorien (Lkw, Busse (Fahrzeuge der Kategorien N1, N2, N3, M2 und M3)) zu öffnen und die technischen Anforderungen gegebenenfalls entsprechend zu erweitern.

Die Entwicklung der Regelungsentwürfe wurde bisher und wird weiterhin von der Abteilung Fahrzeugtechnik der BASt eng begleitet, um das BMVI bei der Festlegung von Anforderungen auf Basis wissenschaftlicher Expertise inklusive eigener Fahrversuche zu unterstützen.

Anhang

Zusammenfassung der Anforderungen aus der UN-Regelung Nr. 157 (ALKS)

Allgemeines Prinzip der UN-Regelung Nr. 157

ALKS kontrolliert die Längs- und Querführung des Fahrzeugs für einen längeren Zeitraum ohne weitere Fahreingaben. ALKS ist ein System, das im aktiven Systemzustand die Hauptkontrolle über das Fahrzeug übernimmt. ALKS kann nur unter bestimmten Bedingungen auf Straßen aktiviert werden, auf denen Fußgänger und Radfahrende verboten sind und die durch ihre Anlage mit einer physischen Trennung der Richtungsfahrbahnen ausgestattet sind, die den Verkehr in entgegengesetzte Richtungen separiert und kreuzenden Verkehr vermeidet. In einem ersten Schritt beschränkt diese Regelung die Betriebsgeschwindigkeit des ALKS auf maximal 60 km/h und auf die Fahrzeugkategorie der Personenkraftwagen (M1-Fahrzeuge). Ein automatisch durchgeführter Spurwechsel ist bisher nicht Teil der Funktion. Die Regelung enthält allgemeine Anforderungen an die Systemsicherheit und die vorgesehenen Rückfallebenen. Wenn das ALKS aktiviert ist, muss es die Fahraufgabe anstelle der fahrzeugführenden Person ausführen, d. h. es muss alle Situationen einschließlich Fehlfunktionen und Ausfällen von Subsystemen bewältigen und darf die Sicherheit der Fahrzeuginsassen oder anderer Verkehrsteilnehmer nicht gefährden. Es besteht jedoch immer die Möglichkeit für die fahrzeugführende Person, das System jederzeit zu überschreiben. Die Regelung legt auch Anforderungen fest, wie die Fahraufgabe sicher vom ALKS an die fahrzeugführende Person zurück übergeben werden soll, einschließlich der Fähigkeit, dass das System zum Fahrzeugstillstand kommen können muss, falls die fahrzeugführende Person nicht angemessen reagiert. Schließlich enthält die Regelung Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), um Missverständnisse oder Missbrauch durch die fahrzeugführende Person zu verhindern. Die Regelung schreibt beispielsweise vor, dass Onboarddisplays, die von der fahrzeugführenden Person für andere Tätigkeiten als das Fahren verwendet werden können während das ALKS aktiviert ist, automatisch ausgesetzt werden, sobald das System eine Übernahmeaufforderung aussendet. Diese Maßnahmen lassen die Vorschriften über das Verhalten der fahrzeugführenden Personen in den Vertragsparteien unberührt, wie sie derzeit vom Global Forum for Road Traffic Safety (WP.1) zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Dokuments erörtert werden (siehe z. B. Informelles Dokument 4 Revision 1 der 78. Tagung der WP.1).

Allgemeine Systemsicherheit und Rückfallebenen

Allgemein muss das aktivierte System alle Situationen einschließlich Fehlfunktionen und Ausfällen technischer Subsysteme beherrschen und darf die Fahrzeuginsassen oder andere Verkehrsteilnehmende keinen unzumutbaren Risiken aussetzen. Das aktivierte System darf keine Kollisionen verursachen. Ist das Fahrzeug in einen detektierbaren Zusammenstoß verwickelt, so ist das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen. Das aktivierte System muss die Verkehrsregeln im aktuellen Betriebsland einhalten. Das aktivierte System muss die Kontrolle über Systeme ausüben, die erforderlich sind, um den Fahrer bei der Wiederaufnahme der manuellen Steuerung jederzeit zu unterstützen (z. B. Antibeschlag der Scheiben, Scheibenwischer und Fahrzeugbeleuchtung). Eine Übernahmeaufforderung des Systems darf die Sicherheit der Fahrzeuginsassen oder anderer Verkehrsteilnehmer nicht gefährden. Wenn die fahrzeugführende Person während der Übernahmeaufforderung die Kontrolle über die Fahraufgabe nicht wieder aufnimmt, führt das System ein Manöver zur Minimierung des Risikos (MRM – Minimum Risk Manoeuvre) durch. Bei einem MRM muss das System die Risiken für die Sicherheit der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer minimieren. Das System muss Selbstüberprüfungen durchführen, um das Auftreten von Ausfällen zu erkennen und die Systemleistung jederzeit zu bestätigen (z. B. dadurch, dass das System nach dem Fahrzeugstart mindestens einmal ein Objekt in demselben oder einem größeren Abstand als dem mindestens angegebenen Erfassungsbereich erkannt hat). Die Wirksamkeit des Systems darf durch bestimmte magnetische oder elektrische Felder nicht beeinträchtigt werden. Hersteller müssen Vorkehrungen treffen, um das System vor einem angemessen vorhersehbaren Missbrauch und Manipulationen durch die fahrzeugführende Person zu schützen. Kann das System die Anforderungen dieser Regelung nicht (mehr) erfüllen, so darf es nicht (mehr) möglich sein, das System zu aktivieren. Die Hersteller implementieren ein Verfahren zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit und der fortgesetzten Konformität des ALKS-Systems mit der Regelung über die System-Lebensdauer.

Dynamische Fahraufgabe

Das aktivierte System muss das Fahrzeug innerhalb seiner Fahrspur halten und sicherstellen, dass das Fahrzeug keine Spurmarkierungen überquert. Das System soll das Fahrzeug möglichst in einer stabilen lateralen Position innerhalb der Fahrspur halten, um andere Verkehrsteilnehmer nicht zu verwirren. Das aktivierte System muss ein Fahrzeug erkennen, das in der Nachbarspur fährt und gegebenenfalls die Geschwindigkeit und/oder die seitliche Position des Fahrzeugs innerhalb seiner Fahrspur darauf einstellen. Das aktivierte System kontrolliert die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Die Höchstgeschwindigkeit, bis zu der das System betrieben werden darf, beträgt 60 km/h. Das aktivierte System muss die Fahrzeuggeschwindigkeit an die Infrastruktur- und Umgebungsbedingungen (z. B. schmale Kurvenradien, schlechtes Wetter) anpassen. Das aktivierte System muss den Abstand zum nächsten vorausfahrenden Fahrzeug erkennen und muss die Fahrzeuggeschwindigkeit anpassen, um einen Zusammenstoß zu vermeiden. Während sich das ALKS-Fahrzeug nicht im Stillstand befindet, muss das System die Geschwindigkeit anpassen, um den Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug auf derselben Spur so anzupassen, dass er gleich oder größer als der vorgeschriebene minimale Folgeabstand ist. Kann der Mindestabstand aufgrund anderer Verkehrsteilnehmer (z. B. Einscherendes Fahrzeug, Abbremsen des vorausfahrenden Fahrzeugs usw.) vorübergehend nicht eingehalten werden, muss das Fahrzeug bei der nächsten verfügbaren Gelegenheit ohne hartes Bremsen den Mindestabstand wieder herstellen (zur Vermeidung einer Kollision darf ungeachtet dessen stark notgebremst werden, s.u. unter Notfallmanöver). Der erforderliche Mindestabstand ist geschwindigkeitsabhängig im Bereich von 2 m/s (7,2 km/h) und 16,7 m/s (60 km/h) linear als Zeitlücke zwischen 1,0 und 1,6 Sekunden vorgegeben und darf aber auch unter 2 m/s nicht weniger als 2 m betragen. Das aktivierte System muss in der Lage sein, das Fahrzeug hinter einem stehenden Fahrzeug, stationären Verkehrsteilnehmenden oder in einer blockierten Fahrspur vollständig zum Stehen zu bringen, um eine Kollision zu vermeiden. Dies ist bis zur maximalen Betriebsgeschwindigkeit des Systems zu gewährleisten. Das aktivierte System muss die Gefahr eines Zusammenstoßes erkennen, insbesondere mit anderen Verkehrsteilnehmenden, die sich vor oder neben dem Fahrzeug befinden, aufgrund eines abbremsenden vorausfahrenden Fahrzeugs, eines Einscherenden oder eines plötzlich auftretenden Hindernisses, und muss automatisch geeignete Manöver durchführen, um die Risiken für die Sicherheit der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer zu minimieren. Für Bedingungen, die nicht explizit geregelt sind, ist dies zumindest so weit zu gewährleisten, wie eine kompetente und sorgsame menschliche fahrzeugführende Person die Risiken entsprechend minimieren könnte. Explizit geregelt ist Folgendes: Das aktivierte System muss einen Zusammenstoß mit einem vorausfahrenden Fahrzeug, das bis zu seiner vollen Bremsleistung verzögert, verhindern, sofern der Mindestabstand des ALKS-Fahrzeugs nicht gerade aufgrund eines Einscherenden noch nicht wieder ausreichend eingestellt war. Das aktivierte System muss eine Kollision mit einem Einscherenden vermeiden, sofern der Einscherende seine konstante Längsgeschwindigkeit beibehält, die niedriger als die Längsgeschwindigkeit des ALKS-Fahrzeugs ist, und die seitliche Bewegung des Einscherenden rechtzeitig und mit ausreichendem, definiertem Abstand vor Erreichen eines definierten Bezugspunkts für eine Time to Collision (TTC) sichtbar ist. Das aktivierte System muss einen Zusammenstoß mit vor dem Fahrzeug unverdeckt querenden, gehenden Fußgängern bis zur maximalen Betriebsgeschwindigkeit des ALKS-Systems vermeiden. In Situationen, in denen die Erfüllung obiger Anforderung unter anderen als den oben beschriebenen Bedingungen eventuell nicht vollständig erreicht werden kann, darf das System die Steuerungsstrategie unter diesen anderen Bedingungen jedoch nicht deaktivieren oder unangemessen abändern.

Notfallmanöver (EM – Emergency Manoeuvre)

Bei einer drohenden Kollisionsgefahr ist ein Notfallmanöver durchzuführen. Jede Verzögerungsanforderung in Längsrichtung des Systems von mehr als 5,0 m/s² gilt als EM. In diesem Manöver muss das Fahrzeug gegebenenfalls bis zu seiner vollen Bremsleistung verzögern und/oder gegebenenfalls ein automatisches Ausweichmanöver durchführen. Beeinträchtigen Fehler die Brems- oder Lenkleistung des Systems, so ist das Manöver unter Berücksichtigung der verbleibenden Leistung durchzuführen. Während des Ausweichmanövers darf das ALKS-Fahrzeug die Fahrstreifenmarkierungen nicht überqueren. Nach dem Ausweichmanöver soll das Fahrzeug auf wieder eine stabilisierte Fahrposition anstreben. Ein Notfallmanöver darf nicht beendet werden, bevor die unmittelbare Kollisionsgefahr verschwunden ist oder die fahrzeugführende Person das System deaktiviert hat. Nach einem Notfallmanöver soll das System weiter betrieben werden und im Falle des Stillstands des Fahrzeugs ist die Warnblinklichtanlage zu aktivieren und wenn das Fahrzeug automatisch wieder los fährt auch automatisch das Warnblinklicht wieder zu deaktivieren. Das Fahrzeug muss während des EM gemäß den Bedingungen der UN-Regelung Nr. 13 H ein Notbremssignal anzeigen.

Übernahmeaufforderung und Systembetrieb während der Übernahmephase (Transition)

Das aktivierte System muss alle Situationen, in denen es die Steuerung zurück zur fahrzeugführenden Person übergeben muss, erkennen. Die Einleitung der Übernahmeaufforderung muss so erfolgen, dass ausreichend Zeit für einen sicheren Übergang zum manuellen Fahren vorgehalten wird. Im Falle eines abschbaren oder geplanten Ereignisses, das ALKS an der Fortführung des Betriebs hindern würde, ist eine Übernahmeaufforderung frühzeitig genug zu geben, um sicherzustellen, dass das MRM, falls die fahrzeugführende Person die Kontrolle nicht wieder übernehmen würde, das Fahrzeug vor dem geplanten Ereignis zum Stillstand bringen würde. Im Falle eines ungeplanten Ereignisses ist unmittelbar bei der Detektion des Ereignisses eine Übernahmeaufforderung zu geben. Im Falle einer Fehlfunktion oder eines Ausfalls, der den Betrieb des Systems beeinträchtigt, muss das System unverzüglich nach dessen Erkennung eine Übernahmeaufforderung einleiten. Während der Übernahmephase muss das System weiter betrieben werden. Das System darf die Geschwindigkeit des Fahrzeugs verringern, um seinen sicheren Betrieb zu gewährleisten, es darf das Fahrzeug jedoch in der Übernahmephase nicht zum Stillstand bringen, es sei denn, dies ist aufgrund der Situation erforderlich (z. B. aufgrund von Fahrzeugen oder Hindernissen, die den Weg des Fahrzeugs behindern). Nach einem Stillstand darf das Fahrzeug in diesem Zustand bleiben und muss die Warnblinkanlage innerhalb von fünf Sekunden aktivieren. Während der Übernahmephase muss die Übernahmeaufforderung spätestens vier Sekunden nach Beginn eskalieren. Eine Übernahmeaufforderung darf erst beendet werden, wenn das System deaktiviert ist oder ein MRM begonnen hat. Reagiert die fahrzeugführende Person nicht auf eine Übernahmeaufforderung, indem sie das System deaktiviert oder die Fahraufgabe wieder übernimmt, so darf frühestens zehn Sekunden nach Beginn der Übernahmeaufforderung ein MRM gestartet werden. Ungeachtet dessen darf bei einem schwerwiegendem System- oder Fahrzeugfehler sofort ein MRM eingeleitet werden. Im Falle solcher Fehler kann ALKS zwar eventuell nicht mehr in der Lage sein, die Anforderungen dieser Regelung zu erfüllen, soll aber trotzdem einen sicheren Übergang der Kontrolle zurück zum Fahrer anstreben und ermöglichen.

Manöver zur Minimierung des Risikos (MRM)

Während des MRM muss das Fahrzeug innerhalb der Fahrspur oder, falls die Fahrbahnmarkierungen nicht sichtbar sind, unter Berücksichtigung des Verkehrs und der Straßeninfrastruktur auf einer geeigneten Fahrtrajektorie bleiben und mit einer angestrebten Verzögerung von nicht mehr als 4,0 m/s² verlangsamt werden. Höhere Verzögerungswerte sind für sehr kurze Zeitintervalle zulässig, z.B. als haptische Warnung zur Stimulierung der Fahreraufmerksamkeit oder bei schwerwiegenden ALKS- oder Fahrzeugfehlern. Zusätzlich muss die Warnblinkanlage mit dem Beginn des MRM eingeschaltet werden. Das MRM muss das Fahrzeug zum Stillstand bringen, es sei denn, das System wird von der fahrzeugführenden Person während des Manövers deaktiviert. Ein MRM darf erst beendet werden, wenn das System deaktiviert ist oder das System das Fahrzeug zum Stillstand gebracht hat. Das System muss am Ende eines MRM automatisch deaktiviert werden. Die Warnblinkanlage bleibt aktiviert, es sei denn, sie wird manuell deaktiviert und das Fahrzeug darf sich nach dem Stillstand ohne manuelle Fahrereingabe nicht wieder fortbewegen. Eine Reaktivierung des Systems nach Beendigung eines MRM darf erst nach einem neuen Motorstart / Zündungszyklus wieder möglich sein.

Mensch-Maschine-Schnittstelle / Bedienerinformationen

Das System muss ein System zur Erkennung der Verfügbarkeit der fahrzeugführenden Person umfassen. Das Erkennungssystem für die Verfügbarkeit der fahrzeugführenden Person muss erkennen können, ob sich die fahrzeugführende Person in einer geeigneten Fahrposition befindet, ob ihr Sicherheitsgurt angelegt ist und ob sie für die Übernahme der Fahraufgabe zur Verfügung steht. Eine Übernahmeaufforderung muss eingeleitet werden, wenn festgestellt wird, dass die fahrzeugführende Person länger als eine Sekunde nicht auf dem Sitz sitzt oder wenn ihr Sicherheitsgurt nicht geschlossen ist. Die fahrzeugführende Person gilt als nicht verfügbar, wenn nicht mindestens durch zwei Verfügbarkeitskriterien (z. B. Eingabe in die fahrerexklusive Fahrzeugsteuerung, Lidschlag, geschlossene Augen, Kopf- oder Körperbewegungen) in den letzten 30 Sekunden festgestellt wurde, dass die fahrzeugführende Person verfügbar ist. Das System darf die fahrzeugführende Person jederzeit für nicht verfügbar halten. Sobald die fahrzeugführende Person als nicht verfügbar gilt oder weniger als zwei Verfügbarkeitskriterien überwacht werden können, muss das System unverzüglich eine deutliche Warnung ausgeben, bis geeignete Maßnahmen der fahrzeugführenden Person ergriffen und entweder innerhalb von 15 Sekunden durch das System erkannt worden sind oder entsprechend anschließend eine Übernahmeaufforderung eingeleitet worden ist. Das für die Überprüfung der Verfügbarkeitskriterien erforderliche Zeitintervall darf jedoch 30 Sekunden nicht überschreiten. Nebentätigkeitsmöglichkeiten über fahrzeugseitige Systeme, die bei der

Aktivierung des ALKS der fahrzeugführenden Person zur Verfügung gestellt werden können, müssen automatisch ausgesetzt werden, sobald das System einen Übernahmeaufforderung ausgibt oder sobald das System deaktiviert wird, je nachdem was zuerst eintritt.

Das Fahrzeug muss mit speziellen Bedienmöglichkeiten ausgestattet sein, damit die fahrzeugführende Person das System aktivieren (einschalten) und deaktivieren (ausschalten) kann. Wenn das ALKS aktiviert ist, müssen diese Bedienmöglichkeiten zur Deaktivierung von ALKS für die fahrzeugführende Person dauerhaft sichtbar sein. Der Standardstatus des Systems ist der Aus-Modus bei Beginn jedes neuen Motorstarts / Zündungslaufzyklus, ausgenommen beispielsweise beim Betrieb eines Start-/Stoppsystems. Das System darf nur nach bewusstem Handeln der fahrzeugführenden Person und wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind aktiv werden: Die fahrzeugführende Person muss auf dem Fahrersitz sitzen und ihr Sicherheitsgurt muss angelegt sein, sie ist als verfügbar erkannt um die Kontrolle über die Fahraufgabe wieder übernehmen zu können, es liegt kein Ausfall vor, der den sicheren Betrieb oder die Funktionalität des ALKS beeinträchtigt, der DSSAD (DSSAD – Data Storage System for Automated Driving) ist betriebsbereit, die Umwelt- und Infrastrukturbedingungen erlauben den Betrieb, es liegt eine positive Bestätigung der Systemselbstkontrolle vor und das Fahrzeug befindet sich auf Straßen, auf denen Fußgänger und Radfahrende verboten sind und die durch ihre Anlage mit einer physischen Trennung der Richtungsfahrbahnen ausgestattet sind, die den Verkehr in entgegengesetzte Richtungen separiert. Ist eine der vorstehenden Bedingungen nicht mehr erfüllt, so leitet das System unverzüglich eine Übernahmeaufforderung ein, sofern in der Regelung nichts anderes vorgegeben ist. Es muss möglich sein, das System durch eine bewusste Handlung der fahrzeugführenden Person mit den gleichen Bedienelementen wie bei der Aktivierung des Systems manuell zu deaktivieren. Die Bedienelemente zur Deaktivierung müssen Schutz vor unbeabsichtigter manueller Bedienung bieten, beispielsweise indem sie eine spezielle Eingabe mit einem bestimmten Zeitschwellenwert oder eine Doppelbetätigung oder zwei separate, aber gleichzeitige Eingaben erfordern. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die fahrzeugführende Person zum Zeitpunkt der Deaktivierung die Spurführungskontrolle über das Fahrzeug hat, indem z. B. die Bedienelemente zur Deaktivierung an der Lenkung platziert sind oder anderweitig bestätigt wird, dass die fahrzeugführende Person die Kontrolle über die Lenkung innehat. Das System darf ausschließlich durch bestimmte Fahrereingaben deaktivierbar sein. Im Falle eines laufenden Notfallmanövers kann die Deaktivierung des Systems verzögert werden, bis die drohende Kollisionsgefahr verschwunden ist. Im Falle eines schwerwiegenden System- oder Fahrzeugfehlers kann ALKS abweichende Strategien zur Deaktivierung anwenden. Generell darf es bei der Deaktivierung des Systems keinen automatischen Übergang zu einer Fahrfunktion geben, die eine kontinuierliche Längs- und/oder Querkontrolle des Fahrzeugs ermöglicht (z. B. ACSF der Kategorie B1). Nach der Deaktivierung von ALKS darf eine korrigierende Lenkunterstützung (Corrective Steering Function - CSF) mit schrittweise reduzierter Unterstützung aktiv sein, um die fahrzeugführende Person dabei zu unterstützen und zu leiten, die Spurführungsaufgabe wieder besser manuell auszuführen. Ungeachtet der beiden vorstehenden Sätze darf jedes andere Fahrzeugsicherheitssystem, das in drohenden, akuten Kollisionssituationen Längs- oder Querunterstützung liefert (z. B. Advanced Emergency Braking System (AEBS), Electronic Stability Control (ESC), Brake Assist System (BAS) oder Emergency Steering Function (ESF)), im Falle der Deaktivierung von ALKS nicht deaktiviert werden. Jede Deaktivierung ist der fahrzeugführenden Person anzuzeigen.

Ein Eingriff der fahrzeugführenden Person in die Lenkung setzt die Querregelungsfunktion des Systems nur dann außer Kraft, wenn die Eingabe einen angemessenen Schwellenwert überschreitet, der eine unbeabsichtigte Überschreitung verhindern soll. Eingaben der fahrzeugführenden Person in die Bremse, die zu einer höheren Verzögerung als die durch das System induzierte führt oder das Fahrzeug im Stillstand hält, müssen die Längsregelungsfunktion des Systems überschreiben. Eingaben der fahrzeugführenden Person in das Gas-/Fahrpedal, dürfen die Längsregelungsfunktion des Systems außer Kraft setzen. Eine solche Eingabe darf jedoch nicht dazu führen, dass das System die Anforderungen dieser Regelung nicht mehr erfüllt. Jede Eingabe der fahrzeugführenden Person in das Gas-/Fahrpedal oder die Bremse muss unverzüglich eine Übernahmeaufforderung einleiten, wenn die Eingabe einen angemessenen Schwellenwert überschreitet, der eine unbeabsichtigte Eingabe verhindern soll. Ungeachtet der obigen Vorgaben darf die Wirkung der Eingabe der fahrzeugführenden Person auf die Steuerung vom System verringert oder unterdrückt werden, falls durch das System aufgrund dieser Eingabe ein unmittelbares Kollisionsrisiko festgestellt wird. Bei einem schwerwiegenden System- oder Fahrzeugfehler kann ALKS abweichende Strategien in Bezug auf die Systemüberschreibung anwenden.

Der fahrzeugführenden Person müssen wichtige Angaben über den Systemstatus und aktuelle Ereignisse vom System bereitgestellt werden. Jeder Ausfall, die Systemstatusänderungen oder Übernahmeaufforderungen müssen mit mindestens einem optischen Signal angezeigt werden. Bei einer Übernahmeaufforderung muss darüber hinaus ein zusätzliches akustisches und/oder haptisches Warnsignal ausgegeben werden, das bzw. die spätestens

vier Sekunden nach Einleitung der Übernahmeaufforderung eskalieren und dann auch eine konstante oder intermittierende haptische Warnung enthalten muss. Ein MRM muss durch mindestens ein optisches Signal und zusätzlich ein akustisches und/oder haptisches Warnsignal und ein Notfallmanöver durch ein optisches Signal angezeigt werden. Die obigen optischen Signale müssen in Größe und Kontrast ausreichend sein. Die akustischen Signale müssen laut und deutlich sein. Mit der Aktivierung muss der Systemstatus (aktiver Modus) durch ein dezidiertes optisches Signal der fahrzeugführenden Person angezeigt werden. Die Anzeige muss ein Lenkrad oder ein Fahrzeugsymbol mit einem zusätzlichen „A“ oder „AUTO“ oder den standardisierten Symbolen gemäß der UN-Regelung Nr. 121 enthalten. Zusätzlich muss eine leicht wahrnehmbare Anzeige ausgegeben werden, die sich im peripheren Sichtfeld in der Nähe der direkten Sichtlinie der fahrzeugführenden Person nach außen vor dem Fahrzeug befindet, z. B. eine auffällige Anzeige im Kombiinstrument oder am Lenkradkranz. Das optische Signal muss den aktiven Systemzustand konstant anzeigen, bis das System deaktiviert ist. Mit Beginn einer Übernahmeaufforderung muss zumindest die oben beschriebene Anzeige im peripheren Sichtfeld seine Eigenschaften ändern, z. B. in ein intermittierendes, niederfrequentes Signal oder ein Signal mit anderer Farbe wechseln, ohne die fahrzeugführende Person damit unangemessen zu alarmieren. Während einer Übernahmeaufforderung und eines MRM darf die obige Anzeige im peripheren Sichtfeld auch durch eine angezeigte Textanweisung ersetzt werden, die manuelle Steuerung wieder zu übernehmen. Bei der Deaktivierung des Systems, wenn der Systemstatus vom aktiven Modus in den ausgeschalteten Modus wechselt, müssen die optischen Anzeigen des Systems wieder ausgeschaltet werden. Zusätzlich ist bei Deaktivierung ein akustisches Warnsignal vorzusehen, es sei denn, das System wird nach einer Übernahmeaufforderung, die bereits ein akustisches Signal enthielt, deaktiviert. Während einer Übernahmeaufforderung und einem MRM muss das System die fahrzeugführende Person intuitiv und eindeutig auffordern und anleiten, die manuelle Steuerung des Fahrzeugs zu übernehmen. Diese Anweisung muss eine Bilddarstellung enthalten, die die Hände und das Lenkrad zeigt, und kann mit zusätzlichem erläuternden Text oder Warnsymbolen versehen werden. Mit Beginn eines MRM muss das obige bildliche Signal seine Eigenschaften ändern, um die Dringlichkeit eines Eingriffs der fahrzeugführenden Person hervorzuheben, z. B. durch rotes Blinken des Lenkrads und bewegte Hände in der Bilddarstellung. Neben diesen Beispielen darf stattdessen auch eine angemessene und ebenso wahrnehmbare Darstellung für die optischen Signale verwendet werden, die entsprechend vom Hersteller nachzuweisen und zu dokumentieren ist. Die Warnungen eines ALKS während einer Übernahmeaufforderung, eines MRM oder eines Notfallmanövers dürfen vorrangig gegenüber anderen Warnungen im Fahrzeug erfolgen.

Objekt- und Ereigniserkennung und Reaktion darauf (OEDR)

Das ALKS-Fahrzeug muss mit einem Sensorsystem ausgestattet sein, das zumindest die Fahrumgebung (z. B. Fahrbahngeometrie, Fahrbahnmarkierungen) und die Verkehrsdynamik über die gesamte Breite der eigenen Fahrspur und die gesamte Breite der Fahrspuren unmittelbar nach links und rechts bis zur Begrenzung des vorderen Erfassungsbereichs und entlang der gesamten Fahrzeuglänge bis zur Grenze des seitlichen Erfassungsbereichs bestimmen kann. Hersteller müssen den Erfassungsbereich nach vorne angeben. Dieser angegebene Wert muss mindestens 46 Meter betragen. Hersteller müssen zudem den seitlichen Erfassungsbereich angeben. Der angegebene Bereich muss ausreichen, um die gesamte Breite der Fahrspur unmittelbar links und die Fahrspur direkt rechts vom Fahrzeug abzudecken. Das ALKS muss Strategien zur Erkennung und Kompensation von Umgebungsbedingungen, die den Erfassungsbereich verringern, bereithalten und z. B. verhindern, dass das System aktiviert wird, das System deaktivieren und die Steuerung zurück an die fahrzeugführende Person übertragen oder die Geschwindigkeit bei zu geringer Sicht verringern. Verschleiß und Alterung des Systems dürfen über die gesamte Lebensdauer des Systems/Fahrzeugs die Leistung des Sensorsystems nicht unter die Mindestwerte senken.

Datenspeichersystem für automatisierte Systeme (DSSAD)

Jedes Fahrzeug, das mit ALKS ausgerüstet ist, muss mit einem DSSAD ausgestattet sein, der die nachstehenden Anforderungen erfüllt. Jedes Fahrzeug, das mit einem DSSAD ausgerüstet ist, muss bei Aktivierung des Systems mindestens einen Eintrag für jedes der folgenden Ereignisse aufzeichnen: Aktivierung des Systems, Deaktivierung des Systems aufgrund von Abschaltung durch die fahrzeugführende Person oder Übersteuerung der Lenkung oder Übersteuerung durch Beschleunigen oder Verzögern mit den Händen am Lenkrad, Übernahmeaufforderung des Systems aufgrund von geplanten oder ungeplanten Situationen oder wenn die fahrzeugführende Person nicht mehr verfügbar ist oder ein Systemausfall vorliegt oder das System durch Gas oder Bremse durch die fahrzeugführende Person übersteuert wurde, eine Eingabe der fahrzeugführenden Person verringert oder unterdrückt wurde, bei Beginn und Ende eines Notfallmanövers, beim Trigger eines EDR (EDR – Event Data Recorder), bei einer detektierten Kollision, bei einem MRM und bei einem schwerwiegenden ALKS- oder

Fahrzeugfehler. Für jedes dieser aufgeführten Ereignisse zeichnet das DSSAD zumindest die folgenden Datenelemente in einer klar identifizierbaren Weise auf: Das aufgeführte Vorkommen, Grund für das Auftreten, Datum und Zeitstempel mit einer Genauigkeit von +/- 1,0 Sekunde und die zum Ereignis gültige Softwareversion.

DSSAD-Daten sind vorbehaltlich der Anforderungen des nationalen und regionalen Rechts verfügbar zu halten. Sobald die Speichergrenzen des DSSAD erreicht sind, werden vorhandene Daten nach Alter mit dem Grundsatz der Einhaltung der einschlägigen Anforderungen an die Datenverfügbarkeit überschrieben. Die Daten müssen crashsicher nach dem Schweregrad verfügbar sein, der in den UN-Regelungen Nr. 94, 95 oder 137 festgelegt ist. Steht die Hauptstromversorgung des Bordfahrzeugs nicht zur Verfügung, so muss es weiterhin möglich sein, alle auf dem DSSAD erfassten Daten abzurufen, wie dies nach nationalem und regionalem Recht vorgeschrieben ist. Im DSSAD gespeicherte Daten müssen über die Verwendung einer elektronischen Kommunikationsschnittstelle, zumindest über die Standardschnittstelle (OBD-Port) einfach abrufbar sein. Es ist darauf zu achten, dass ein angemessener Schutz vor Manipulationen (z. B. Datenlöschung oder -manipulation) besteht.

Cybersicherheit und Software-Updates

Die Wirksamkeit des Systems darf durch Cyberangriffe, Cyberbedrohungen und andere mögliche Angriffs- und Veränderungsmöglichkeiten auf die Software nicht beeinträchtigt werden. Erlaubt das System Software-Updates, so muss die Wirksamkeit der Softwareaktualisierung und des Verfahrens durch die Einhaltung der entsprechenden UN-Regelungen (UN-Regelung Nr. 155 – Cyber security and cyber security management system und UN-Regelung Nr. 156 – Software updates and software updates management systems) demonstriert werden. Die Software-Version des Systems muss eindeutig identifiziert werden können.

Quellenverzeichnis

- Collet, C., Musicant, O. (2019). Associating vehicles automation with drivers functional state assessment systems: A challenge for road safety in the future. *Front. Hum. Neurosci.* 13:131. doi: 10.3389/fnhum.2019.00131.
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L., Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. 5. Tagung Fahrerassistenz – Schwerpunkt Vernetzung. München: TÜV Süd Akademie GmbH. www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/24_Damboeck.pdf
- Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 establishing a framework for the approval of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles (Framework Directive), OJ L 263, 9.10.2007, p. 1–160.
- Fahrenkrog, F. et al. (2020). Draft and results from pilot application of draft CoP. EU-project L3Pilot, Deliverable 2.2.
- Feldhütter, A., Hecht, T., Bengler, K. (2018). Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 82.0628/2015 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/1890
- Feldhütter, A., Hecht, T., Kalb, L., Bengler, K. (2019a). Effect of prolonged periods of conditionally automated driving on the development of fatigue: With and without non-driving-related activities. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 33-40.
- Feldhütter, A., Ruhl, A., Feierle, A., Bengler, K. (2019b). The Effect of Fatigue on Take-over Performance in Urgent Situations in Conditionally Automated Driving. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Auckland, New Zealand, pp. 1889-1894.
- Framework Document (2019). Revised Framework document on automated/autonomous vehicles, ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.1 World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, Geneva, 2019.
- Frey, A. (2019). Müdigkeit und Vigilanz einer automatisierten Realfahrt. In: Tagungsband der 10. VDI-Fachtagung „Mensch-Maschine-Mobilität 2019“, Braunschweig, 05. - 06. November 2019, S. 121.
- Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., ... & Lotz, C. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft F 83.
- Hohm, A., Klejnowski, L., Skibinski, S., Bengler, K., Berger, S., Vetter, J., Krug, S. (2018). KO-HAF - Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren (Projektübergreifender Schlussbericht).
- Homans H., Radlmayr J., Bengler K. (2020) Levels of Driving Automation from a User's Perspective: How Are the Levels Represented in the User's Mental Model?. In: Ahram T., Taiar R., Colson S., Choplin A. (eds) *Human Interaction and Emerging Technologies. IHIET 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1018. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_4 Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT (2019): White Paper on Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan, 2019. www.mlit.go.jp/common/001325161.pdf
- Klamroth, A., Zerbe, A., Marx, T. (2019). Transitionen bei Level-3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V., FAT-Schriftenreihe 323.
- Körber, M., Prash, L., Bengler, K. (2018). Why do I have to drive now? Post-hoc explanations of take-over requests. *Human Factors*. 2018;60(3):305-323.
- Kreßel, U. (2017). @City – Automatisierte Fahrzeuge und Intelligenter Verkehr in der Stadt. Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ des BMWi und BMBF, 30.11. – 01.12.2017, Berlin. www.atcity-online.de
- Merat, N., Seppelt, B., Louw, T., Engström, J., Lee, J. D., Johansson, E., Green, C. A. et al. (2018). The ‘Out-of-the-Loop’ Concept in Automated Driving: Proposed Definition, Measures and Implications. *Cognition, Technology & Work* (September 15, 2018).

- Mörzl, P., Trösterer, S., Marx, C., Santuccio, E., Neuhuber, N., Zachaeus, C., Katrakzas, C. (2019). Description of initial Automated Driving application descriptions. EU-Project HADRIAN, Deliverable D1.1. www.hadrianproject.eu
- National Highway Traffic Safety Administration (2016): Cybersecurity best practices for modern vehicles. Report No. DOT HS 812 333. Washington, DC. www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/812333_cybersecurityformodernvehicles.pdf
- National Highway Traffic Safety Administration (2017): Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety (AV 2.0). Report No. DOT HS 812 442. Washington, DC. www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf
- National Science and Technology Council & U.S. Department of Transportation (2020): Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0 (AV 4.0). www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-02/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf
- National Highway Traffic Safety Administration (2020): U.S. Transportation Secretary Elaine L. Chao Announces Launch of AV TEST Online Tracking Tool. Press Release, September 2, 2020. www.nhtsa.gov/press-releases/av-test-initiative-tracking-tool-launch
- Naujoks, F., Befelein, D., Neukum, A. (2016). Welche Aspekte fahrfremder Tätigkeiten schränken die Übernahmefähigkeit beim hochautomatisierten Fahren ein? In: Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren, VDI-Berichte Nr. 2288. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Hergeth, S., Keinath, A. (2018). Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs. *Transportation Research Part F* 60 (2019), 121-136.
- Nepaulsingh, J., Matsushita, N., Ellrott, J. (2020): Autonomous driving in Japan – part 1: road traffic law. Freshfields Bruckhaus Deringer. digital.freshfields.com/post/102ge6o/autonomous-driving-in-japan-part-1-road-traffic-law
- Owens, J. (2020): Keynote speech hold at the Automated Vehicles Symposium, July 29, 2020. www.nhtsa.gov/speeches-presentations/automated-vehicles-symposium
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T., & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt. 6. Tagung Fahrerassistenzsysteme - Der Weg zum automatischen Fahren. München: TÜV Süd Akademie GmbH.
- Prawitz, S., Bromberger, L. (2020): Automatisiertes Fahren: Honda darf Level-3-Autos verkaufen. www.automobil-industrie.vogle.de
- Radlmayr, J., Feldhütter, A., Frey, A., Jarosch, O., Marberger, C., Naujoks, F., . . . & Bengler, K. (2018). Drowsiness and fatigue in conditionally automated driving—Towards an integrative framework. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Europe Chapter, (HFES) 2018.
- Rauch, N., Gradenegger, B., Krüger, H.-P. (2007). Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V., FAT-Schriftenreihe 210.
- Regulation (EU) 858/2018 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, amending Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 and repealing Directive 2007/46/EC (OJ L 151, 14.6.2018, pp. 1-218).
- Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users, amending Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulations (EC) No 78/2009, (EC) No 79/2009 and (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Union, L 325/1, 2019.

- SAE International (2018). Surface vehicle recommended practice – Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. USA; 2018. J3016_201806.
- Schaarschmidt, E., Yen, R., Bosch, R., Zwicker, L., Schade, J., Petzoldt, T. (2020). Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern. Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0701/2017 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- Schieben, A., Wilbrink, M., Dietrich, A. et al. (2020). Designing the interaction of automated vehicles in mixed traffic environment: Insights from the interact project. Proc. of 8th Transport Research Arena TRA, April 27 – 30, 2020, Helsinki, Finland.
- Schömig N, Hargutt V, Neukum A, Petermann-Stock I, Othersen I (2015). The interaction between highly automated driving and the development of drowsiness. Proc Manuf 3:6652–6659.
- StVG (2017), Achstes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 38, ausgegeben zu Bonn am 20. Juni 2017.
- The Japantimes (2020). Honda to launch world's first level 3 autonomous vehicle by March. www.japantimes.co.jp, Nov. 11, 2020.
- UN Regulation No. 79 (2018). Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment, Revision 4, E/ECE/324/Rev.1/Add.78/Rev.4-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.78/Rev.4, 7 November 2018.
- (Proposal for a new UN Regulation ALKS, 2020). Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System, ECE/TRANS/WP.29/2020/81), 6 April 2020.
- U.S. Department of Transportation (2018): Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0 (AV 3.0). www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/320711/preparing-future-transportation-automated-vehicle-30.pdf
- VDA (2015). Automatisierung - Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Broschüre, Verband der Automobilindustrie e. V. (Hrsg.).
- Voß, G., Schwalm, M. (2020). Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 135.
- Walch, M., Lange, K., Baumann, M., Weber, M. (2015). Autonomous Driving: Investigating the feasibility of car-driver handover assistance. In: Proc. of AutomotiveUI '15, September 01 - 03, 2015, Nottingham, United Kingdom, 11 – 18.

