

FAT-Schriftenreihe 347

Typgenehmigungsanforderungen an Level-3-Autobahnssysteme
– Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen für
eine automatisierte Fahrfunktion –



**Typgenehmigungsanforderungen an
Level-3-Autobahnssysteme
(Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen
für eine automatisierte Fahrfunktion)**

Forschungsstelle

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Autoren

Bartels, Oliver

Gail, Jost

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung
Automobiltechnik e.V. (FAT) gefördert.

Vorbemerkungen

Automatisierte Fahrzeuge nach Level 3 (SAE International, 2018) werden in nächster Zeit auf dem Markt erwartet. In definierten Anwendungsfällen kann der Fahrer bei diesen Fahrzeugen die komplette Fahrzeugsteuerung an die Automation übergeben und sich dann einer fahrfremden Tätigkeit zuwenden.

Die Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) hatte 2017 die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragt, die im Rahmen von PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen, <https://www.pegasusprojekt.de/>) erarbeitete Methodik zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen aus Sicht der Fahrzeugsicherheit mit den Anforderungen bei der Entwicklung fahrzeugtechnischer Vorschriften für Level-3-Fahrzeuge zu vergleichen. Als Basis hierfür sollten die in PEGASUS implementierte Situationsdatenbank sowie die Weiterentwicklung der bisher in internationalen Gremien (z.B. UN ECE), Verbraucherschutz (z.B. Euro NCAP) und internationalen Forschungsprogrammen (z.B. ASSESS, ASPECSS, PROSPECT) entwickelten Prüfscenarien und Vorgehensweisen dienen. Daraus sollten Erkenntnisse für zukünftige Anforderungen an die Typgenehmigung von Level-3- Fahrzeugen abgeleitet werden.

Die BASt hat hierfür als assoziierter PEGASUS-Partner im Projekt mitgearbeitet, an den entsprechenden PEGASUS-Projekttreffen teilgenommen und den aktuellen Stand sowie die Erfahrungen aus der fortschreitenden internationalen Regelungsentwicklung auf UN-Ebene und aus dem Verbraucherschutz in Bezug auf automatisiertes Fahren eingebracht. Über den aktuellen Stand der Regelungsentwicklung und dessen Vergleich mit den Inhalten des PEGASUS-Projekts wurde der FAT bei den entsprechenden Arbeitskreistreffen (AK 3 – Arbeitskreis 3, Unfallforschung / Biomechanik) jeweils berichtet.

Der Hauptteil des von der FAT beauftragten Projekts umfasste planmäßig aber auch Prüfgeländetests mit einem automatisierten Fahrzeug nach bereits bekannten oder zukünftig zu erwarteten Testszenarien. In Fahrzeugtests durch die BASt sollten bestehende Testverfahren und -kriterien für Hochautomatisierung in der Praxis überprüft und mit solchen der Fahrerassistenz verglichen werden. Ein dafür zwingend notwendiges "Level 3"-Fahrzeug sollte von der FAT für einen Zeitraum von geplant ca. 8 Wochen während der Projektlaufzeit zur Verfügung gestellt werden und war auch entsprechend zugesichert worden, um die Ergebnisse der Fahrversuche möglichst noch in das PEGASUS Projekt einbringen zu können.

Es war der FAT jedoch trotz 24-monatiger Verlängerung des Projektes mit der BASt bis Ende 2020 nicht möglich, ein entsprechendes Testfahrzeug mit den erforderlichen „Level 3“ - Funktionalitäten bereitzustellen. Erste Fahrzeuge mit serienverfügbaren „Level 3“ - Funktionalitäten

sind von den Herstellern derzeit für Mitte bis Ende 2021 angekündigt. Die Verwendung von Prototypenfahrzeugen mit den entsprechenden Level 3 Funktionalitäten wurde seitens der FAT nicht als geeignete Alternative für das Projekt angesehen. Dementsprechend kann nicht über Tests und Testergebnisse aus Fahrversuchen mit einem Level-3-Fahrzeug berichtet werden.

Das PEGASUS Projekt ist seit Mitte 2019 beendet. Zudem ist bereits seit 22. Januar 2021 die erste internationale Regelung der Vereinten Nationen (UN-R 157, ALKS, Automated Lane Keeping System) für die ersten automatisierten Fahrzeugsysteme in Kraft getreten, die inhaltlich schon viele der anvisierten Projektziele auch durch maßgebliche Unterstützung der BASt enthält. Der vorliegende Bericht bezieht sich daher auf die Beweggründe und Hintergrundüberlegungen beim Setzen von technischen Anforderungen an ein Level-3-Fahrssystem, das die Stausituation bzw. den Geschwindigkeitsbereich bis 60 km/h auf Autobahnen abdeckt.

Inhalt

Inhalt.....	4
1. Einleitung.....	5
1.1 Herausforderung automatisiertes Fahren.....	5
1.2 Europäische Regelungen zur Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen (EU und UNECE)	7
2. Voraussetzungen und Grundprinzipien für eine Regelung automatisierter Spurhaltesysteme ...	11
2.1 Erstellung international harmonisierter technischer Vorschriften für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen: UN-Regelung für ein erstes Level-3-System.....	11
2.1.1 Vorarbeiten bei den Vereinten Nationen zur Änderung der UN-Regelung Nr. 79 zur Ermöglichung automatischen Lenkens.....	11
2.1.2 UN-Regelung Nr.157: Level-3-Spurhaltesystem.....	12
2.2 Prinzipien der UN-Regelung Nr. 157 für ALKS.....	13
2.2.1 Aktivierung und Deaktivierung.....	15
2.2.2 Transition.....	18
2.2.3 MRM.....	21
2.2.4 Geschwindigkeiten	25
2.2.5 Settings.....	26
2.2.6 Anzeige des Systemstatus	27
2.2.7 Abstand und angepasste Geschwindigkeit.....	28
2.2.8 Unfallvermeidung und Umgang mit kritischen Situationen.....	30
2.2.9 Einhalten der Verkehrsregeln.....	32
2.2.10 Schwerwiegende System- oder Fahrzeugfehler.....	35
2.2.11 Cybersecurity.....	37
2.2.12 Fahrmodusspeicher.....	37
2.2.13 Test der Erfüllung der Anforderungen	38
3. Ausblick.....	42
3.1 Weitere Erarbeitung von Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen auf internationaler Ebene.....	42
3.1.1 Ausweitung der Anforderungen an Autobahnssysteme.....	42
3.1.2 Entwicklung generischer Anforderungen bei den Vereinten Nationen	43
3.1.3 Vorschriftenentwicklung in der Europäischen Kommission.....	45
4. Zusammenfassung.....	46
Quellenverzeichnis	49

1. Einleitung

Mit Hilfe des Projektes PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) sollten zwischen Januar 2016 und Juni 2019 wesentliche Lücken im Bereich des Testens bis hin zur Freigabe von Level-3-Fahrfunktionen geschlossen werden. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beteiligte sich im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT e. V.) als assoziierter Partner an dem Projekt. Ziel des Projektes war es, ein Vorgehen für das Absichern und Testen automatisierter Fahrfunktionen zu entwickeln, um die zügige Einführung des automatisierten Fahrens in der Praxis zu ermöglichen. Hierbei wurde der Autobahn-Chauffeur als zukunftsnahe Anwendungsbeispiel herangezogen (Klamroth, 2019). Gleichzeitig sollten die entsprechenden Erkenntnisse für das Setzen von Anforderungen an die Typgenehmigung von Level-3-Fahrzeugen genutzt werden.

1.1 Herausforderung automatisiertes Fahren

Die kooperative, vernetzte und in automatisierte Mobilität birgt großes Potenzial zur Reduzierung der Unfallzahlen – bei gleichzeitiger Erhöhung der Kapazität des Verkehrssystems. Beispielsweise könnten durch den „Autobahn-Chauffeur“ (Level-3-Autobahnssystem) bei einer Durchdringungsrate von 50 % rund 30 % aller Unfälle mit Personenschaden auf deutschen Autobahnen verhindert werden. Dies entspräche ca. 2 % aller Unfälle mit Personenschaden auf deutschen Straßen (Rösener, 2019).

Level 5: Das System übernimmt die Fahraufgabe vollständig, ausnahmslos und ohne Erwartung eines eingreifsbereiten Fahrers.

Level 4: System übernimmt die Fahraufgabe vollständig. Bei Ausbleiben einer erforderlichen Übernahme durch den Fahrer wird das System selbstständig in den risikominimalen Zustand kehren.

Level 3: System übernimmt die Fahraufgabe vollständig. Bei Erreichen von Systemgrenzen muss der Fahrer auf Aufforderung des Systems hin bereit sein, die Fahraufgabe wieder zu übernehmen.

Level 2: System übernimmt Quer- *und* Längsführung. Der Fahrer muss weiterhin *dauernd überwachen* und die Steuerung ggf. jederzeit übernehmen

Level 1: Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- *oder* die Längsführung aus. Die andere Fahraufgabe wird in Grenzen vom FAS ausgeführt

Level 0: Der Fahrer führt die Fahraufgabe selbstständig aus

Abbildung 1: Automatisierungsgrade in Anlehnung an SAE J3016 (Gasser, 2012)

Es werden fünf Stufen der Automatisierung von Fahrfunktionen nach SAE J3016 (siehe Abbildung 1) unterschieden. Insbesondere der Schritt von Level 2 zu Level 3 stellt einen Paradigmenwechsel dar, da hiermit erstmals die Verantwortung der Fahraufgabe vom Fahrzeugführer zeitweise an ein System übergeben wird.

Dieser Paradigmenwechsel ist auch eine Herausforderung für die Gesetzgebung, da die Übertragung der Fahraufgabe an automatisierte Systeme weitreichende Änderungen erfordert – sowohl im Verhaltens- als auch im Typgenehmigungsrecht. Der Schritt von Level 2 zu Level 3 ist nämlich dadurch charakterisiert, dass er sich auf das erlaubte Verhalten des Fahrers in Bezug auf die Ausführung der Fahraufgabe bezieht und nichts zur Fahrzeugtechnik und den Typgenehmigungsbedingungen aussagt. Um den Rollenwechsel zwischen Fahrer und Maschine aber auch praktisch möglich zu machen, muss ein Fahrzeug, das für das Fahren im Level 3 genutzt werden soll, entsprechend technisch ausgerüstet sein, um eine sichere Fahrt im automatisierten Modus gewährleisten zu können.

Um den Betrieb automatisierter Fahrzeuge in Deutschland zu ermöglichen, hat die Bundesregierung bereits 2017 das Straßenverkehrsgesetz überarbeitet. Damit ist die Nutzung automatisierter Fahrzeuge mit anwesendem Fahrer im Verkehr zwar prinzipiell möglich, die vor dem Inverkehrbringen nötige Genehmigung eines neuen Fahrzeugtyps und seiner Fahrfunktionen war zu diesem Zeitpunkt aber noch weitestgehend unregelt. Insofern waren auf internationaler Ebene umfangreiche Arbeiten nötig, die entsprechenden Typgenehmigungsanforderungen und –vorschriften zu entwickeln und fertig zu stellen.

Bei einer Level-3-Automation kann der Fahrer in einem vom Hersteller und ggf. zusätzlich vom Gesetzgeber klar definierten Anwendungsfall die Fahrzeugsteuerung vollständig an das System übertragen, sich von der Fahraufgabe abwenden und eine fahrfremde Tätigkeit ausüben. Eine Überwachungspflicht besteht nicht, allerdings muss der Fahrer jederzeit in der Lage sein, die Fahrzeugsteuerung wieder zu übernehmen, wenn das System ihn dazu auffordert. Gleiches gilt bei dem Auftreten von Fehlern, die die Fahrzeugsteuerung betreffen. Eine Übernahmeaufforderung erfolgt, wenn der definierte Anwendungsfall endet oder eine Systemgrenze erreicht wird. Letztere werden ab Level 3 vom jeweiligen System selbstständig erkannt. Werden sie erreicht, z. B. in Form einer Arbeitsstelle, die das System nicht alleine bewältigen kann, erfolgt mit ausreichendem Vorlauf eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer, um diesem die Fahraufgabe wieder vollständig zu übertragen.

1.2 Europäische Regelungen zur Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen (EU und UNECE)

In den EU-Mitgliedsstaaten ist die Genehmigung eines neuen Fahrzeugtyps der Klassen M, N und O einheitlich geregelt und unterliegt der Verordnung EU VO 2019/2144 sowie vormals der Richtlinie 2007/46/EG der EU-Kommission. Am 30. Mai 2018 wurde die Verordnung (EU) 2018/858 durch das Europäische Parlament beschlossen, welche die bisherige Zulassungsrichtlinie 2007/46/EG ablöst und ab dem 1. September 2020 die Grundlage der europäischen Typgenehmigung darstellt (Typgenehmigungsverfahren, 2019). Damit werden die Instrumente zur Marktüberwachung und zur Überprüfung der Produktkonformität gestärkt und die Bemessungsgrundlage zur Erteilung einer Typgenehmigung über den europäischen Raum harmonisiert.

Als Vertragsparteien der Abkommen von 1958 und 1998 beteiligen sich die EU-Mitgliedsstaaten in Arbeitsgruppen des „World Forum for Harmonisation of Vehicle Regulations“ der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe – Die Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen) aktiv an der technischen Ausgestaltung neuer und der Überarbeitung bestehender Regulierungen zur Typprüfung. Die dort beschlossenen Regulierungen werden nach Abstimmung meist in die europäischen Typgenehmigungsvorschriften übernommen. Sie bilden zusammen mit weiteren EU-spezifischen Vorgaben die technische Voraussetzung für das Erwirken einer europäischen Typgenehmigung.

In der Vergangenheit wurde im Bereich der aktiven Fahrzeugsicherheit eine neue Technologie erst entwickelt und anschließend standardisiert und im Falle, dass sich das System bewährt hat und seine erwartete Sicherheitswirkung zeigt, reguliert. Eindrückliche Beispiele hierfür sind die Einführung der Fahrdynamikregelung bei Pkw, der Notbremsassistenten bei Lkw oder das ABS bei Motorrädern. Die Herausforderung beim automatisierten Fahren besteht darin, dass Entwicklung, Standardisierung und Regulierung weitestgehend parallel ablaufen müssen, um mit der Geschwindigkeit der Entwicklung schrittzuhalten. Gleichzeitig kann man aber keine Erfahrungen mit automatisierten Fahrfunktionen im Realverkehr sammeln, da die Typgenehmigungsvorschriften ein automatisches Lenken bei Geschwindigkeiten über 10 km/h explizit verbieten.

Zur Genehmigung von teilautomatisierten Fahrzeugen wurde auf UNECE-Ebene die Regelung für Lenkanlagen (UN-R 79) seit dem Jahr 2016 umfassend überarbeitet und erweitert. In einem ersten Schritt wurden Anforderungen für Systeme zum assistierten Spurhalten und Fahrstreifenwechseln, für korrigierende Lenkeingriffe bei drohendem Verlassen der Fahrspur oder zum Ausweichen vor Objekten sowie für das automatisierte oder ferngesteuerte Parken von Fahrzeugen ergänzt. Die beschriebenen Systeme gehören maximal zum Automatisierungslevel 2 nach SAE. In der Zwischenzeit wurde entschieden, die Anforderungen für hoch- oder vollautomatisierte Systeme nicht als Ergänzung der UN-R 79, sondern als eigene Regelung für „Automated Lane Keeping Systems (ALKS)“ zu entwickeln und zur Entscheidung zu bringen. Die Arbeiten an dieser neuen

Regulierung sind seit März 2020 abgeschlossen und die neue Regelung UN-R157 (ALKS) ist am 22.01.2021 in Kraft getreten. Es ist somit erstmals möglich, eine Genehmigung einer automatisierten Fahrfunktionen nicht als Ausnahmegenehmigung, sondern auf Basis einer vorliegenden Vorschrift erlangen zu können.

Da es sich bei der Regelung für ALKS um die erste Vorschrift für ein automatisiertes Fahrsystem handelt, das die Fahraufgabe zeitweise vollständig übernehmen darf und bewältigen können muss, wurde die mögliche Funktionalität von ALKS in einem ersten Schritt sehr stark beschränkt, um die zu beherrschenden Situationen noch möglichst vollständig beschreiben und erste Erfahrungen mit derartigen Systemen sammeln zu können.

Es gelten daher folgende Einschränkungen für ALKS:

- Beschränkung auf Autobahnen
- Beschränkung auf Stausituationen bzw. niedrige Geschwindigkeiten von 0 - 60 km/h
- Beschränkung auf spurführende Systeme, kein automatischer Fahrstreifenwechsel möglich
- Beschränkung auf Fahrzeuge der Zulassungskategorie M1, N1 (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (Nfz)), keine Anwendung im Bereich schwerer Nfz möglich

Um diese weitreichenden Beschränkungen aufzulösen, wird seit Oktober 2019 in der UNECE Arbeitsgruppe „Functional Requirements for Automated Vehicles“ (FRAV) an generischen Anforderungen für die Zulassung automatisierter Fahrfunktionen gearbeitet, die auch in komplexeren Betriebsituationen als der Autobahnfahrt im Stau anwendbar sind. Parallel dazu befasst sich die Arbeitsgruppe „Validation Methods for Automated Driving“ (VMAD) seit März 2018 mit einheitlichen Methoden, um die Erfüllung dieser Anforderungen nachzuweisen. Dieser Nachweis soll dabei – laut aktuellem Diskussionsstand – aus einem Audit und einem Simulationsteil sowie zusätzlich aus physischen Tests auf Prüfgeländen und einer Beurteilungsfahrt auf öffentlichen Straßen bestehen.

Für die Beschreibung möglicher Validierungsszenarien wurde im deutschen Förderprojekt PEGASUS mit openSCENARIO und openDRIVE ein einheitliches Format entwickelt, welches inzwischen über ASAM e.V. (ASAM - Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM, 2019)) als frei zugänglicher Standard verfügbar ist und das in die Arbeiten der VMAD eingeflossen ist. Im Projekt PEGASUS wurden auch Ansätze erarbeitet, wie man der Fülle an möglichen Szenarien, denen ein automatisiertes Fahrzeug begegnen kann und die es bewältigen können muss, Herr wird, insbesondere in Bezug auf den Aspekt des Abprüfens, sowohl im Rahmen der internen Absicherungsprozesse des Herstellers als auch im Rahmen eine Typprüfung (siehe z.B. Ponn, 2019; Amersbach, 2017).

Ungeachtet dessen ist die Typgenehmigung durch einen entscheidenden Sachverhalt charakterisiert, der das Setzen von Anforderungen, gerade für eine Vielzahl möglicher Szenarien, erschwert: Eine Typgenehmigung kennt keine Graubereiche – es muss für jede Anforderung zwischen „bestanden“ und „nicht bestanden“ unterschieden werden können. Die Grenze zwischen diesen beiden Ergebnissen einer Typprüfung muss somit klar beschreiben werden. Da die Grenze nicht allein aus technisch-wissenschaftlichen Überlegungen heraus festgelegt werden kann, sondern eng mit der Frage zusammenhängt, welches Risiko man gesellschaftlich akzeptieren möchte, sind Diskussionen zwischen den beteiligten Vertragsparteien unabdingbar und Entscheidungen politischer Art erforderlich. Aufgabe der Wissenschaft ist es hierbei, genau darzulegen, für welche Szenarien und welche Parameter innerhalb der Abhängigkeiten zwischen physikalischen Größen, die die Szenarien beschreiben, es einer solchen Entscheidung bedarf.

1.2.1.1 Ausnahmegenehmigungen für neue Technologie

Da sich die Typgenehmigungsvorschriften bisher nur auf das automatisierte Fahren auf Autobahnen und dabei wiederum nur in der eigenen Spur bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h beschränken, kommt der Frage, wie trotzdem weitere Systeme für andere Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens eine Genehmigung erhalten können, Bedeutung zu. Diese Frage stellte sich auch bisher schon für jedwede neuen Systeme, für die noch keine entsprechenden Vorschriften existierten. Für diesen Fall waren und sind folgende Ausnahmen vom Regelprozess möglich:

Um die Einführung neuer Technologien zu unterstützen, sieht das europäische Zulassungsrecht einen Ausnahmeprozess für neue Techniken oder Konzepte nach 2007/46/EG Artikel 20 bzw. VO (EG) 2018/858 Artikel 39 vor. Demnach kann ein Mitgliedsstaat der EU auf Antrag eine Ausnahme von einem der im Anhang aufgeführten Rechtsakte (z. B. UN-Regelungen) für sein Hoheitsgebiet erteilen. Diese Ausnahme muss den anderen Mitgliedsstaaten umgehend mitgeteilt werden. Der erteilende Mitgliedsstaat kann die Ausnahme anschließend in den „Technischen Ausschuss – Kraftfahrzeuge“ (TCMV) unter Leitung der EU einbringen und dort über die Erlaubnis abstimmen lassen, diese Ausnahme als Teil einer EU-Typgenehmigung einzubringen. Wird diese Erlaubnis nicht erteilt, erlischt auch die nationale Ausnahme nach sechs Monaten. Wird eine europäische Ausnahme erteilt, ist im Nachgang eine Anpassung der bestehenden Gesetzgebung vorzunehmen (Guidelines EU, 2019).

In der bevorstehenden Einführungsphase automatisierter Fahrsysteme ist einerseits Innovation zu ermöglichen, andererseits ein entsprechendes Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Das erfordert gänzlich neue Ansätze. Die EU hat im vergangenen Jahr bereits ihren Prozess zum Erhalt von Ausnahmegenehmigungen überarbeitet und hinsichtlich der Anwendbarkeit für automatisierte Fahrfunktionen erweitert. Die von den Mitgliedsstaaten vereinbarten sogenannten „Safety

Guidelines“ sollen eine gemeinsame, einheitliche Bewertungsgrundlage der Sicherheit von automatisierten Fahrfunktionen (ab SAE Level 3) sicherstellen und als Basis für Ausnahmegenehmigungen dienen.

2. Voraussetzungen und Grundprinzipien für eine Regelung automatisierter Spurhaltesysteme

2.1 Erstellung international harmonisierter technischer Vorschriften für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen: UN-Regelung für ein erstes Level-3-System

2.1.1 Vorarbeiten bei den Vereinten Nationen zur Änderung der UN-Regelung Nr. 79 zur Ermöglichung automatischen Lenkens

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 vertreten sind stimmberechtigt die Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen (die sogenannten Vertragsparteien) sowie beratend diverse Nichtregierungsorganisationen, die beispielsweise die Fahrzeughersteller und Zulieferer vertreten. 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 sogenannte „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. Aufgrund der Menge an Themen, die hier bearbeitet werden (z. B. Bremse, Lenkung, Fahrerassistenz, Automatisierung), muss auch die GRVA Arbeit in die sogenannten Informal Working Groups delegieren, Arbeitsgruppen, die nur für die Bearbeitung von konkreten Fragestellungen eingerichtet sind.

Für die fahrzeugtechnischen Vorschriften auf UNECE-Ebene wurden unter maßgeblicher Mitwirkung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Bundesanstalt für Straßenwesen im Vorlauf zu den Arbeiten an einem ersten Level-3-System bereits Anpassungen an der Regelung Nr. 79 für kontinuierlich assistierte Lenkfunktionen (ACSF - Automatically Commanded Steering Functions) umgesetzt (UN Regulation No. 79, 2018).

Nötig waren die Änderungen der UN-Regelung Nr. 79 insbesondere deshalb, weil kontinuierliches automatisiertes Lenken, das systemseitig vorgenommen wird, für Geschwindigkeiten über 10 km/h zuvor explizit verboten war. Damit wäre auch jede Anwendung automatischer

Lenkfunktionen im Rahmen des automatisierten Fahrens verboten gewesen. Eine einfache Aufhebung des Verbotes wäre verbunden gewesen mit einem weiten Feld möglicher automatisierter Lenkfunktionen, für die es keine Anforderungen gegeben hätte. Aus diesem Grund hat man international harmonisierte Vorschriften für ACSF-Systeme entwickelt, um sicherzustellen, dass die Verkehrssicherheit durch Systeme mit automatischen Lenkfunktionen nicht beeinträchtigt wird.

Hier sind insbesondere die ACSF-Systeme der Kategorie A (Schlüsselparken), B1 (kontinuierliche Spurführungsunterstützung) und C (aktive Fahrstreifenwechselunterstützung) 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 vom Fahrer überwacht werden müssen und bei deren Einsatz der Fahrer jederzeit in der Verantwortung der Fahraufgabe verbleibt.

2.1.2 UN-Regelung Nr.157: Level-3-Spurhaltesystem

Die zuständige informelle Arbeitsgruppe, die die UN-Regelung Nr. 79 in Bezug auf automatische Lenkfunktionen (ACSF-Gruppe) überarbeitete, hatte anschließend 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 Querverführung (Lenken) auch die Längsführung des Fahrzeugs (Bremsen und Beschleunigen) komplett übernehmen und seine Funktionsgrenzen rechtzeitig selbst erkennen, um gegebenenfalls eine sichere Rückübergabe an den Fahrer mit der entsprechenden deutlichen Aufforderung und ausreichender Vorlaufzeit gewährleisten zu können.

Im März 2020 wurde ein neuer Regelungsentwurf mit Anforderungen für die ersten Level-3-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 Autobahnfahrt (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. Damit bekommen die ersten Fahrzeugsysteme zum automatisierten Fahren seit Anfang 2021 den nötigen internationalen Vorschriftenrahmen für die Typgenehmigung und Zulassungsmöglichkeit. ALKS ist das erste elektronische System im Fahrzeug, bei dem der Fahrer in Teilbereichen des Straßenverkehrs von der Pflicht zur Ausführung der Fahraufgabe zeitweise vollständig (hier im Stau auf der Autobahn bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h) entbunden werden kann, solange das Fahrzeug diese Aufgabe in den definierten Bereichen vollständig übernehmen kann. Ein ALKS muss somit während seines Betriebs Quer- und Längsführung des Fahrzeugs komplett und fehlerfrei ausführen können. Es muss vor dem Erreichen seiner

Systemgrenzen rechtzeitig eine sichere Rückübergabe an den Fahrer einleiten, die dem Fahrer 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 automatisiert ablaufender Fahrt, zum Beispiel aufgrund eines Fahrfehlers eines dritten Verkehrsteilnehmers, plötzlich eine kritische Situation auftritt, in der eine Übergabe an den Fahrer 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 meistern.

Sollte ein Fahrer trotz Übernahmeaufforderung nach einer bestimmten Zeit seiner Pflicht nicht nachgekommen sein, die Fahraufgabe wieder übernommen zu haben, muss das System ein risikominimierendes Manöver ausführen, das das Fahrzeug möglichst sicher zum Stehen bringt.

Die Erarbeitung der Vorschrift für ALKS war geprägt von intensiven Diskussionen, passende Anforderungen an das System zu finden, die sowohl den Möglichkeiten und Grenzen der neuen Technologie Rechnung trägt als auch klar an grundlegenden Sicherheitsprinzipien für den Straßenverkehr orientiert ist. Die BASt hat hier das BMVI in wesentlichen Punkten beraten und unterstützt, um dafür zu sorgen, dass die Regelung in ihren einzelnen zu spezifizierenden Punkten jeweils an übergeordneten Sicherheitsprinzipien ausgerichtet ist. Im Folgenden werden diese Prinzipien dargestellt und erörtert. Auch wenn diese zunächst nur bei der Entwicklung der UN-Regelung Nr. 157 (ALKS) zu Grunde gelegt wurden, sind sie ebenso für alle weiteren Arbeiten zur Erstellung von Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen wie z.B. in der FRAV gültig und können dementsprechend herangezogen werden.

2.2 Prinzipien der UN-Regelung Nr. 157 für ALKS

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

Die an das System gestellten Anforderungen wurden maßgeblich von Deutschland mitgestaltet, wobei auf die Expertise der BASt in Bezug auf die aktive Fahrzeugsicherheit und die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion zurückgegriffen wurde. Insbesondere sind hier die Anforderungen an die Kollisionsvermeidung und an die Übernahmeprozedur zu nennen. Gleiches gilt auch für die Vorgabe der vom System erfolgreich zu absolvierenden Tests in Form von Fahrversuchen.

Für das Setzen der Anforderungen bilden folgende Aspekte die Basis:

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 werden und sind die Vorschriften so auszugestaltet, 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 daraufgelegt, dass das System sich 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, die das automatisierte Fahrzeug quasi „herausfordern“ (Ponn, 2019), 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 kann und ggf. 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 Verkehrsteilnehmern 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 die sogenannte „mode confusion“ zu vermeiden. Diese beschreibt den Zustand eines Fahrers, der sich während der Fahrt unsicher ist, in welchem Modus sich das Fahrzeug aktuell befindet (Bredereke 2002, zitiert nach Kurpies, 2020). Besondere Bedeutung kommt hier nicht nur der Aktivierung, Deaktivierung und dem Überschreiben 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 Fahrer verlangt wird, und solange weiter sicher die Fahraufgabe durchführen, bis der Fahrer die Kontrolle wieder innehat. Und für den vom Fahrer zu verantwortendem Fall einer Nichtübernahme muss das System zusätzlich eine Rückfallebene in Form eines „Minimum Risk Manoeuvre“ (Fahrmanöver zum Erreichen eines sicheren Zustands) vorhalten.

2.2.1 Aktivierung und Deaktivierung

Eine Level-3-Fahrfunktion ist ein System, das im aktiven Systemzustand sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeuges übernimmt. Es muss daher systemseitig sichergestellt sein, dass das System vom Fahrer nur aktiviert werden kann, wenn auch alle Bedingungen (z.B. Umgebung, Straßenkategorie, Wetter) für eine regelgerechte Funktion des Systems in der dafür vorgesehenen Umgebung (ODD - Operational Design Domain) (SAE International, 2018) erfüllt sind. ALKS darf beispielsweise nur auf Straßen aktivierbar sein, auf denen Fußgänger und Radfahrer generell verboten sind und auf denen die Fahrstreifen für verschiedene Fahrtrichtungen physisch voneinander getrennt sind. Dies ist darin begründet, dass die ersten automatisierten Systeme dadurch eine möglichst überschaubare Anzahl und nicht zu komplexe Verkehrsszenarien zu bewältigen haben und die Anforderungen hierfür entsprechend vollständig gestellt und geregelt werden können.

Zusätzlich sollte ein System nur mit einer speziellen und exklusiven Bedienmöglichkeiten (z.B. Knopf oder Hebel) aktivierbar sein, damit Fehlaktivierungen vermieden werden. Der Fall, dass das System versehentlich vom Fahrer aktiviert wurde, wenn systemseitig alle Bedingungen in dieser Situation erfüllt waren, ist zwar relativ unkritisch, da die automatisierte Fahrfunktion die Fahraufgabe dann ja in einer sicheren Form übernimmt, ein schreck- oder fehlerhaftes Eingreifen oder Übersteuern des Systems durch den Fahrer könnte jedoch trotzdem passieren, wenn sich der Fahrer der Situation nicht bewusst ist. Das ständige Bewusstsein des Fahrers, in welchem Zustand sich das Fahrzeug derzeit befindet (sog. „mode awareness“) ist allerdings äußerst bedeutsam und sicherheitsrelevant. Zudem ist logischerweise das Bedienelement für die Aktivierung auch für die Deaktivierung des Systems vorgesehen. Die Deaktivierung des Systems und die Rückübernahme durch den Fahrer stellt für den sicheren Fahrzustand des Fahrzeugs aber den wesentlich kritischeren Vorgang dar.

Beim Setzen der Anforderung für das Deaktivieren des Systems stehen zwei prinzipielle Fragen im Vordergrund: Unter welchen Bedingungen soll eine Deaktivierung überhaupt erlaubt sein? Und wie soll eine Deaktivierung vonstattengehen?

Die erste Frage zielt darauf ab, dass eine Deaktivierung geordnet ablaufen muss, damit jederzeit klar ist, ob das System noch aktiv ist oder nicht. Weiterhin soll sich das System nicht abschalten können, solange der Fahrer gar nicht in der Lage ist, die Fahraufgabe selbst durchzuführen. Bei der zweiten Frage geht es um den Ablauf der Deaktivierung im Sinne einer Beschreibung der Prozedur sowie um die Arten und Weisen, wie eine Deaktivierung initiiert werden kann.

Darüber hinaus stellt sich eine nachgeordnete Frage zur unbeabsichtigten Deaktivierung, und ob man diese verhindern soll oder kann. Es könnten alle Bedingungen für eine Deaktivierung

vorliegen, so dass diese auch erfolgt, wenn der Fahrer dies per Eingabe auslöst, ohne dass die Deaktivierung gewünscht war, also versehentlich passierte, oder dass der Fahrer sich nicht darüber bewusst war, dass die gegebene Situation so komplex ist, dass eine Deaktivierung ihn in der Folge mit der Fahraufgabe überfordern würde. Hier ist es deshalb klar angezeigt, Vorkehrungen zu treffen, damit ein Deaktivierungswunsch eindeutig erkannt wird und geschützt ist gegenüber der versehentlichen Auslösung durch den Fahrer.

In Bezug auf die nicht versehentliche, also regelgerechte Deaktivierung stellt folgender Fall die Standardvariante dar: Die Deaktivierung erfolgt, nachdem eine Übernahmeaufforderung (siehe hierzu unten den Abschnitt 2.2.2 zur Transition) gegeben wurde und die Übernahme-prozedur erfolgreich abgeschlossen wurde. Das aktivierte System muss alle Situationen, in denen es die Steuerung zurück zum Fahrer übergeben muss, selbst erkennen. Die Einleitung der Übernahmeaufforderung muss so erfolgen, dass ausreichend Zeit für einen sicheren Übergang zum manuellen Fahren vorgehalten wird. Nachdem die Übernahme-prozedur erfolgreich abgeschlossen wurde, sollte sich das System dann automatisch deaktivieren, da dies die logisch erwartete Systemreaktion ist. An dieser Stelle gibt es für den Entwickler des Systems jedoch einen Haken. Woran kann man erkennen, dass die Übernahme komplett und erfolgreich abgeschlossen ist? Auch hierfür sind vom Gesetzgeber Anforderungen festzulegen, um zu bestimmen, wann man als Hersteller davon ausgehen darf, dass dem so ist. Die einfachste Variante ist hier, einen Schalter oder Knopf vorzusehen, mit Hilfe dessen der Fahrer bestätigt, dass er die Fahraufgabe erfolgreich übernommen hat. Weiterhin soll man auf eher implizite Größen zurückgreifen können: Das Betätigen der Lenkung mit einem bestimmten Moment oder Winkel, das Festhalten des Lenkrades für eine bestimmte Zeit oder das Festhalten des Lenkrades zusammen mit der Betätigung von Fahrpedalen (über einen gewissen Grad hinaus, um sicher in der Entscheidung zu sein) können solche Größen sein, an denen man eine erfolgreiche Übernahme festmachen darf. Sinnvoll wäre es außerdem, wenn das System dem Fahrer noch signalisierte, dass es die erfolgreiche Übernahme erkannt hat, und dass deswegen die Deaktivierung erfolgt.

Ein weiterer Fall kommt für die regelgerechte Deaktivierung zum Tragen: Der Fahrer könnte das System mit einem Schalter oder Knopf selbst deaktivieren – auch ohne, dass das System bereits vorher systemseitig dazu aufgefordert hätte, die Fahraufgabe zu übernehmen. Mit dem Betätigen des Knopfes würde die Transitions-prozedur wie gewohnt ablaufen, um dem Fahrer die nötige Zeit zu geben, die Bedienelemente sowie die Fahraufgabe im Griff zu haben, bis die finale Deaktivierung erfolgt. Natürlich könnte der Warncharakter der Übernahmeaufforderung abgeschwächt sein, da der Fahrer ja weiß, dass die Übernahme bevorsteht, da er selbst die Deaktivierung betätigt hat.

Eine dritte Art der regelgerechten Deaktivierung ist zu erörtern, nämlich eine Deaktivierung, die ausgelöst wird durch das bewusste Betätigen der Bedienelemente durch den Fahrer. Dies wäre

eine sehr intuitive Art, die Deaktivierung einzuleiten und zu übernehmen, indem man als Fahrer die Kontrolle über die Bedienelemente einfach real an sich nimmt. Die Gefahr bei einer solchen Übernahme und Deaktivierung ist aber, dass der Fahrer in das Wirken der Maschine eingreift und geklärt werden muss, wer gerade die Hoheit über die Fahraufgabe hat - noch die Maschine oder schon der Mensch. Auch hier muss die mode awareness sichergestellt werden.

Normalerweise sollte ein Level-3-System in der Lage sein, die dynamische Fahraufgabe komplett und in der ganzen ODD zu meistern. Dies beinhaltet, dass es eigentlich keinen Bedarf dafür gibt, dass der Fahrer in die Bedienelemente eingreift und die Fahraufgabe an sich zieht und das System damit quasi ausschaltet. Letzteres könnte zu der Situation führen, dass der Fahrer in dem Moment weniger gut mit der Fahrsituation zurechtkommt, als es das System gekonnt hätte oder der Fahrer und das System gegeneinander arbeiten. Außerdem muss wiederum festgelegt werden, wann das System davon ausgehen darf, dass es die Fahraufgabe nicht mehr auszuführen braucht, weil der Fahrer nun in der Verantwortung ist. Das können hier andere Kriterien und Maße sein, als die oben genannten bei der Übernahme nach systemseitig initiiertes Transition, müssen es aber nicht. Wenn man diese Möglichkeit der Deaktivierung dennoch vorsehen möchte, ist es wichtig, dass sichergestellt ist, dass die Bedienelemente nicht nur temporär zum kurzzeitigen Übersteuern des Systems bedient werden und dann eine Rückübertragung der Kontrolle an die Maschine erfolgt, sondern dass das System sich tatsächlich abschaltet, damit der Fahrer weiß und lernt, dass ein Eingriff in die Bedienelemente gleichzeitig heißt, dass er die Verantwortung zur Ausführung der Fahraufgabe dauerhaft zurückerlangt hat. Am deutlichsten wird dies durch das zusätzliche Ablaufen lassen der Transitionsprozedur im Falle des Eingreifens des Fahrers in die Bedienelemente. Dabei kann durchaus die zeitliche Abfolge der Transitionsschritte kürzer ausfallen als bei systemseitig initiiertes Transition. Damit hätte man für jeden Fall des Übersteuerns des Systems durch den Fahrer sichergestellt, dass die Übersteuerung möglich ist (es mag heute noch Situationen geben, die der Fahrer spontan selbst besser als das System lösen möchte), sie aber gleichzeitig mit einem Signal zur ordentlichen Übernahme verbunden wäre. Wichtig für das Übersteuern ist an dieser Stelle, dass Lenkeingriffe des Fahrers nur die laterale Kontrolle des Systems übersteuern, Bremsingriffe nur die longitudinale Kontrolle, und dass die Gesamtkontrolle erst nach erfolgreichem Abschluss der Übernahmeprozedur vom System an den Fahrer abgegeben wird (dies sollte dem Fahrer auch hier, wie oben beschrieben, angezeigt werden). Ein Sonderfall sind Übersteuerungen durch Betätigung des Fahrpedals zum Beschleunigen. Hier muss sichergestellt sein, dass der Fahrer die Hände am Lenkrad hat und dass man nicht über die aktuelle systemseitige Maximalgeschwindigkeit beschleunigen kann.

Schließlich kann man noch diskutieren, ob es auch nach der Deaktivierung und der Übernahme noch systemseitige Eingriffe oder Unterstützung für den Fahrer für laterale oder longitudinale Bewegungen des Fahrzeugs geben sollte. Hier muss man klar unterscheiden zwischen

kontinuierlicher, dauerhafter Unterstützung und kurzzeitigen korrigierenden oder stabilisierenden Eingriffen. Erstere gehören zur Wirkweise B (kontinuierliche Systeme, für die die bekannten Automatisierungslevel anwendbar sind) und letztere gehören zur Wirkweise C (für den kurzzeitigen Eingriff bei abstrakter oder konkreter Gefahr) (Shi, 2020). Es steht außer Frage, dass ein Fahrzeug jederzeit die verbauten Notfallsysteme der Wirkweise C nutzen können darf, um Unfälle zu verhindern und Schaden an Personen oder Sachen zu verhindern oder zu mindern. Hier sind Systeme wie Notbremsassistentz, Fahrdynamikregelung oder Seitenwindstabilisation zu nennen. Dafür, dass man nach Systemdeaktivierung auch das Wirken von kontinuierlichen Level-1- bzw. Level-2-Systemen wie Spurhaltesysteme oder Geschwindigkeitsregelanlagen erlaubt, spricht, dass auch diese Systeme eine Unterstützung für die Fahrer liefern, sich sicher im Verkehr zu bewegen, indem z.B. der Fahrstreifen oder der Abstand zum Vorausfahrenden eingehalten wird. Dagegen spricht, dass es hier sehr leicht zu einer Verwechslung durch den Fahrer kommen kann, was den Modus betrifft, in dem er sich gerade befindet (mode confusion). Eine perfekte kontinuierliche Unterstützung durch ein Level-2-System nach Deaktivierung des Level-3-Systems könnte den Fahrer dazu verleiten anzunehmen, er befände sich noch im Level 3 und das System wäre nicht deaktiviert. Damit wäre dem Fahrer nicht klar, welches System gerade aktiv ist und welche Pflichten in Bezug auf die Fahraufgabe er gerade hat bzw. das System innehält. Lösen lässt sich dieses Problem höchstens dann, wenn man trotz des Wirkens kontinuierlicher Systeme nach der Deaktivierung des Level-3-Systems auf andere Weise sicherstellen kann, dass mode confusion ausgeschlossen wird.

2.2.2 Transition

Dem Aspekt der Übergabe der Fahraufgabe vom menschlichen Fahrer auf das technische System und wieder zurück, der sogenannten Transition, muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da sich Mensch und System bei der Interaktion nicht negativ beeinflussen sollten und trotz des Prozesses der Transition immer ein sicherer Fahrzustand gewährleistet sein muss. Insbesondere sollte die Transition so ablaufen, dass die Verantwortung für die Fahraufgabe jederzeit klar einem der beiden Akteure zugeordnet werden kann.

Speziell bei Level-3-Systemen werden diese Übergaben regelmäßig vorkommen, da der Betriebsbereich des Systems, die ODD, in der Regel eingeschränkt ist und man so mehr oder weniger oft die Grenzen der ODD erreichen wird. Dann (nur dann) muss der Fahrer mit einer gewissen Vorlaufzeit und nach Aufforderung zur Übernahme als Rückfallebene für das System zur Verfügung stehen.

Den einfacheren Fall stellt der Übergang der Fahraufgabe vom menschlichen Fahrer auf die Maschine dar. Das System kann dem Fahrer eindeutig signalisieren, wann es bereit ist, die Fahraufgabe zu übernehmen. So lange das System nicht bereit ist, kann der Fahrer die Fahraufgabe

nicht an die Maschine abgeben. Das stellt keinerlei Problem dar, weil der Fahrer weiterhin wie beim normalen manuellen Fahren alle Fahraufgaben bewältigen kann. Aufgrund seiner Fähigkeiten in Bezug auf das Führen eines Fahrzeugs sollte der Mensch hierbei nicht an seine Grenzen stoßen.

Den komplizierteren Fall stellt die Rückübernahme der Fahraufgabe von der Maschine durch den menschlichen Fahrer dar. Aufgrund der möglichen funktionellen Einschränkungen von Level-3-Systemen hat eine Übernahmeaufforderung vom System an den Fahrer meist den Grund, dass das System an seine funktionalen Grenzen kommt und die Fahraufgabe eben nicht mehr weiter vollumfänglich selbst ausführen kann. Hier gibt es die einfache Option aus dem obigen ersten Fall (Mensch übergibt an System), die Übernahme risikolos einfach zu verweigern, daher nicht. Es ist hier die Verpflichtung des Fahrers, die Fahraufgabe wieder zu übernehmen. Wie unten in 2.2.3 beschrieben, wäre eine letzte Option, ein MRM (Minimum Risk Manoeuvre) durchzuführen, um das Fahrzeug in einem sicheren Zustand zu halten, falls der Fahrer seiner Verpflichtung nicht nachkommt. Der Regelfall bei einer Transition sollte jedoch die ordentliche Rückübernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer sein. Der Fahrer war jedoch zuvor, während das System aktiv war, komplett von der Fahraufgabe und den dazugehörigen Pflichten entkoppelt. Damit der Fahrer also seiner Fahraufgabe wieder nachkommen kann, braucht dieser eine eindeutige Aufforderung des Systems, dies zu tun (siehe u.a. Abb. 2); er braucht außerdem eine gewisse Vorlaufzeit zur Rückorientierung zu den Bedienelementen des Fahrzeugs und zum Erfassen der Verkehrssituation. Das automatisierte System muss die Ausübung der Fahraufgabe während diese Übergangszeit zwischen Beginn der Übernahmeaufforderung und tatsächlicher Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer (s.o. Deaktivierung des Systems) noch in vollem Funktionsumfang bewältigen können, d.h. es muss eine gewisse „Voraussicht“ für die kommende Fahrsituation, die es nicht mehr bewältigen können wird, besitzen.

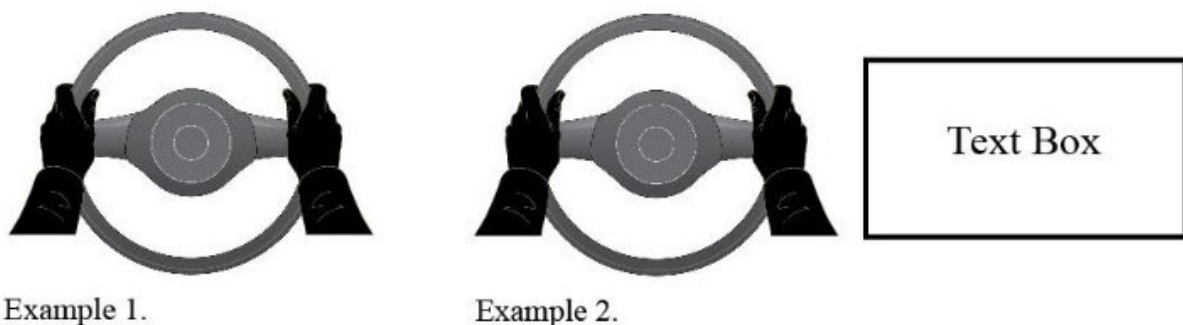


Abbildung 2: Beispiele der optischen Anzeigemöglichkeit aus der UN-R 157 für die Aufforderung zur Wiederübernahme der „manuellen Fahrt“

Wie lange diese Übergabezeit (gemeint ist nicht die Zeit, die der Fahrer bis zur Übernahme braucht, sondern die Zeitreserve, die dafür zur Verfügung steht) in der Transitionsphase sein und mindestens vom System überbrückt werden können muss, ist in einigen Studien für Level-3-Systeme unter den verschiedensten Aspekten untersucht worden (siehe z. B. Frey, 2019; Frey, 2021; Klamroth, 2019). Einerseits gilt es, dass technisch Realisierbare für eine Mindestanforderung in einer Regelung zu beachten und andererseits natürlich die Möglichkeiten, Fähigkeiten und Beschränkungen wie z.B. Reaktions- und Orientierungszeiten eines menschlichen Fahrers zu berücksichtigen. Eine Übergabeprozedur, mit der der Mensch nicht zurechtkommt, darf nicht typgenehmigungsfähig sein. Grundsätzlich ist bei den verschiedenen Studien zu Transitionen bei Nutzung eines Level-3-Systems das Versuchsdesign genau zu betrachten, um eine Vergleichbarkeit und korrekte Interpretation der Ergebnisse gewährleisten zu können.

Untersuchungen zu Übernahmezeiten bei Nutzung eines Level-3-Systems wurden u. a. im Projekt PEGASUS durchgeführt. Hierbei wurden bei Fahrten im realen Straßenverkehr (auf der Autobahn) mehrere Übernahmeaufforderung vor Autobahnabfahrten ausgelöst. Anschließend erfolgte eine Analyse der Übernahmezeit, welche definiert ist als die Dauer zwischen der Übernahmeaufforderung und dem Bestätigen der Übernahmefähigkeit mittels Drücken eines Knopfes durch den Probanden. Die Teilnehmer benötigten durchschnittlich drei bis vier Sekunden, um die Fahrzeugsteuerung wieder vollständig zu übernehmen, allerdings wurde hierbei die vorherige Absicherung im Verkehrsraum oft vernachlässigt. Zudem konnte die fahrfremde Tätigkeit ohne Verzögerung beendet werden, da hier nur die Beschäftigung mit dem Board-Entertainment gestattet war. Dies gilt es bei der Einordnung der Übernahmezeiten zu berücksichtigen (Klamroth, 2019).

Zudem erfolgten bspw. im Projekt Ko-HAF Untersuchungen zur Vigilanz während Level-2- und Level-3-Fahrten. Unter Vigilanz versteht man die Fähigkeit eines Menschen, die Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten, um auf bestimmte Reize reagieren zu können. Der Fahrerzustand während einer Level-3-Fahrt kann sich grundlegend von dem einer assistierten Level-2-Fahrt unterscheiden. Die Vigilanz, und damit die Bereitschaft einer schnelleren Übernahme der Fahraufgabe, kann in Level 3 durch die Durchführung einer fahrfremden Tätigkeit höher sein als in Level 2. Sie kann aber auch deutlich niedriger sein, wenn der menschliche Fahrer während der Level-3-Fahrt gar nichts tut oder vielleicht nur vor sich hin tagträumt (Frey, 2021).

Für die Diskussionen in der UN-Arbeitsgruppe zu ALKS hatte das zur Folge, dass für die Transitionsphase ein Ansatz mit einer mehrstufigen Warnkaskade mit einer gewissen Mindestzeit gewählt wurde. In den ersten 4 s der Transition ist eine einfache optische (s. Beispiele in Abbildung 2) zusammen mit einer akustischen oder haptischen Aufforderung ausreichend, da die Studien gezeigt haben, dass in dieser Zeit ein Großteil der Fahrer im Normalfall die Fahraufgabe wieder übernimmt

und daher keine deutlichere Aufforderung notwendig scheint. Je nach Fahrsituation oder Fahrerzustand kann die Übernahmezeit aber auch deutlich länger dauern (siehe z. B. Klamroth, 2019; Vogelpohl, 2016; Vogelpohl, 2017). Dies wurde bei ALKS mit einer Eskalation der Übernahmeaufforderung spätestens nach den ersten 4 s berücksichtigt. Die Aufforderung muss dann eine haptische Komponente enthalten, die zusammen mit den anderen Warnkanälen auch im Aufforderungscharakter gesteigert werden muss. Frühestens 10 s nach Beginn der Übernahmeaufforderung darf dann vom System ein MRM begonnen werden (Ausnahmen unter 2.2.10). Bis zur vollständigen Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer oder bis zum Ende des MRM verbleibt die Kontrolle und die Verantwortung über die Fahraufgabe beim automatisierten System.

2.2.3 MRM

Kann eine Übernahmeaufforderung durch das System an den Fahrer nicht erfolgreich abgeschlossen werden, d.h. der Fahrer übernimmt die Steuerung des Fahrzeugs nicht wieder oder nur unvollständig, obwohl er eindrücklich dazu aufgefordert wurde, dann könnte man davon ausgehen, dass die Verantwortung trotzdem an den Fahrer übertragen wurde und das System abschalten kann, da es seiner Verpflichtung des Gebens einer Übernahmeaufforderung nachgekommen ist. Dass dies unnötigerweise zu gefährlichen Situationen im Straßenverkehr führen würde, ist offensichtlich, denn die Technik, eine bessere Lösung herbeizuführen, ist in einem Fahrzeug mit Level-3-Funktionalität ja ohnehin verbaut, während Fahrzeuge mit reinen Assistenzsystemen beispielsweise nach einer entsprechenden Warnung diese Assistenzfunktion durchaus einfach abschalten können, wenn es nicht anderweitig vorgeschrieben ist, da Assistenzsysteme rein unterstützende Systeme für den Fahrer sind und dieser beim assistierten Fahren in jedem Fall permanent die Fahraufgabe wahrnimmt. Dementsprechend ist die Anforderung gerechtfertigt, dass das Fahrzeug nach nicht erfolgreicher Übernahme mit einem gesonderten Manöver in einen risikominimalen Zustand gebracht werden muss, da das automatisierte Fahrsystem die Fahraufgabe offensichtlich nicht weiter übernehmen kann und das Fahrzeug ansonsten fahrerlos weiterfahren würde. Zum Erreichen eines risikominimalen Zustandes des Fahrzeugs muss daher noch von dem automatisierten System kontrolliert ein sogenanntes MRM (Minimum Risk Manoeuvre) durchgeführt werden, um das Fahrzeug bis zum Stillstand zu bringen. Zur Bewertung, ob der Stillstand des Fahrzeugs in der gegebenen Verkehrssituation tatsächlich der risikominimale Zustand für alle direkt und indirekt Beteiligten ist, ist es entscheidend, wie und wo der Stillstand herbeigeführt wird. Der technisch einfachste Fall ist das Anhalten im eigenen Fahrstreifen. Der technisch wesentlich anspruchsvollere, aber in vielen Situationen wahrscheinlich risikominimalere Zustand wäre der Stillstand des Fahrzeugs außerhalb der Fahrstreifen, also auf einem Standstreifen,

einer Nothaltebucht oder zumindest auf dem Fahrstreifen mit der normal geringsten Verkehrsgeschwindigkeit bei mehreren Fahrstreifen in eine Richtung. Dies würde jedoch einen technisch anspruchsvollen, automatisierten Fahrstreifenwechsel während des MRM voraussetzen, der gut abgesichert werden muss, um dadurch nicht ein zusätzliches Risiko für andere Verkehrsteilnehmer zu induzieren. Auch ist es abhängig vom umgebenden Verkehr, ob der Seitenstreifen in einem vorgegebenen Zeitkontingent erreicht werden kann.

Im Forschungsprojekt „Risikobewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeugs in den sog. sicheren Zustand“ wurden hierzu schon technische und rechtliche Herausforderungen im Detail und sehr umfangreich (nicht nur auf kontinuierliche Automatisierung im Level-3 bezogen) betrachtet (Meyna, 2016). Dabei zeigte sich vor allem, dass die Wahl des besten MRM extrem von der Ausgangssituation abhängt.

Während der Projektlaufzeit haben sich die in Fachkreisen verwendeten Begrifflichkeiten von „sicheren Zustand“ zu „risikominimalen Zustand“ verschoben aufgrund der Einsicht, dass der vormalig verwendete Begriff absolute Sicherheit implizieren würde, die aber nicht erreicht werden kann. In diesem Forschungsprojekt zeigt sich vor allem, dass die beiden betrachteten Varianten des Anhaltens eines Fahrzeuges, a) im zuvor befahrenen Fahrstreifen, b) am Fahrbahnrand, vor allem auf Bundesautobahnen zu Zielkonflikten zwischen der Sicherheit automatisierter Steuerung, Kooperation anderer Verkehrsteilnehmer und verbleibender Gefahr im Endzustand des stehenden Fahrzeuges führen können. Insbesondere der Fahrstreifenwechsel kann eine erhebliche Herausforderung darstellen.

Mit diesem Grundlagenprojekt sollte ein Konzept zur Sicherheitsbewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des automatischen Überführens eines sich in der Ausgangssituation zwischen Level 0 bis Level 4 befindlichen Fahrzeuges in den risikominimalen Zustand erstellt, deren Wirkung unter technischen und rechtlichen Prämissen beschrieben und Empfehlungen im Hinblick auf weitere erforderliche Forschungsfragen abgeleitet werden. Ausgangspunkt war, dass in Bezug auf das automatische Überführen eines Fahrzeuges in den sicheren (risikominimalen) Zustand unterschiedliche Ansätze je nach Straßenklasse (Autobahn oder autobahnähnliche Straßen) denkbar sind und hierfür keine ausreichenden Kenntnisse über deren Sicherheitswirkung vorlagen.

Für die Beschreibung der unterschiedlichen Umsetzungsszenarien wird auf die Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen der BASt (Gasser, 2012) und auf die Zuordnung zu den Wirkweisen in den Grundkategorien informierende und warnende Funktionen (A), kontinuierlich automatisierende Funktionen (B) und temporär in unfallgeneigten Situationen eingreifende Funktionen (C) zurückgegriffen. Auf dieser Grundlage wurden zunächst für die einzelnen Wirkweisen im Kontext der Automatisierungsgrade bekannte Assistenzstrategien dargestellt und die damit verbundenen Risikopotenziale spezifiziert.

Für die kontinuierlich automatisierten Systeme der Wirkweise B (Level 2 bis 4), die unmittelbar auf die Fahrzeugsteuerung wirken, wurden funktionale Sicherheitsarchitekturen (einschließlich Zustandsdiagramme) entwickelt und bewertet.

Im Kontext der Wirkweise C mit Funktionen, die in unfallgeneigten Situationen temporär eingreifend auf die Fahrzeugsteuerung wirken, wurden Risikopotenziale von Not- und Gefahrenbremssystemen und Bremsausweichassistenten dargestellt und anhand des medizinisch indizierten Nothalteassistenten bewertet.

Die Entwicklung von Szenarien für die Überführung eines automatisiert gesteuerten Fahrzeugs in den sog. risikominimalen Zustand erfolgte in dem Forschungsprojekt im Kontext von Modulen für erforderliche Fahrstreifenwechsel je nach Ausgangsposition des betroffenen Fahrzeuges (vierstreifige Richtungsfahrbahn und Seitenstreifen) auf der Autobahn. Modul 1-0 ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Überführung des funktionseingeschränkten Fahrzeugs vom rechten Fahrstreifen auf den Seitenstreifen erfolgt. Modul 2-1 beschreibt die Überführung des Fahrzeugs von Fahrstreifen 2 nach 1 (rechten Fahrstreifen), Modul 3-2 von Fahrstreifen 3 nach 2 und Modul 4-3 von Fahrstreifen 4 nach 3. Diese modularen Szenarien der Überführung eines Fahrzeugs in den risikominimalen Zustand auf Grundlage der hierfür erforderlichen Fahrstreifenwechselmanöver werden anhand Boolescher Modellbildung formal beschrieben.

Die rechtliche Beurteilung der Überführung von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Automatisierungsstufen in den risikominimalen Zustand bezieht sich in dem Projekt gleichermaßen auf die Straßenklassen Autobahn oder autobahnähnliche Straßen. Betrachtet wird das Halten auf dem Fahrstreifen und das Halten auf dem Seitenstreifen einschließlich des erforderlichen Fahrstreifenwechsels.

Im Hinblick auf Produktfehler im Rahmen von Produkthaftung wird in dem Projekt dabei festgestellt, dass ein Fehler nicht allein aufgrund der Systemgrenze des Anhaltens auf dem eigenen Fahrstreifen an Stelle des sichereren Anhaltens auf dem Seitenstreifen angenommen werden kann, solange diese Leistungsanforderung nicht verbindlich vorgeschrieben ist oder sich als Stand der Technik durchgesetzt hat. Weiterhin wird hinsichtlich der Ausführung des Fahrmanövers festgestellt, dass diese noch für andere Verkehrsteilnehmer voraussehbar erscheinen müssen.

Hinsichtlich der Haftung des Fahrzeughalters wird darauf hingewiesen, dass die Komplexität und Variabilität von Verkehrssituationen in Bezug auf zu wählende Strategien für das MRM und den risikominimalen Zustand generelle Feststellungen kaum zulassen. Im Hinblick auf die vorliegende zentrale Fragestellung zur Gefährlichkeit der Endzustände des Anhaltens auf dem eigenen Fahrstreifen sowie dem Wechseln bis auf den Seitenstreifen, ist die Gefährlichkeit maßgeblich von der jeweiligen Verkehrssituation abhängig und lässt sich nicht abstrakt beantworten.

Für das Typgenehmigungsrecht wird für Automatisierungslevel 3 eine Ausstattungsverpflichtung mit MRM darin gesehen, dass die abstrakte Gefahr einer nicht erfolgreichen Übernahme erst durch die Automatisierungsfunktion herbeigeführt wird und man der Gefahr daher mit technischen Maßnahmen begegnen muss.

Als Ergebnis des Forschungsprojekts „Risikobewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeugs in den sog. sicheren Zustand“ zeigt die rechtliche Bewertung auf, dass automatisierte Fahrzeuge in Level 3 und 4 über ein Überführungssystem in den risikominimalen Zustand verfügen sollten, um produkthaftungsrechtlichen Anforderungen als auch den allgemeinen zulassungsrechtlichen Sicherheitsanforderungen entsprechen zu können. Weiter lässt sich folgern, dass Überführungssysteme den risikominimalen Zustand in Abhängigkeit von den technischen Möglichkeiten grundsätzlich sowohl durch Anhalten auf dem Fahrstreifen als auch durch Anhalten auf dem Seitenstreifen herbeiführen können. Allerdings ist mit Blick auf Automatisierungsgrade ab Level 3 im Einzelfall je nach Systemleistungsfähigkeit und Stand der Technik zu entscheiden, ob die Gefahren eines Haltens auf dem Fahrstreifen hinnehmbar sind. Während der Überführung in den risikominimalen Zustand müssen die Fahrvorgänge durch die Überführungssysteme so gestaltet werden, dass sie für die übrigen Fahrzeugführer möglichst vorhersehbar bleiben.

Für die Anforderungen an ein MRM bei einem ALKS wurde daher folgendes in der UN-Regelung Nr. 157 in einem ersten Schritt umgesetzt:

Während des MRM muss das Fahrzeug innerhalb der Fahrspur oder, falls die Fahrbahnmarkierungen nicht sichtbar sind, unter Berücksichtigung des Verkehrs und der vorhandenen Straßeninfrastruktur auf einer geeigneten Fahrtrajektorie bleiben und mit einer angestrebten Verzögerung von nicht mehr als $4,0 \text{ m/s}^2$ abgebremst werden. Höhere Verzögerungswerte sind nur für sehr kurze Dauern, z.B. als haptische Warnung zur Stimulierung der Fahreraufmerksamkeit oder bei schwerwiegenden ALKS- oder Fahrzeugfehlern, zulässig, um für folgende Fahrzeuge keine unerwarteten und kritischen Bremsungen zu erzeugen. Zusätzlich muss mit dem Beginn des MRM die Warnblinkanlage eingeschaltet werden, um den umgebenden Verkehr zu warnen. Das MRM muss das Fahrzeug zum Stillstand bringen, es sei denn, das System wird vom Fahrer während des Manövers deaktiviert oder übersteuert. Ein MRM darf erst beendet werden, wenn das System deaktiviert ist oder das System das Fahrzeug zum Stillstand gebracht hat. Die Warnblinkanlage bleibt aktiviert und das Fahrzeug darf sich nach dem Stillstand ohne manuelle Fahrereingabe nicht wieder fortbewegen.

Bei ALKS ist derzeit also nur die technisch einfache zu lösende Option für ein MRM umgesetzt, im eigenen Fahrstreifen anzuhalten. Man ist sich bei der UNECE der Potenziale und der situationsbedingten Notwendigkeit, während eines MRM auch einen automatisierten Fahrstreifenwechsel durchführen zu können, aber bewusst und es wird an den entsprechenden Anforderungen zur sicheren Durchführung derartiger Fahrstreifenwechsel bereits gearbeitet.

2.2.4 Geschwindigkeiten

Anforderungen an ALKS müssen sich auch auf die Geschwindigkeit beziehen, mit der das System das Fahrzeug fahren lassen darf. Um diesen Aspekt korrekt zu beschreiben, ist zunächst eine Begriffsdefinition für „Geschwindigkeit“ erforderlich, da es nicht *die* eine Geschwindigkeit des Fahrzeugs gibt, die alle Situationen umfassend und richtig beschreibt.

Verschiedene Ausgestaltungen von ALKS könnten in Kategorien zusammengefasst werden, die man am Geschwindigkeitsbereich festmacht, den die Systeme abdecken dürfen. Beispielsweise könnte man ein System für Geschwindigkeiten von 0 bis 30 km/h regeln, sowie eines von 0 bis 60 km/h. Eine Kategorie von Systemen wäre dann gekennzeichnet durch die „Kategoriegeschwindigkeit“, ausgedrückt durch v_{\min_cat} und v_{\max_cat} .

Steht die Kategorie fest (bei ALKS wurde die Vorschrift final für genau eine Kategorie, nämlich die von 0 bis 60 km/h erstellt), ergeben sich weitere Minimal- bzw. Maximalgeschwindigkeiten. Der Hersteller könnte vorgeben und angeben, dass sein System nur Geschwindigkeiten bis zu einem Wert v_{s_max} , nämlich der spezifizierten Geschwindigkeit, operiert. Höhere Geschwindigkeiten würden somit von vorneherein außerhalb der ODD liegen. Die spezifizierte Geschwindigkeit muss natürlich innerhalb der Kategoriegeschwindigkeit liegen. Eine spezifizierte minimale Geschwindigkeit ist im Rahmen der diskutierten Level-3-Systeme aus folgenden Gründen nicht sinnvoll: Zum einen muss das Fahrzeug spätestens bei nicht erfolgter Übernahme im Rahmen eines „Minimal Risk Manoeuvres“ (MRM) bis auf 0 km/h herunterbremsen können. Zum anderen könnte es die Verkehrssituation in der Normalfahrt bedingen, dass man nach unten aus dem Geschwindigkeitsbereich herausfällt, ohne dass genügend Zeit für eine Übernahmeprozedur bliebe. Die Zeitreserve für die Übernahme ist jedoch eine entscheidende Größe für die Genehmigung von automatisierten Fahrfunktionen im Level-3 überhaupt, so dass man sich hier auch keine Ausnahmen vorstellen kann.

Im Grunde stellt die spezifizierte Geschwindigkeit v_{s_max} den Geschwindigkeitshöchstwert für die ODD dar, die unter Bestbedingungen fahrbar ist. Nun sind jedoch die äußeren Bedingungen im Laufe einer Fahrt oder des Fahrzeuglebens nicht immer optimal. Umweltbedingungen wie Wettereinflüsse oder leichte Verschmutzungen können die sensorischen Fähigkeiten des Fahrzeugs graduell einschränken, so dass die ODD zwar nicht verlassen wird, sich diese aber in Bezug auf die fahrbare Geschwindigkeit einschränkt. Das System dürfte dann bei freier Fahrt das Fahrzeug nicht

schneller fahren lassen als diese Maximalgeschwindigkeit v_{max} . Somit dürfte v_{max} nie höher sein als $v_{\text{s_max}}$.

Der umgebende Verkehr kann dazu führen, dass nicht freie, sondern gebundene Fahrt herrscht; die Kurvigkeit der Straßen kann dazu führen, dass bestimmte Geschwindigkeiten eine zu hohe Querbeschleunigung hervorrufen; die unklare Verkehrssituation kann dazu führen, zunächst die Geschwindigkeit reduzieren zu müssen; die Geschwindigkeit könnte aus Spritspargründen niedriger sein als erlaubt. All diese Gründe zeigen auf, dass die finale aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs bei aktiviertem System (v_{now}) bei beliebigen Werten liegen kann, wobei v_{now} nicht über v_{max} liegen darf.

Auch wenn nicht alle Geschwindigkeiten in einer Vorschrift für Level -3-Systeme erwähnt oder spezifiziert werden müssen, so ist es doch erforderlich, ein Verständnis über diese Fallunterscheidungen herbeizuführen, um sicherzugehen, welche Geschwindigkeit in welchem Fall beim Setzen von Anforderungen gemeint ist.

2.2.5 Settings

Die Automatisierung der Stausituation bringt vor allem Komfortgewinne für den Fahrer, da Nebentätigkeiten ermöglicht werden. Bei einer Komfortfunktion liegt es nahe, dass der Fahrer auch Einstellungen vornehmen kann, wie die Fahraufgabe ausgeführt werden soll. Es ist selbstredend, dass eine Einstellung durch den Fahrer nichts an den durch die Sicherheitsanforderungen gegebenen Grenzen ändern kann, beispielsweise die gerade gültigen Verkehrsregeln einzuhalten. Man kann sich jedoch durchaus vorstellen, dass der Fahrer für freien Verkehr niedrigere Geschwindigkeiten in Bezug auf die maximale vom System gefahrene Geschwindigkeit festlegen möchte. Hier kann es aber dann dazu kommen, dass die ODD früher verlassen wird und es zu einer Übernahmeaufforderung kommt, wenn z.B. durch Verkehrszeichen eine Mindestgeschwindigkeit vorgegeben wird oder wenn der übrige freie Verkehr so schnell ist, dass es zu hohen Differenzgeschwindigkeiten käme, das Fahrzeug also ein Hindernis für die übrigen Verkehrsteilnehmer darstellte. Gleiches kann im gebundenen Verkehr auftreten, wenn sich die gebundene Situation auflöst und der umgebende Verkehr wieder deutlich schneller fährt. Genauso wie für die Geschwindigkeit könnte man sich eine Begrenzung der maximalen Querbeschleunigung vorstellen, wenn man über den Anwendungsfall Autobahn hinausdenkt. Auch beim Abstand wäre die Wahl eines größeren als des systemseitig vorgesehenen Abstands denkbar. Jedoch variiert der Abstand mit der Geschwindigkeit, so dass hier eine Zeitlücke einstellbar sein könnte, die größer ist als die systemseitige Zeitlücke. Die Gefahr dabei ist jedoch, dass sich so Lücken bilden können, in die immer wieder andere Fahrzeuge einscheren und wiederum den Verkehrsfluss im Fahrstreifen des EGO-Fahrzeugs hemmen. Da ein System des Levels-3 vom Hersteller ohnehin so ausgelegt sein muss, dass es alle Situationen in der ODD meistert und es

traditionell die Aufgabe der Hersteller und nicht des Gesetzgebers ist, für komfortable Systemauslegungen zu sorgen, kann man hinterfragen, ob es überhaupt nötig ist, Settings zuzulassen. Wenn man dies doch tut, ist wichtig, dass die Settings über andere Eingabelemente vorgenommen werden als über die Bedienelemente für das normale Fahren (Lenkung, Bremse, Fahrtrichtungsanzeiger etc.), um auszuschließen, dass Verwechslungen auftreten oder versehentlich Einstellungen vorgenommen werden, die der Fahrer gar nicht beabsichtigt.

2.2.6 Anzeige des Systemstatus

Die Sicherstellung von mode awareness bzw. die Vermeidung von mode confusion kommt beim automatisierten Fahren im Level-3, in dem immer wieder eine Rollenübergabe zwischen Fahrer und System stattfindet, eine hohe Bedeutung zu. Da das Fahren im automatisierten Modus neu ist und bisher keiner ggf. regional abhängigen Tradition unterliegt, besteht die Möglichkeit, die Anzeige des Modus einheitlich und einzigartig zu gestalten. Eine Einheitlichkeit hat hier den Vorteil, dass beim Wechsel eines Fahrzeugs auch im anderen Modell das gleiche Grundprinzip beim Anzeigekonzept herrscht und nicht jedes Mal neu gelernt werden muss, was die Anzeigen bedeuten. Eine farbige Anzeige im direkten Sichtfeld des Fahrers für die verschiedenen Varianten des Systemstatus (aus, Level-3, Transition) könnte eine Lösung sein, stellt aus Sicht der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion jedoch nicht alleinig die optimale Lösung im Hinblick auf die mögliche Deutlichkeit und Eindeutigkeit dar. Eine einheitliche, standardisierte Farbe für die Anzeigen des aktiven Level-3 Systemstatus könnte jedoch auch unabhängig der gewählten Anzeigesymbolik helfen, insbesondere den Unterschied zum assistierten Fahren deutlich und eindeutig anzuzeigen. Entsprechend müsste diese Farbe dann natürlich für Anzeigen von Assistenzsystemen oder sonstigen Funktionen (z.B. Ambientbeleuchtung) im Fahrzeug ausgeschlossen werden und damit „exklusiv“ für den Level 3 sein. International ist hier die Farbe Türkis in der Diskussion. Zusätzlich zu einer möglichen, einheitlichen Farbdarstellung ist auch die Größe und Position der Anzeige entscheidend für die Auffälligkeit und intuitive Erkennbarkeit des Systemstatus, gerade wenn die Blickrichtung des Fahrers durch die Ausführung eventueller fahrfremder Tätigkeiten im Level-3 Modus nicht mehr einem sehr begrenzten Raumwinkel zugeordnet werden kann. Sehr klar wäre zum Beispiel ein obligatorisches Leuchten eines großen Teils des Lenkradkranzes mit unterschiedlichen, standardisierten Farben für den jeweiligen Systemstatus, die auch im peripheren Sichtfeld erkennbar wären. Zudem würde eine derartige Anzeige am Lenkradkranz während der Transitionsphase auch direkt den Bezug wieder zum Lenkrad herstellen, das für die Übernahme der Kontrolle wieder in die Hände genommen werden soll.



Abbildung 3: Beispiel einer Anzeigemöglichkeit für den Status „automatisierte Fahrt“

Andererseits ist jede standardisierte Anzeigeform per se designrestriktiv und würde ggf. sicherheitsförderliche und damit gewünschte Weiterentwicklungen bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) stark einschränken. Ein Standard in der Anzeige, den man festschreibt, sollte daher eine bereits gut nachgewiesene Effektivität haben, wenn damit die weiteren möglichen Alternativen und Freiheiten zur Gestaltung einer MMI bereits stark eingeschränkt werden. Da mit den Level-3-Systemen erst Erfahrungen im Regelbetrieb gesammelt werden müssen, wurde im Abstimmungsprozess der UN-Regelung 157 daher auf zu restriktive Vorgaben zur Anzeige der automatisierten Fahrt und des Systemstatus verzichtet und lediglich die Vorgabe gemacht, dass das aktive ALKS mit einem Lenkrad- oder Fahrzeugsymbol mit einem zusätzlichen „A“ oder „AUTO“ angezeigt werden muss (solange es kein Standardsymbol als zusätzliche Alternative gibt). Ein Beispiel für eine derartige Anzeige beispielsweise im Kombiinstrument ist in Abb. 3 gezeigt. Zusätzlich muss laut UN-Regelung 157 eine auch im peripheren Sichtfeld leicht wahrnehmbare Anzeige in der Nähe der direkten Sichtlinie des Fahrers nach vorne vorhanden sein, um die permanente Sichtbarkeit des Systemstatus‘ auch bei Ausübung einer fahrfremden Tätigkeit gewährleisten zu können. Lediglich als Beispiele werden eine markante Anzeige im Kombiinstrument oder an Teilen des Lenkradkranzes genannt. Die ersten Serienausprägungen der Anzeigekonzepte verschiedener Hersteller von ALKS werden zeigen, ob und wie hier eventuell weiter konkretisiert werden sollte.

2.2.7 Abstand und angepasste Geschwindigkeit

Mit der Forderung, dass das System sich an die im jeweiligen Land gültigen Verkehrsregeln halten muss, ist gleichzeitig mit vorgegeben, wie aktuelle Geschwindigkeiten und Abstände zu wählen sind. Wenn das Ego-Fahrzeug im eigenen Fahrstreifen nicht mit in die gleiche Richtung fahrenden Verkehrsteilnehmern oder mit stillstehenden Objekten, die nicht gefahrlos überfahren werden können, kollidieren darf, ist ebenfalls eine von den Randbedingungen (Wetter, Reibwert, Sicht) abhängige Geschwindigkeit bzw. ein nötiger Abstand sowie eine vorausschauende Fahrweise implizit vorgegeben. Es muss genügend Zeit und Raum für das Anhalten oder Abbremsen gegeben

sein. Als Beispielsituation für die Herausforderungen, denen das System gewachsen sein muss, kann der Vorausfahrende dienen, der plötzlich vor einem stationären Hindernis ausschert.

Insofern ist es eigentlich auch nicht erforderlich, eine minimale Reichweite der Sensorik vorzugeben oder Verschlechterungen der sensorischen Eigenschaften über das Fahrzeugleben eingrenzen zu wollen. Es ist lediglich erforderlich, dass sich das System durch kontinuierliche Eigendiagnose Daten zum aktuellen Zustand der Sensorik und deren Reichweite verschafft, auf Basis derer es Geschwindigkeit und Abstand sicher wählen kann oder die Aktivierbarkeit des Systems entsprechend selbsttätig einschränkt.

Die Fahrzeugsensorik sollte zudem in der Lage sein, dem System genügend „Sichtweite“ und damit Informationen von der Umgebung liefern zu können, um im Regelfall eine möglichst gleichmäßige Fahrweise ohne fahrdynamische Extreme zu ermöglichen und sich damit in gewissem Sinne vorhersehbar zu verhalten. Allein aus Komfortgründen für die Insassen wird der Fahrzeughersteller ein solches Verhalten implementieren. Zu vorhersehbarem Verhalten in jeder Verkehrssituation gehören jedoch nicht nur die Reaktionen auf andere Verkehrsteilnehmer. Auch das automatisierte Fahrzeug selbst muss sich sowohl für die Insassen als auch für anderen Verkehrsteilnehmer vorhersehbar verhalten, um eine vertrauensvolle und störungsfreie Integration gerade in Mischverkehrssituationen mit manuell gefahrenen Fahrzeugen zu gewährleisten. Dafür ist auch von einem automatisiert fahrenden Fahrzeug, genau wie von einem manuellen Fahrer, eine gewisse vorausschauende Fahrweise erforderlich. Das bedeutet, dass extrem dynamische Fahrmanöver im Normalfall durch rechtzeitiges Erkennen und Eingreifen im Vorfeld vermieden werden und so gar nicht erst auftreten. Für ein technisches System wie ALKS bedeutet dies in der derzeitigen konkreten Umsetzung, dass notwendige Verzögerungen bis 5 m/s^2 als normaler Regelfall gelten. Oberhalb einer notwendigen Verzögerungsanforderung von 5 m/s^2 zur Vermeidung einer drohenden Kollision gilt die Situation dann als Notfallmanöver (EM – Emergency Manoeuvre), das nur im seltenen Ausnahmefall eingesetzt werden sollte und zwar dann, wenn ein Fehler eines Dritten dafür die Ursache war (siehe dazu unten den Abschnitt 2.2.8 zu kritischen Situationen). Für ein solches Notfallmanöver gelten dann auch andere Anforderungen an das System als für die Normalfahrt: Das System erhält mehr Spielraum, um die Situation möglichst unfallfrei bewältigen zu können; es muss aber auch höheren Anforderungen an die Leistungsfähigkeit, z.B. an das Bremsvermögen und die Systemreaktionszeiten, genügen. Weitere Anforderungen betreffen hier die automatische Aktivierung der Warnblinklichtanlage bei einer Notbremsung bis zum Stillstand oder die Abgabe des Notbremsignals gemäß den Bedingungen der UN-Regelung Nr. 13 H.

2.2.8 Unfallvermeidung und Umgang mit kritischen Situationen

In den Rahmendokumenten (Framework Document, 2019) auf UNECE-Ebene für automatisierte Fahrfunktionen ist die Rede davon, dass das automatisierte Fahren frei von zusätzlichen Risiken sein muss, die nicht tolerierbar bzw. nicht zumutbar sind. Weiterhin wird gefordert, dass das automatisierte Fahren sicherer sein muss als das konventionelle manuelle Fahren (oder zumindest genauso sicher). Und Unfälle, die vorhersehbar und vermeidbar sind, müssen vermieden werden. Diese Forderungen sind so allgemein und mit undefinierten Begriffen versehen, dass man Anforderungen für eine automatisierte Fahrfunktion mit Grenzwerten, die sich auch in Tests abprüfen lassen, nicht daraus ableiten kann. Es ist also erforderlich, diese allgemeinen Anforderungen und Begriffe in solche zu übersetzen, die mit Maß und Zahl das Fahrverhalten des Systems beschreiben können.

Zu klären ist also: Was bedeutet „sicherer als manuelles Fahren“, „vorhersehbar und vermeidbar“ oder was sind „nicht tolerierbare oder zumutbare Risiken“?

Versucht man das manuelle Fahren als Maßstab anzulegen, muss man das durchschnittliche menschliche Fahrverhalten bestimmen und quantifizieren (Winner, 2012). Zumindest könnte man eine Rate an Unfällen angeben, die dieses derzeit herrschende Sicherheitsniveau beschreibt, z.B. die Zahl „Unfälle pro von der Fahrzeugflotte gefahrener Strecke“ (x Unfälle pro y Mio. Fzkm). Anstelle des Durchschnitts könnte man natürlich auch andere Perzentile des Fahrverhaltens als Maß für die Sicherheit nehmen, indem man sich bei der Bestimmung der Unfallrate an Gruppen wie professionellen oder erfahrenen Fahrern orientiert. So oder so könnte man dann fordern, dass das automatisierte Fahrzeug um einen Faktor z besser sein muss als das durchschnittliche manuelle Fahren (Winner, 2013). Nur so gut zu sein, wie ein erfahrener Fahrer, bliebe voraussichtlich unter den Möglichkeiten, die das automatisierte Fahren mit sich bringt. Man möchte ja neue Sicherheitspotenziale auch ausschöpfen. Das Problem besteht bei einer geforderten Unfallrate oder ähnlichem aber darin, wie man das Sicherheitsniveau im Rahmen der Typgenehmigung abprüfen kann (Wachenfeld, 2015). Es besteht bei diesem Genehmigungsverfahren, das für das Inverkehrbringen die Voraussetzung ist, keine Möglichkeit zu warten, wie sich das System im realen Verkehr bewähren wird.

Auch die Formulierung „foreseeable and preventable“ greift zu kurz, wenn man spezifizieren soll, welche Unfälle das System vermeiden soll oder zumindest mildern soll. Denn wenn man bloß langsam genug fährt, sind nahezu alle Situationen vorhersehbar und nahezu alle Unfälle vermeidbar. Hier besteht natürlich ein Zielkonflikt mit dem Reisewunsch, in einer bestimmten Zeit von A nach B zu gelangen. Insofern muss man durchaus genau festlegen, welche Unfälle unter welchen Bedingungen man auch für ein automatisiertes System für nicht vermeidbar hält und dem System damit zugesteht. Es wird nicht reichen zu sagen, dass das System keine Unfälle verursachen soll, und

gleichzeitig die von anderen verursachten Unfälle hinzunehmen, da das System hierfür offenbar nicht verantwortlich ist. Denn der Mensch ist auch dort sehr gut, wenn es darum geht, die Fehler anderer zu antizipieren und frühzeitig zu berücksichtigen und zu entschärfen. Hier ist die Frage, bis zu welchem Grad dies die Maschine auch können muss – am besten mindestens so gut wie der Mensch, aber mindestens so gut wie der Stand der Technik zu einem bestimmten Zeitpunkt. Am Ende blieben dann noch Situationen übrig, die sich eher als „Höhere Gewalt“ auffassen lassen können, welche ein Mensch und ein System nicht vorhersehen oder verhindern kann, zum Beispiel Bäume, die umstürzen und auf die Straßen fallen, oder Spalten, die sich aufgrund von Erdbeben auftun.

Aus diesen Vorüberlegungen ergibt sich für das Setzen von Anforderungen folgende Aufgabe: Definiere im Rahmen einer Fallunterscheidung, welche Kollisionen ein automatisiertes Fahrzeug in Abhängigkeit von den Umständen vermeiden können muss, bzw. welchen Geschwindigkeitsabbau es vor einer Kollision noch erreicht haben muss, wenn diese unvermeidlich ist (s. auch Pauli, 2020). Wichtig ist beim Setzen dieser Anforderungen, dass man auch tatsächlich die vorhandenen technischen Möglichkeiten nutzt und nicht hinter diesen zurückbleibt. Ansonsten würde das automatisierte Fahren keinen Sicherheitsgewinn gegenüber dem manuellen Fahren bringen.

Fall a) Es liegt kein Fehlverhalten Dritter vor:

Für diesen Fall kann man fordern, dass das System sich an die vorgegebenen Straßenverkehrsregeln hält und dass es selbst keine Unfälle verursacht. Hierzu gehört auch, dass das Fahrzeug nur solche Fahrmanöver ausführt, die Dritte nicht dazu zwingen, diese ihrerseits mit heftigen Manövern kompensieren zu müssen. Die Forderung bezieht sich also auf das „Agieren des Fahrzeugs“. Allein durch eine solche Anforderung sollten sich Sicherheitsgewinne gegenüber dem manuellen Fahren erschließen lassen. Die Forderung beruht auf gegebenen Verhaltensregeln, die sich grundsätzlich parametrisieren und dann programmieren lassen. Da das System nicht aus den programmierten Vorgaben ausschert, also in diesem Sinne keine Fehler macht, ihm sensorisch kein Objekt wegen Unaufmerksamkeit durchgeht und es auch nicht absichtlich Regelverstöße begeht, sollte es hier besser sein als der Mensch mit seinen typischerweise auftretenden Verhaltensweisen.

Fall b) Es liegt ein Fehlverhalten Dritter vor:

Die folgenden Anforderungen legen fest, bis zu welchem Grad das System Fehler Dritter ausmerzen können muss, sie beziehen sich also auf das „Reagieren des Fahrzeugs“:

Sofern die Randbedingungen und physikalischen Grenzen (z. B. Reibwert, Time-To-Collision, Signallaufzeiten) sowie der Stand der Technik (mögliche Sensorik, Signalverarbeitung und Aktorik etc.) es erlauben, den Unfall zu vermeiden, kann man fordern, dass der Unfall vermieden werden muss.

Sofern die Unfallvermeidung aufgrund der oben genannten Bedingungen nicht möglich ist, muss zumindest die Strategie beibehalten werden, den Unfall in seinen Folgen möglichst milde ablaufen zu lassen, indem z.B. soviel Geschwindigkeit wie möglich abgebaut wird.

Auch im Fall b) ermöglicht es die Technik, Sicherheitsgewinne gegenüber dem manuellen Fahren zu realisieren, wenn die Parameter für die Anforderungen die Physik sowie den Stand der Technik korrekt beschreiben. Allein in Bezug auf die Reaktionszeit werden durch das System kürzere Werte erreichbar sein, als man sie beim Menschen beobachtet.

Mit diesen abstrakten und generellen Anforderungen, die alle parametrisierbar sind, lassen sich nun für verschiedenste Verkehrssituationen Grenzwerte für Kollisionsvermeidung und für Geschwindigkeitsabbau festlegen. Für Stausysteme im Level-3 kann man so zum Beispiel festlegen, dass man mit keinem Objekt im eigenen Fahrstreifen kollidieren darf, das sich dort in gleiche Richtung bewegt oder steht. Man kann ebenso festlegen, dass mit Dritten, die irregulär zu knapp vor dem EGO-Fahrzeug einscheren (und dabei ggf. noch bremsen) bis zu einer bestimmten Time-To-Collision nicht kollidiert werden darf, bei knapperem Verlauf aber schon. Man kann für den Fall, dass das EGO-Fahrzeug selbst einen Fahrstreifenwechsel durchführen darf, vorgeben, welche Reaktionen oder Verzögerungen Dritten zuzumuten sind, die auf das automatisierte Fahrzeug reagieren müssen, um Kollisionen zu vermeiden.

Die genannten Grundprinzipien sind aber weder auf die Stausituation noch auf den Anwendungsfall Autobahn beschränkt, sondern lassen sich beliebig auf andere Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens übertragen.

2.2.9 Einhalten der Verkehrsregeln

Auch wenn das Einhalten der Verkehrsregeln auf Autobahnen für ein ALKS aufgrund der gut strukturierten Verkehrsumgebung und des begrenzten Umfangs an Regeln, die dort gelten, nicht besonders komplex ist, lohnt es sich, das Thema „Befolgung der Straßenverkehrsordnung (StVO)“ aus einer grundsätzlichen Perspektive zu betrachten, die unabhängig vom konkreten Anwendungsfall bzw. von der Straßenkategorie ist.

Die Anforderung an automatisierte Fahrfunktionen, die im jeweiligen Land geltenden Verkehrsregeln einhalten zu müssen, ist einerseits eine recht einfache Formulierung, die jedoch andererseits mit einer großen Tragweite verbunden ist. Für Deutschland ist in der StVO festgehalten, welche Regeln beim Fahren durch den Menschen zu befolgen sind, das heißt, wie er sich grundsätzlich im Verkehr und in der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern verhalten soll. Für automatisierte Fahrzeuge ist in § 1a Abs. 2 Ziff. 2 Straßenverkehrsgesetz (StVG) geregelt, dass die

technische Ausrüstung in der Lage ist, während automatisierter Steuerung den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften „zu entsprechen“.

Mit der für den Menschen konzipierten StVO erhält der Hersteller in Bezug auf das automatisierte Fahren einen Katalog gewünschter Verhaltensweisen, den die Steuerung des automatisierten Fahrzeugs berücksichtigen muss, der also einprogrammiert werden muss. An diesem Punkt der Umsetzung stellen sich jedoch eine Reihe von Aufgaben an Hersteller und Gesetzgeber.

Zunächst ist es Aufgabe des Herstellers, den Sinn des Textes der StVO in der Steuerung des Fahrzeugs zu implementieren. Dies sollte insbesondere dort gut möglich sein, wo die Vorgaben eindeutig und klar parametrisierbar sind. Dies sind zum Beispiel die Regeln zur Vorfahrt, zur Einhaltung von Geschwindigkeitsbeschränkungen, zu Durchfahrtsverboten oder Halteverboten.

Offen ist an dieser Stelle, ob sich der Sinn der StVO für alle Paragraphen parametrisieren lässt, so dass in Maß und Zahl vorgegeben ist, wie sich ein Fahrzeug verhalten muss. An dieser Stelle treten immer dann Probleme auf, wenn es bei der Interpretation der StVO Spielraum gibt, vor allem dann, wenn es um die Angemessenheit des Verhaltens geht, zum Beispiel bei der Wahl der Geschwindigkeit oder des Abstandes.

Weiterhin ist das Wunschverhalten nicht ausschließlich durch den Text der StVO gegeben, sondern wird vor Ort an der Straße durch vertikale Verkehrszeichen (Schilder, horizontale Verkehrszeichen, Markierungen), die wiederum zu beachten sind, angeordnet. Dabei unterliegt die Anordnung neben der selbstverständlichen Variation über den Raum (an anderen Orten gelten andere Anordnungen) zum Teil auch zeitlichen Veränderungen (Anordnungen in Abhängigkeit von der Uhrzeit), den Wetterbedingungen (z.B. Nebel, Regen) oder der Verkehrsdichte und den örtlichen Gegebenheiten (z.B. Mindestabstand von Lkw bei Stau auf Brücken oder in Tunnels). Sehr deutlich wird dies an den Wechselverkehrszeichen, bei denen für das Fahrzeug nicht vorhersehbar ist, welche Anordnung dort gerade gilt, wenn das Fahrzeug die Stelle passiert. Insofern könnte man eine solche Anordnung nicht in einer statischen Karte im Fahrzeug hinterlegen.

Bei der Anordnung von Regeln vor Ort an der Straße ergibt sich auch ein sensorisches Problem. Nicht alle Verkehrszeichen weisen eine gleich gute, hohe Qualität in der Darstellung ihre Inhalte auf. Schilder können verblasst sein oder zur Straße verdreht aufgestellt sein, so dass sich der Erfassungswinkel ändert. Der Mensch kommt mit solchen Situationen aufgrund seiner Erfahrung gut zurecht. Es ist aber eine Herausforderung für die Technik, dies in gleichem Maße leisten zu können. Lokal eingegrenzte Abhilfe kann hier folgendes Vorgehen schaffen: Auf manchen Strecken könnte durch den Straßenbetreiber garantiert werden, dass die Schilder und Markierungen aktuell und von guter Qualität sind. Das sicherzustellen wird zwar sowieso das Ziel des Straßenbetreibers sein, aber allein aus Kosten- und Zeitgründen wird dieses Ziel nicht im ganzen Straßennetz zu jeder Zeit erreichbar sein.

Die Technik kann sich hier aber zur Erfüllung der Anforderung weiterer Hilfsmittel bedienen. Ein Hilfsmittel kann die herstellerseitig vorgesehene Karte sein, die die bekannten und unveränderlichen Merkmale zur Verkehrsregelung enthält und die regelmäßig aktualisiert wird. Ein anderes komplementäres Mittel könnte die durch die öffentliche Hand oder den Straßenbetreiber zur Verfügung gestellte digitale Karte sein (der sogenannte „Digitale Zwilling“), der alle straßenseitigen Anordnungen enthält und bei dem sichergestellt ist, dass alle Inhalte zutreffend und aktuell sind. Dieser Zwilling kann einen statischen Teil umfassen, der die unveränderlichen Anordnungen bzw. lange geplanten Anordnungen enthält. Er kann aber ebenso – und das ist der weitaus nutzbringendere Teil – hochdynamisch sein und aktuell bzw. in Echtzeit ununterbrochen als Aktualisierung für die fahrzeuginterne Karte als Update zur Verfügung stehen. Ungeachtet dessen werden aber immer Situationen übrigbleiben, bei denen sich Ort und Zeit der Anwendung einer bestimmten Verkehrsregel nicht vorab bestimmen lassen, beispielsweise dann, wenn unmittelbar ein Fahrzeug im vorausfahrenden Verkehr verunfallt oder eine Fahrspur kurzfristig anderweitig durch beispielsweise verlorene Ladung blockiert ist. Der den Verkehr regelnde Polizist, das aufgestellte Warndreieck oder das herannahende Einsatzfahrzeug wird sich mittelfristig mit Technik ausstatten lassen können, so dass es auch allein durch Technik sensierbar ist. Verbleiben werden aber auch Situationen, die sich ggf. bei äußeren Einflüssen oder Fehlverhalten durch Dritte nur durch einen Bruch der Regeln lösen lassen. Hier besteht im Level 3 aber ggf. auch die Möglichkeit, in zeitlich unkritischen Situationen zur Lösung mit ausreichend Zeitreserve an den Fahrer zurück zu übergeben.

Ein weiterer Punkt betrifft die StVO in ihrem Kern: Es könnte sich herausstellen, dass zum Beispiel aus Gründen des Verkehrsablaufs oder zur Ausschöpfung aller möglichen Sicherheitsgewinne, es erforderlich oder wünschenswert ist, eine Modifikation der StVO in ihren Anforderungen vorzunehmen, so dass sie besser zu den Eigenschaften und Möglichkeiten einer Maschine passt. Neben der bisherigen StVO für den Menschen könnte so parallel eine „Maschinen-StVO“ existieren, die spezifisch für Fahrzeuge im automatisierten Fahrmodus die Verhaltensregeln vorgibt, die an einzelnen Punkten von den Vorgaben für den Menschen abweicht. Denn warum sollte ein automatisiertes Fahrzeug Abstände wie ein Mensch halten müssen, wo es deutlich schneller in der Lage ist zu reagieren. Erste Ansätze könnten hier Ausnahmen von der bisherigen StVO für die Maschine sein, sofern sich daraus keine nachteilige Wirkung für andere Verkehrsteilnehmer ergibt. Eine umfassende Maschinen-StVO erfordert voraussichtlich eine Reihe von Forschungsarbeiten zur Wirkung von Differenzen zwischen zwei nebeneinander geltenden Verhaltensregelkatalogen, insbesondere dann, wenn der Mensch sich im Mischverkehr von konventionellen und automatisierten fahrenden Fahrzeugen bewegen muss.

Die schwierigste Aufgabe, der Anforderung „Folge den Regeln der StVO“ gerecht zu werden, besteht darin, die Paragraphen der StVO ohne Maß und Zahl ("fahr defensiv", "nimm Rücksicht") in Maß und Zahl und damit in Parameter, die sich in der Programmierung nutzen lassen, umzuwandeln. Dieser Punkt ist auch deswegen von Bedeutung, weil er sich genau mit dem kritischen Punkt der Weiterentwicklung der Typgenehmigungsvorschriften für die dynamische Fahraufgabe deckt: Welche Fehler Dritter muss ich bis zu welchem Grad als automatisiertes Fahrzeug ausgleichen können (durch technische Maßnahmen im Fahrzeug oder durch defensive Fahrweise)?

Das Problem besteht hier vor allem darin, dass die StVO keine technische, sondern eine hochgradig auslegungsbedürftige Vorschrift ist, in der es Auslegungsspielräume und Grauzonen gibt (Was heißt defensives Fahren? Mit welchen Fehlern Dritter ist zu rechnen? Inwieweit darf man einem Dritten vertrauen, dass dieser sich regelgerecht verhält?). Der Spielraum lässt sich ggf. einschränken, wenn man die einschlägige Rechtsprechung hinzuzieht und versucht, aus dieser weitere Parameter zu gewinnen. Diese Reduktion offener Flanken löst jedoch das Problem der erforderlichen Parametrisierung nicht vollständig, auch deshalb, weil in der StVO mit Verkehrsfluss und Sicherheit gegenläufige Ziele verankert sind: Der Grundsatz, auf verkehrsrichtiges Verhalten anderer vertrauen zu dürfen, solange es keine Anhaltspunkte für das Gegenteil gibt, dient der Flüssigkeit und Leichtigkeit des Verkehrs und das defensive Fahren, das wiederum beschreibt, immer mit Fehlern anderer rechnen zu müssen, dient der Sicherheit.

Das Maß z.B. für eine angepasste Geschwindigkeit ist immer situationsbedingt und hängt hochgradig von der Verkehrsumgebung ab. Um beurteilen zu können, ob ein gewisses Maß für die angepasste Geschwindigkeit (oder die Sicherheit im Allgemeinen als Antwort auf die Frage „Wie sicher ist sicher genug?“) akzeptabel ist, müsste man zu jedem Maß die Menge der verbleibenden dann unvermeidbaren Unfälle kennen. Es handelt sich somit um eine Prognoseentscheidung. Es bleibt hier eine offene Frage, welches inhärente Risiko verbliebe und welche anderen Konsequenzen sich für den Verkehr insgesamt ergäben, wenn man entsprechende Vorgaben als Anforderungen fiktiv setzen würde, z.B. die angeordnete Geschwindigkeit oder beliebig andere „angepasste“ Geschwindigkeiten unterhalb des angeordneten Wertes bis theoretisch hinab zur Null (keine Mobilität mehr).

2.2.10 Schwerwiegende System- oder Fahrzeugfehler

Kein technisches System ist frei von Fehlern oder Verschleiß, weder das automatisierte Fahrsystem noch das Fahrzeug selbst. Fehleranfällige System- oder Fahrzeugkomponenten können in einem gewissen Umfang durch redundante Komponenten abgesichert werden (zur funktionalen

Sicherheit automatisierter Fahrfunktionen (siehe z.B. Offis, 2019)), jeder Fehler oder Ausfall lässt sich damit aber auch nicht zu 100 % verhindern. Ein platzender Reifen, ein brechendes Fahrwerksteil oder der Totalausfall der Bordstromversorgung ist beispielsweise nicht sinnvoll oder nur sehr eingeschränkt durch eine Ersatzkomponente direkt im Versagensfall abfangbar. Das automatisierte Fahrsystem kann jedoch bei systemeigenen Komponenten gewisse Redundanzen vorhalten, um beispielsweise Einfachfehler abfangen zu können. In solchen Fällen muss es dann sicher weiterfunktionieren. Zumindest die ordnungsgemäße Abwicklung einer Transition muss trotz des Fehlers möglich sein. Bei mehreren gleichzeitigen Fehlern oder dem plötzlichen Totalversagen systemrelevanter Funktionen kann das einwandfreie Weiterfunktionieren nicht mehr gefordert werden. Dennoch muss das System auch für diesen Fall eine spezielle Notfallstrategie haben bzw. mit der Restfunktionalität so weit wie möglich weiterarbeiten und das Ereignis muss zur späteren Nachvollziehbarkeit auch abgespeichert werden. Bei allgemeinen Fahrzeugfehlern, die allgemeine Komponenten des Fahrzeugs betreffen und nicht direkt dem automatisierten System zuzuordnen sind (z.B. Reifen oder Fahrwerk), kann von dem automatisierten System auch kein Abfangen oder Absichern bestimmter Fehlerfälle gefordert werden, da diese unabhängig von der Fahrerrolle sind. Derartige schwere Fahrzeugfehler beeinflussen jedoch die fahrdynamischen Eigenschaften oder die komplette Steuerbarkeit des Fahrzeugs entscheidend und das aktive automatisierte System kann dann seiner Fahraufgabe nicht mehr regelgerecht nachkommen, meist auch ohne irgendeine Vorlaufzeit und Übergabemöglichkeit an den menschlichen Fahrer mit eventuell besseren Lösungsmöglichkeiten. Da ALKS auf die Funktionalität „Spurhaltesystem“ eingeschränkt ist, kann beispielsweise bei einem Totalversagen der Bremsanlage der menschliche Fahrer durch Ausweichen in den Nachbarfahrstreifen vor einem Hindernis eventuell noch unfallvermeidend eingreifen, während das automatisierte System per se keine Fahrstreifenwechsel kann und damit in der Restfunktionalität ohne eine funktionstüchtige Bremsanlage sehr eingeschränkt ist. Gleichwohl können im Falle von schweren Fahrzeug- oder Systemfehlern dem automatisierten System zusätzliche Freiheiten eingeräumt werden, um mögliche Restfunktionalitäten noch möglichst optimal nutzen und das Fahrzeug in einen sichereren Zustand bringen zu können. So kann beispielsweise für ein MRM in diesem Fall eine höhere Verzögerung als die 4 m/s^2 zugestanden werden und das MRM dürfte auch ohne Abwarten der kompletten Mindesttransitionszeit schon begonnen werden, um möglichst schnell zum Stillstand zu kommen oder wenigstens möglich viel Bewegungsenergie aus dem System zu nehmen.

Zur späteren Nachvollziehbarkeit und zum Ausschluss von systemeigenen Fehlern sollte das automatisierte System daher auch die schweren Fahrzeugfehler mit abspeichern, wenn sie im Fahrzeug detektiert wurden.

2.2.11 Cybersecurity

Automatisierte Fahrsysteme sind in ihrer Funktion entscheidend von der verbauten Software bestimmt. Insbesondere ist davon auszugehen, dass diese Systeme hochgenaue und aktuelle digitale Karten für die korrekte Funktionsweise benötigen, die regelmäßig aktualisiert werden müssen. Erfahrungen mit modernen Assistenzsystemen zeigen auch, dass sich sicherheitskritische Funktionalitäten und Systemeigenschaften rein über Softwareversionen entscheidend verändern lassen. Entsprechend beachtungswürdig sind Änderungen im Softwarestand während des gesamten Produktionszeitraums des Systems, sei es zur Beseitigung möglicher Fehlprogrammierungen oder zur Erweiterung oder auch Beschneidung bestimmter Funktionalitäten, die zu einer Änderung der Softwareversion führen. Zum einen muss sichergestellt sein, dass keine nicht typgenehmigte Software im Fahrzeug zum Einsatz kommt. Zum anderen muss zur Nachvollziehbarkeit des aktuellen Systemstandes, beispielsweise im Rahmen der Marktüberwachung, die Software-Version des Systems jederzeit auslesbar und eindeutig identifizierbar sein. Die Wirksamkeit und Sicherheit des Systems darf weiterhin durch Cyberangriffe auf die Software nicht beeinträchtigt werden. Erlaubt das System Software-Updates, so muss die Wirksamkeit der Softwareaktualisierung und dessen 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“) sichergestellt werden und dem Technischen Dienst demonstriert werden (Proposal for a new UN Regulation Cybersecurity, 2020 und Proposal for a new UN Regulation Software updates, 2020).

2.2.12 Fahrmodusspeicher

Bei automatisierten Fahrzeugen in Level 3 kann die Fahraufgabe zeitweise komplett dem System übergeben werden und nach Übergabe auch wieder zurück zum manuellen Fahren wechseln. Für die notwendige Möglichkeit der Nachvollziehbarkeit einer bestimmten Fahrsituation muss man wissen, wann und wer – Fahrer oder System – für die Fahraufgabe verantwortlich war, ob der Fahrer eventuell die Systemregelung beeinflusst hat, irgendwelche Fehler im System vorlagen oder der Fahrer nicht auf eine Übernahmeaufforderung reagiert hat. Daher müssen einige Daten aus dem Fahrzeug zu dem System- und Fahrerverhalten gespeichert und bei Bedarf autorisierten Personen zugänglich gemacht werden können.

Jedes Fahrzeug, das mit ALKS ausgerüstet ist, muss daher mit einem DSSAD (Data Storage System for Automated Driving) ausgestattet sein, der bei Aktivierung des ALKS beispielsweise folgende Ereignisse mit Datum und Zeitstempel aufzeichnen muss: Die Aktivierung und Deaktivierung des Systems, eine Deaktivierung des Systems aufgrund von Eingriffen durch den Fahrer wie beispielsweise der Übersteuerung der Lenkung, eine Übernahmeaufforderung des Systems an den

Fahrer, den Beginn und das Ende eines Notfallmanövers, ein Triggern eines EDR (Event Data Recorder), eine detektierte Kollision, die Auslösung eines MRM oder bei einem schwerwiegenden ALKS- oder Fahrzeugfehler. Die DSSAD-Daten müssen weiterhin nach den Anforderungen des nationalen und regionalen Rechts verfügbar gehalten werden und auch noch nach bestimmten Crashbelastungen und möglichen Bordstromnetzausfällen über eine Schnittstelle lesbar sein und müssen vor möglicher Manipulation geschützt werden.

2.2.13 Test der Erfüllung der Anforderungen

2.2.13.1 Abgrenzung zwischen Anforderung und Test

Fahrzeugtechnische Vorschriften für die Typgenehmigung von Fahrzeugen enthalten in der Regel Anforderungen und zugehörige Testverfahren, um die Einhaltung der Anforderungen zu überprüfen.

In der Vergangenheit wurden Vorschriften zum Teil aber so gestaltet, dass die Anforderungen recht allgemein und ohne Maß und Zahl formuliert wurden, so dass man die Erfüllung der Anforderung allein auf Basis dieser Formulierungen gar nicht hätte abprüfen können. Erst durch das Hinzufügen von Tests und von Bestehenskriterien, die speziell auf die Tests zugeschnitten sind, war ein Abprüfen der Anforderungen möglich. Das Problem bei dieser Vorgehensweise ist, dass das Testen an vorgegebenen Prüfpunkten im allgemeine nur eine stichprobenartige Überprüfung der Anforderungen erlaubt. Aus dem Parameterraum aller möglichen Systemzustände werden nur einzelne Stützstellen herausgegriffen und an diesen wird die Systemleistung bewertet. Ein Abprüfen der Parameterbereiche zwischen diesen Stützstellen findet nicht statt. Es ist vielmehr sogar im Falle des Setzens von Anforderungen über die Testbeschreibung so, dass für die Parameterbereiche zwischen den Stützstellen gar keine Anforderungen in Maß und Zahl existieren, sofern diese Anforderungen nicht anderweitig beschrieben sind.

Eine bessere Vorgehensweise, die das sichere Funktionieren der Systeme in allen Betriebsbereichen garantiert und prüfbar macht, ist daher, dass man alle Anforderungen vorab in Maß und Zahl vorgibt, ohne dass dies an spezifische Tests gekoppelt ist. Dann kann man fordern, dass die Anforderung für den gesamten Parameterraum gilt. Somit stehen für jedwede Konfiguration, für die man einen Test vorsieht, bereits die entsprechenden Pass-Fail-Kriterien fest. Es ist dann möglich, bestimmte Testpunkte vorzugeben, es sich aber trotzdem offen zu lassen, bei Bedarf auch an weiteren Testpunkten Überprüfungen durchzuführen. Insbesondere für eine spätere Marktüberwachung hat dies Vorteile, da man in der Wahl der Prüfpunkte frei ist. Aufgabe des Gesetzgebers bei dieser Vorgehensweise ist aber, die Anforderungen so zu formulieren, dass sie klar und eindeutig für alle Parameterkombinationen in Ja-Nein-Aussagen transformierbar sind; die

Beschreibung von Anforderungen durch physikalische Größen und mathematische Funktionen in Abhängigkeit der Parameter ist hier ein geeignetes Werkzeug.

2.2.13.2 Testmethoden

Die übliche Testmethode für fahrzeugtechnische Systeme, die in Vorschriften herangezogen wird, ist der Laborversuch bzw. der Versuch mit realen Objekten auf abgeschlossenen Versuchsgeländen. Darüber hinaus wird bei nicht oder nur aufwändig testbaren Sachverhalten auf Dokumentation der Hersteller zurückgegriffen, die in Eigenregie Tests durchgeführt haben und die Ergebnisse bei der Typprüfung dem Technischen Dienst vorlegen müssen. Diese Verfahren müssen aber nicht zwangsläufig die einzigen Verfahren sein, die im Rahmen einer Typengenehmigung angewendet werden können. Die in die Diskussion der internationalen fahrzeugtechnischen Vorschriften für automatisiertes Fahren eingebrachten Varianten, um die Sicherheit von Systemen überprüfen zu können, lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- Fahrversuche auf Testgeländen
- Simulationen
- Tests im Realverkehr

Bevor auf die Vor- und Nachteile der Verfahren eingegangen werden soll, ist darauf hinzuweisen, dass sich auch hier für alle drei Varianten die beiden Möglichkeiten ergeben, dass entweder der Technische Dienst die Tests oder Simulationen durchführt oder der Hersteller testet und die Dokumentation liefern muss. In letzterem Falle ist es aber für den Gesetzgeber wichtig zu wissen, ob der Hersteller in seinem Hause die richtigen Prozesse anwendet, um gesteckte Sicherheitsziele zu erreichen, und ob die Tests, die dokumentiert werden, korrekt durchgeführt wurden. Hierfür kann das Instrument eines sogenannten Audits greifen, im Rahmen dessen die Prozesse und Konzepte des Herstellers inklusive der Testverfahren und Tests von unabhängiger Seite überprüft werden.

Fahrversuche auf Testgeländen haben den Vorteil, dass in sicherer Umgebung das echte Wirken der Systeme reproduzierbar abgeprüft werden kann. Insofern ist diese Testmethode sehr anschaulich und stellt auch für den Bürger, der auf die korrekte Prüfung bzw. Genehmigung der Systeme durch den Staat vertraut, einen wichtigen Baustein für die Glaubwürdigkeit von Tests dar. Nachteilig ist, dass ein Versuchsgelände nicht eins zu eins den realen Straßenverkehr darstellt und nicht alle Testkonfigurationen gefahrlos für Mensch und Material abgeprüft werden können. Insofern blieben, verließ man sich nur auf Testgeländetests, nicht überprüfbare Parameterbereiche übrig.

Um den Parameterraum vollständig abzudecken, bietet sich an, Tests mit Hilfe von Simulationen durchzuführen. Ganz wesentlich ist hier, dass die Simulationsmodelle vorab validiert sind, also auch wirklich unterscheiden können, ob ein System die Anforderungen erfüllt oder nicht.

Hier ist der Rückgriff auf reale Versuche unabdingbar. Es ist ebenso wichtig, dass die Inputdaten für die Simulation wahr sind und den realen Systemeigenschaften, z.B. in Bezug auf sensorische Fähigkeiten und Objekterkennung, entsprechen. Auch hier können nur reale Messdaten als Grundlage herhalten. Darüber hinaus sollte die Simulation robust sein, das heißt bei kleineren Änderungen der Anfangsbedingungen sollten in den Ergebnissen ebenso nur kleinere Variationen auftreten. Gleiche Anfangsbedingungen dagegen sollten auch zu gleichen Ergebnissen führen, die Simulation sollte also nur in gewissen Grenzen streuen dürfen. Der Nachteil der Simulation liegt wie bei den Testgeländetests in der Nachbildung der Wirklichkeit im Model bzw. in der Simulationsumgebung.

Die reale Verkehrsumgebung herrscht nur bei Tests im echten Verkehr auf der Straße. Hier ist die Bandbreite der möglichen Umgebungseinflüsse deutlich höher als bei den laborhaften Tests. Systemreaktionen auf die Wirklichkeit werden dementsprechend gut nachweisbar sein. Die Methode hat jedoch einige Nachteile, die den Einsatz im Rahmen der Typgenehmigung deutlich erschweren. Auch im realen Verkehr ist es schwierig, den Parameterraum möglichst vollständig abzudecken. Bei einer zeitlich begrenzten Fahrt im realen Verkehr werden lange nicht alle Situationen auftreten, denen das automatisierte Fahrsystem begegnen kann, selbst wenn man versucht, bestimmte Situationen zu provozieren. Unterscheiden sich dann von Fahrzeug zu Fahrzeug die abgeprüften Aspekte, stellt sich die Frage, wie rechtssicher eine solche Prüfung ist. Außerdem muss man für eine Prüfung im realen Verkehr mit einem noch nicht typgenehmigten Produkt unterwegs sein, was für den übrigen Verkehr ein gewisses Risiko im Falle des Nichtfunktionierens darstellen kann. Weiterhin muss klar sein, nach welchen Kriterien eine Fahrt als erfolgreich gewertet wird. Dies sollte grundsätzlich durch die jeweiligen Anforderungen vorgegeben sein, es ist aber auch durch Messung sicherzustellen, dass eine bestandene Prüfung mit der Einhaltung der Anforderungen verbunden ist, was auch im Realverkehr den Einsatz hochmoderner Messtechnik erfordert. Ein bloßes subjektives Urteil wird, da leicht angreifbar, nicht ausreichend sein (auch ein subjektives Urteil bräuchte Kriterien und eine Objektivierung des Urteils).

In den vergangenen Jahren wurden in verschiedenen Projekten Vorarbeiten geleistet, wie sich die jeweiligen Testverfahren für die Genehmigung automatisierter Fahrfunktionen nutzen lassen (Lafuente, 2019). Es wurden sogar gezielt Testverfahren für Fahrversuche auf dem Testgelände, Simulationen und Realverkehrsfahrten entwickelt, ohne dass ansatzweise Anforderungen seitens der Gesetzgeber vorlagen (Thorn, 2019). Offenbar ist das Setzen von Anforderungen und die Festlegung der Grenze zwischen „Pass“ und „Fail“ – die Typgenehmigung kennt keine Graubereiche zwischen Genehmigung erteilt und nicht erteilt – insofern die weniger einfache Aufgabe, da sich die Antwort auf die Frage, welches Risiko man sich letztlich erlaubt, nicht ohne Weiteres aufdrängt. Hier sind der

Diskurs und die Entscheidung der Vertreter der beteiligten Länder erforderlich, letztlich ggf. sogar die der Parlamente (Jacobo, 2019).

Auf UNECE-Ebene wurde die Struktur der Arbeitsgruppen extra angepasst, um dem Setzen von Anforderungen und dem Setzen von Testverfahren gerecht zu werden: Für jeden Strang gibt es unterhalb der GRVA (Working Group on Automated/Autonomous and Connected Vehicles) die entsprechenden IWGs (Informal Working Groups), die FRAV (Functional Requirements for Automated Vehicles) für die Anforderungen und die VMAD (Validation Methods for Automated Driving) mit ihren Subgruppen für die Testverfahren. Hier musste zunächst das gemeinsame Verständnis geschaffen werden, dass man im Rahmen der Testdefinition nicht unmittelbar implizit Anforderungen miterschafft und dass man im Rahmen der Anforderungsdefinition die Grenzen für geforderte Systemsicherheiten unabhängig von möglichen Testverfahren erarbeitet. Die Arbeit dieser genannten Gruppen läuft aktuell. Für die Arbeiten speziell zum automatisierten Spurhaltesystem auf Autobahnen war noch die IWG ACSF (Automatically Commanded Steering Function) zuständig, die zuvor auch die Regelungserweiterungen in der UN-R79 für kontinuierlich arbeitenden Assistenzsysteme (ACSF-Systeme) erstellt hatte.

Für die Beschreibung der im Rahmen der Typprüfung verpflichtend durchzuführenden Tests des Systems wurde bei ACSF schon angestrebt, dass alle zuvor definierten Anforderungen an das System abgeprüft werden können sollen, ohne durch die Testfälle neue Anforderungen oder Bestehenskriterien an das System zu stellen, die dann eventuell nur dem relevanten Testfall geschuldet wären. Zudem sollten die Testfälle möglichst umfangreich und allgemein formuliert werden, damit die Systeme möglichst variabel in einem gewissen Parameterraum des Systems und auf verschiedensten Testgeländen technologieneutral überprüft werden können.

Dieser Ansatz wurde anschließend für die Entwicklung der Testfälle zur UN-Regelung Nr. 157 für ALKS übernommen und weiter verallgemeinert, um jederzeit auch im Rahmen der Marktüberwachung die Möglichkeiten zu haben, die Systeme umfassend und in ihrem vollen Funktionsumfang testen und überprüfen zu können.

Der derzeit umgesetzte Ansatz bei ALKS, welche Testfälle für dieses erste automatisierte Fahrsystem in welcher Form und nach welchen Kriterien für die Erlangung einer Typp Genehmigung geprüft werden sollen, wurde unter den Vertragsparteien durchaus kontrovers diskutiert. Als Resultat ist auf Initiative anderer Vertragsparteien zusätzlich zu den im Annex 5 der UN-Regelung Nr. 157 definierten Testfällen daher im Annex 4 der Regelung ein alternativer Ansatz zur Definition eines erwarteten Systemverhaltens entsprechend eines bestimmten Fahrermodells enthalten.

3. Ausblick

Die Fertigstellung der Vorschrift für automatisierte Spurhaltesysteme war ein wesentlicher Schritt für die Genehmigungsfähigkeit automatisierter Fahrfunktionen. Erstmals ist es möglich, eine Typgenehmigung für ein Level-3-System zu erhalten und zwar ohne Ausnahmeregelungen. Es gilt jedoch, frühzeitig Typgenehmigungsanforderungen für die Genehmigung weiterer automatisierter Fahrfunktionen zu schaffen. Hierzu müssen Anforderungen auch für komplexere Anwendungsfälle im Level 3 sowie für das Fahren in höheren Leveln entwickelt werden. Hierzu sind bereits Arbeiten auf nationaler Ebene, bei der EU und insbesondere in den UN-Arbeitsgruppen FRAV (Functional Requirements for Automated Vehicles) und VMAD (Validation Methods for Automated Driving) im Gange.

3.1 Weitere Erarbeitung von Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen auf internationaler Ebene

3.1.1 Ausweitung der Anforderungen an Autobahnssysteme

Die oben beschriebene UN-Regelung Nr. 157 zu ALKS konnte frühestens nach einer sechsmonatigen Frist nach Notifizierung der Vertragsparteien in Kraft treten. Diese Notifizierung durch die Generaldirektion der Vereinten Nationen ist im Juli 2020 erfolgt und die UN-R 157 ist im Januar 2021 in Kraft getreten.

Schon jetzt wird seitens des BMVI und der BASt 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 Sicherheitspotentiale des automatisierten Fahrens besser ausgeschöpft werden können. Ziel der 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 Fahrstreifenwechselfähigkeit des Systems, sowohl im Falle eines Minimum Risk Manoeuvre als auch im normalen Fahrzustand für einen regulären, notwendigen Fahrstreifenwechsel. Diese beiden Erweiterungsvorschläge würden bei voller Anwendung durch ein System dann einen vollständigen „Autobahn-Chauffeur“ in Level 3 ermöglichen.

Die von BMVI und BASt entworfenen Erweiterungen wurden zur 7. Sitzung der zuständigen Arbeitsgruppe (GRVA) bei der UNECE im September 2020 eingereicht und die Vorschläge werden seit 2021 in einer speziell eingerichteten Arbeitsgruppe aktuell diskutiert (s.u.).

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.

3.1.2 Entwicklung generischer Anforderungen bei den Vereinten Nationen

Für die Entwicklung generischer Anforderungen für automatisierte Fahrfunktionen sind derzeit die folgenden beiden informellen Arbeitsgruppen auf UN-Ebene zuständig:

- 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 zum Sicherheitsnachweis für automatisierte Fahrzeuge, insbesondere für den Nachweis der innerhalb der Gruppe FRAV entwickelten funktionalen Anforderungen.

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

Für die oben genannten vorgeschlagenen Erweiterungen von ALKS bis zu einer Geschwindigkeit bis 130 km/h, die Fahrstreifenwechselfähigkeit und die Erweiterung um andere Fahrzeugkategorien ist eine „Special Interest Group UN-R 157“ (TF UN-R157/ALKS) eingerichtet worden. Die Struktur der Arbeitsgruppen auf UNECE-Ebene ist in Abbildung 4 dargestellt.

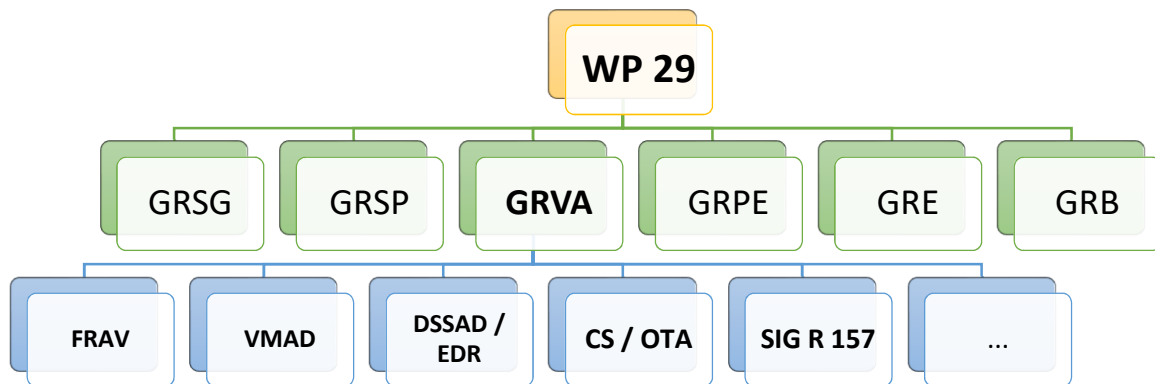


Abbildung 4: Struktur der Arbeitsgruppen auf UNECE-Ebene. Die mit der Erstellung von Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen beschäftigten Gruppen sind fett dargestellt. Zu den Akronymen der Arbeitsgruppen siehe (UNECE, 2021).

Während in der „Special Interest Group UN-R 157“ derzeit die obigen konkreten Erweiterungsvorschläge für die UN-Regelung Nr. 157 für den Anwendungsfall ALKS bearbeitet werden, sollen in der FRAV allgemeinere, funktionelle Anforderungen an automatisierte Fahrsysteme von Level 3 bis zu Level 5 festgelegt werden. Die VMAD hat zum Ziel, die entsprechenden Test- und Bewertungswerkzeuge zum Nachweis der gestellten Anforderungen bereit zu stellen. Das Zusammenspiel dieser beiden Gruppen FRAV und VMAD und die Integration der konkreten Anwendungsanforderungen aus der „Special Interest Group UN-R 157“, die sich nur auf einen konkreten Anwendungsfall (Autobahnssystem) beziehen, stellen dabei eine eigene Herausforderung dar. Ohne konkrete Anwendungsfälle und Erfahrungen mit Systemen auf den Straßen, ist es schwierig, große Fortschritte zu erzielen, da die Diskussionen und Arbeiten auf abstrakt-theoretischer Ebene ablaufen müssen und noch nicht, wie es bei vielen anderen Sicherheitssystemen der Fall ist, iterativ gestaltet werden können.

Das Thema der automatisierten Fahrzeuge trifft bei sehr vielen Staaten auf starkes Interesse. Eine weitere Schwierigkeit besteht dadurch darin, unter Beteiligung aller unterschiedlicher Zertifizierungsregime mit unterschiedlichen Interessenlagen konsensfähige Vorschriftenwerke zu erstellen. Der Entwicklungsprozess von Vorschriften ist dadurch vergleichsweise langwierig, aber durchaus transparent, da alle Arbeitsdokumente auf der Website der UNECE öffentlich zugänglich gemacht werden.

3.1.3 Vorschriftenentwicklung in der Europäischen Kommission

Innerhalb der Europäischen Kommission ist das gemeinsame Forschungszentrum (Joint Research Center, JRC) im Auftrag der Generaldirektion für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (DG GROW) damit beschäftigt, Konzepte und Vorschriften für den sicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen zu erarbeiten. Ziel ist es, in der Lage zu sein, delegierte Rechtsakte zu erlassen, sollte der Entwicklungsprozess auf Ebene der Vereinten Nationen zu langwierig sein und die Einführung der Technologie im europäischen Binnenmarkt verhindern.

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. Hier sind zum einen als derzeit diskutiertes Automatisierungssysteme Shuttle-Fahrzeuge ab Level 4, für die Anforderungen entwickelt werden, zu nennen. Außerdem wird ebenso wie bei den Vereinten Nationen der Anwendungsfall eines vollständigen Autobahnsystems ab Level 3, das den kompletten Geschwindigkeitsbereich und auch Fahrstreifenwechsel abdecken können soll, diskutiert.

4. Zusammenfassung

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 sind die Vorschriften für das automatisierte Fahren so auszugestalten, dass mögliche Risiken minimiert werden und gleichzeitig das vorhandene Verkehrssicherheitspotenzial voll ausgeschöpft werden kann.

Der Schritt von der Fahrerassistenz zur Automatisierung, also von Level 2 zu Level 3, ist insbesondere dadurch charakterisiert, dass sich das erlaubte Verhalten des Fahrers in Bezug auf die Ausführung der Fahraufgabe bedeutend verändert: Der Fahrer hat nun die Möglichkeit, die Fahraufgabe in einer festgelegten ODD an das System zu übergeben und muss die ordnungsgemäße Ausführung nicht überwachen. Er darf sich einer fahrfremden Tätigkeit zuwenden, muss jedoch jederzeit unter systemseitiger Einräumung einer ausreichenden Transitionszeit die Fahraufgabe wieder übernehmen können, wenn ihn das System hierzu auffordert. Die Definition des Level 3 sagt jedoch nichts zur Fahrzeugtechnik und den Typpenehmigungsbedingungen aus. Um den Rollenwechsel zwischen Fahrer und Maschine nun auch praktisch möglich zu machen, muss ein Fahrzeug, das für das Fahren im Level 3 genutzt werden soll, entsprechend technisch ausgerüstet sein, um eine sichere Fahrt im automatisierten Modus gewährleisten zu können. Anforderungen an die technische Ausgestaltung eines Level-3-Systems lagen jedoch bisher nicht vor und mussten in einem aufwändigen Prozess erarbeitet werden. Diese Arbeiten sind bisher insbesondere auf UNECE-Ebene erfolgt.

Der vorliegende Bericht beschreibt die theoretisch-logischen Hintergrundüberlegungen, auf deren Basis Anforderungen an automatisierte Fahrfunktionen, hier speziell zu einem Stau-Chauffeur für automatisiertes Spurhalten auf der Autobahn bis 60 km/h, gestellt werden können. Da es sich um prinzipielle Überlegungen zur Sicherheit automatisierten Fahrens und den zu stellenden Anforderungen daran handelt, lassen sich diese auch auf andere, komplexere Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens, wie sie in Zukunft zu erwarten sind, übertragen.

Wichtig beim Setzen von Anforderungen ist, dass man die vorhandenen technischen Möglichkeiten auch tatsächlich nutzt und nicht hinter diesen zurückbleibt. Ansonsten würde das automatisierte Fahren keinen Sicherheitsgewinn gegenüber dem manuellen Fahren bringen. Gleichzeitig braucht man keine in extremer Detailtiefe ausgearbeiteten Anforderungen, wenn es darum geht, die Entstehung kritischer Situationen zu vermeiden bzw. diese zu bewältigen, wenn man sich an folgenden Kerngedanken orientiert:

Als primäre Sicherheitsanforderung kann man setzen, dass sich das Fahrzeug im automatisierten Modus an die geltenden Verkehrsregeln hält. Damit sollte ausgeschlossen sein, dass

es selbst zum Verursacher eines Unfalls wird und Dritte zu unzumutbaren Fahrmanövern veranlasst. Gleichzeitig ergeben sich so von selbst eine Reihe von Anforderungen an die vom Fahrzeug zu wählenden Fahrparameter wie Abstand oder Geschwindigkeit, jeweils in Abhängigkeit der Sensorik und der Umgebungsbedingungen. Für ein automatisiertes Spurhaltesystem besteht somit die Hauptforderung darin, nicht mit Objekten, die sich bereits in der eigenen Fahrspur befinden, zu kollidieren.

Als sekundäre Sicherheitsanforderung kann man setzen, dass das Fahrzeug auf Fehler Dritter reagieren können muss und diese bis zu einem vom Stand der Technik vorgegebenen Grad ausmerzen können muss. Ist eine vollständige Unfallvermeidung nicht möglich, so muss das System die Kollision so gut wie möglich mildern. Diese Situationen mit Fehlern Dritter werden auch als Herausforderungen für das automatisierte Fahrsystem bezeichnet. Für ein automatisiertes Spurhaltesystem besteht die Hauptherausforderung darin, adäquat auf zu knapp einscherende Fahrzeuge zu reagieren. Die Herausforderungen können mit Maß und Zahl durch physikalische Größen und mathematische Abhängigkeiten der Parameter beschrieben werden, so dass die Anforderungen und die Grenze zwischen geforderter Unfallvermeidung und Kollisionsminderung klar und testbar beschrieben werden.

Die weiteren Anforderungen an das Level-3-System betreffen vor allem Aspekte der Interaktion des Systems mit dem Menschen zur sicheren Aktivierung, Deaktivierung und Transition – inklusive des Systemverhaltens bei nicht erfolgreicher Transition – sowie zur Sicherstellung von mode awareness. Darüber hinaus werden Anforderungen an den Umgang mit System- oder Fahrzeugfehlern, an die IT-Sicherheit und an die Datenspeicherung benötigt.

Neben den Anforderungen ist bei der Erlangung einer Typgenehmigung von Bedeutung, wie die Einhaltung der Anforderungen durch Tests überprüft werden soll. Neben dem klassischen Prüfgeländetest werden Alternativen wie Simulationen und Fahrten im Realverkehr diskutiert, außerdem spielt der Aspekt der Auditierung der Prozesse des Herstellers, die gewährleisten, dass ein sicheres Produkt vorliegt, eine Rolle. Bei der vorschriftseitigen Festlegung der Tests ist jedoch entscheidend, dass die Anforderungen bereits im Kern der Regelung selbst abschließend und für den ganzen möglichen Parameterraum festgelegt sind und mit dem Testkapitel keine weiteren Anforderungen, weder explizit noch implizit, hinzukommen. Mit dieser Vorgehensweise ist sichergestellt, dass man theoretisch alle Anforderungen, auch die, auf die im Testkapitel nicht mehr spezifisch eingegangen wird, abprüfen kann, z. B. auch im Rahmen einer späteren Marktüberwachung.

Mit der Fertigstellung der Vorschrift für automatisierte Spurhaltesysteme wurde zwar ein wesentlicher Meilenstein in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit automatisierter Fahrfunktionen erreicht (erstmalig ist es möglich, eine Typgenehmigung für ein Level-3-System zu erhalten und zwar

ohne auf Ausnahmeregelungen zurückgreifen zu müssen), die Arbeiten zur Entwicklung von Anforderungen sind aber weiter fortzusetzen. Es gilt, Anforderungen auch für komplexere Anwendungsfälle zu entwickeln. Dies betrifft zum einen die Erweiterung der Autobahnfunktionalität für höhere Geschwindigkeiten, für den Fahrstreifenwechsel und für andere Fahrzeugkategorien, zum anderen werden auch andere Domänen als nur die Autobahn zu betrachten sein. Drittens muss man sich gleichermaßen den Anforderungen widmen, die für Level-4-Fahrzeuge gelten sollen. Für all diese Arbeiten können die gleichen Grundprinzipien, die im vorliegenden Bericht dargelegt wurden, als Arbeitsgrundlage herangezogen werden.

Quellenverzeichnis

- Amersbach (2017). Amersbach, C.; Winner, H.: "Functional Decomposition - An Approach to Reduce the Approval Effort for Highly Automated Driving", 8. Tagung Fahrerassistenz, TU München / TÜV Süd Akademie, 2017.
- ASAM (2019). Online: <https://www.asam.net>
- Bredereke (2002). Bredereke J.; Lankenau, A.: „A rigorous view of mode confusion“ In International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security (S. 19-31). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. Directive 2007/46/EC (2007). "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, 2007.
- Framework Document (2019). "Revised Framework document on automated/autonomous vehicles, ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.1 World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation", Geneva, 2019.
- Frey (2019). Frey, A.: „Müdigkeit und Vigilanz in einer automatisierten Realfahrt“, VDI-Bericht Nr.2360, S. 121 – 132, Braunschweig, 2019.
- Frey (2021). Frey, A.: „Zum Fahrerzustand beim automatisierten Fahren: Objektive Messung von Müdigkeit und ihre Einflussfaktoren“, Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften, Braunschweig, 2021. Online: <https://katalog.ub.tu-braunschweig.de/vufind/Record/1753481872>
- Gasser (2012). Gasser, T. M. et al.: „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 83, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2012.
- Guidelines EU (2019). "European Commission: Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles", Version 4.1., 2019.
Online: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34802>, veröffentlicht am 05.04.2019.
- Jacobo (2019). Jacobo, A.-M.; Nobuyuki, U.; Kunio, Y.; Koichiro, O.; Eiichi, K.; Satoshi, T.: "Development of a safety assurance process for autonomous vehicles in Japan", Paper Number 19-0286, 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) ESV2019-3, Eindhoven, 2019.
- Klamroth (2019). Klamroth, A.; Zerbe, A.; Marx, T.: "Transitionen bei Level 3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten", FAT Schriftenreihe 323, Abrufbar unter: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-323.html>

- Kurpiers (2020). Kurpiers, C.; Biebl, B.; Mejia Hernandez; J.; Raisch, F.: „Mode Awareness and Automated Driving—What Is It and How Can It Be Measured?“, *Information*, 11(5), 277.
- Lafuente (2019). Lafuente, I.; Tobar, M.; Luján, C.; Martínez, E.: "Different approaches to the new regulatory challenges for connected and automated vehicles (CAV), Paper Number 19-0192, 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) ESV2019-1", Eindhoven, 2019.
- Meyna (2016). Meyna, A.; Heinrich, J.: „Risikobewertung unterschiedlicher Umsetzungsszenarien des Überführens eines automatisch gesteuerten Fahrzeugs in den sog. „risikominimalen Zustand““, Forschungsprojekt: FE 82.0570/2012, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Wuppertal, 2016, Veröffentlichung in Vorbereitung.
- National Highway Traffic Safety Administration (2016): "Cybersecurity best practices for modern vehicles", Report No. DOT HS 812 333. Washington, DC. 2016. Online: www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/812333_cybersecurityfor_modernvehicles.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. 2017. Online: www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069aads2.0_090617_v9a_tag.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. Online: www.nhtsa.gov/press-releases/av-test-initiative-tracking-tool-launch
- 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)", 2020. Online: www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/202002/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf
- Nepaulsingh (2020). Nepaulsingh J.; Matsushita, N.; Ellrott, J.: "Autonomous driving in Japan – part 1: road traffic law", Freshfields Bruckhaus Deringer, 2020. Online: digital.freshfields.com/post/102ge6o/autonomous-driving-in-japan-part-1-road-traffic-law
- Offis (2019). Böde, E.; Büker, M.; Damm, W.; Fränze, M.; Kramer, B.; Neurohr, C.; Van der Maelen, S.: „Identifikation und Quantifizierung von Automatisierungsrisiken für hochautomatisierte Fahrfunktionen“, Pegasus Technical Report, 17.07.2019.
- Owens (2020). Owens, J. : Keynote speech hold at the Automated Vehicles Symposium, July 29, 2020. Online: www.nhtsa.gov/speeches-presentations/automated-vehicles-symposium
- Pauli (2020). Pauli, B.: „Verkehrsverhalten und Sicherheitsziele beim automatisierten Fahren“, in: *Automobiltechnische Zeitschrift* 02/2020, Springer Vieweg, S. 60-63, 2020.
- Ponn (2019). Ponn, T.; Schwab, A.; Gnant, C.; Zahorsky, J.; Diermeyer, F.: "A Method for the Selection of Challenging Driving Scenarios for Automated Vehicles Based on an Objective

Characterization of the Driving Behavior", 9. Tagung Automatisiertes Fahren, TÜV SÜD Akademie, 2019. Online: <https://mediatum.ub.tum.de>

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.

Proposal for a new UN Regulation Cybersecurity (2020). "Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to cyber security and cyber security management system, ECE/TRANS/WP.29/2020/79) ", 2 April 2020.

Proposal for a new UN Regulation Software updates (2020). "Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to software updates and software updates management systems, ECE/TRANS/WP.29/2020/80) ", 31 March 2020.

Regulation (EU) 858/2018 (2018). "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) ", 2018.

Regulation (EU) 2019/2144 (2019). "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.

Rösener (2019). Rösener, C.; Sauerbier, J.; Zlocki, A.; Eckstein, L.; Hennecke, F.; Kemper, D.; Oeser, M.: „Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung“, Forschungsprojekt: FE 82.0626/2015, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bremen, 2019

The Japantimes (2020). "Honda to launch world's first level 3 autonomous vehicle by March", Nov. 11, 2020. Online: www.japantimes.co.jp

Thorn (2019). Thorn, E.; Rau, P.: "A framework for automated driving system testable cases and scenarios", Paper 19-0301, 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), ESV2019-2, Eindhoven, 2019.

UNECE (2021). Working Party on Automated / Autonomous and Connected Vehicles (GRVA): Informal Working Groups (IWGs) under GRVA, 2021. Online: <https://wiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=63310525>

- 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.4E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.78/Rev.4, 7. November 2018.
- SAE International (2018). "Surface vehicle recommended practice – Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles". J3016_201806. USA, 2018.
- Shi (2020). Shi, E.; Gasser, T.; Seeck, A.; Auerswald, R.: "The Principles of Operation Framework: A Comprehensive Classification Concept for Automated Driving Functions", SAE Intl. J CAV 3(1):27-37, 2020. Online: <https://doi.org/10.4271/12-03-01-0003>.
- Siebert (2019). Siebert, N.; Bahnert, J.; Damm, R.; Gaupp, W.; Hoogen, M.: „Das Typgenehmigungsverfahren für Kraftfahrzeuge“, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2019.
- StVG (2017). „Achstes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes“, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 38, ausgegeben zu Bonn am 20. Juni 2017.
- U.S. Department of Transportation (2018): "Preparing for the Future of Transportation: Auto-mated Vehicles 3.0 (AV 3.0) ", 2019. Online: www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/320711/preparing-future-transportation-automated-vehicle-30.pdf
- Vogelpohl (2016). Vogelpohl, T.; Vollrath, M.; Kühn, M.; Hummel, T.; Gehlert, T.: „Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung“, Forschungsbericht Nr. 39 des Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Berlin, 2016.
- Vogelpohl (2017). Vogelpohl, T.; Vollrath, M.; Kühn, M.: „Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung – Teil 2 - Müdigkeit und lange Fahrtdauer als Einflussfaktoren auf die Sicherheit nach einer Übernahmeaufforderung“, Forschungsbericht Nr. 47 des Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Berlin, 2017.
- Wachenfeld (2015). Wachenfeld, W.; Winner, H.: „Die Freigabe des autonomen Fahrens“, in: Autonomes Fahren, S. 440-463, Springer-Verlag GmbH, Berlin / Heidelberg, 2015.
- Winner (2012). Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.): „Handbuch Fahrerassistenzsysteme“, Springer Vieweg Verlag, 2012.
- Winner (2013). Winner H.; Wachenfeld, W.: „Absicherung automatischen Fahrens“, 6. FAS-Tagung, München, 29. November 2013.

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2016)

Nr.	Titel
283	Verformungs- und Versagensverhalten von Stählen für den Automobilbau unter crashartiger mehrachsiger Belastung, 2016
284	Entwicklung einer Methode zur Crashsimulation von langfaserverstärkten Thermoplast (LFT) Bauteilen auf Basis der Faserorientierung aus der Formfüllsimulation, 2016
285	Untersuchung des Rollwiderstands von Nutzfahrzeugreifen auf realer Fahrbahn, 2016
286	χ MCF - A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, 2016
287	Future Programming Paradigms in the Automotive Industry, 2016
288	Laserstrahlschweißen von anwendungsnahen Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2016
289	Untersuchung der Bewältigungsleistung des Fahrers von kurzfristig auftretenden Wiederübernahmesituationen nach teilautomatischem, freihändigem Fahren, 2016
290	Auslegung von geklebten Stahlblechstrukturen im Automobilbau für schwingende Last bei wechselnden Temperaturen unter Berücksichtigung des Versagensverhaltens, 2016
291	Analyse, Messung und Optimierung des Ventilationswiderstands von Pkw-Rädern, 2016
292	Innenhochdruckumformen laserstrahlgelöteter Tailored Hybrid Tubes aus Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2017
293	Filterung an Stelle von Schirmung für Hochvolt-Komponenten in Elektrofahrzeugen, 2017
294	Schwingfestigkeitsbewertung von Nahtenden MSG-geschweißter Feinbleche aus Stahl unter kombinierter Beanspruchung, 2017
295	Wechselwirkungen zwischen zyklisch-mechanischen Beanspruchungen und Korrosion: Bewertung der Schädigungsäquivalenz von Kollektiv- und Signalformen unter mechanisch-korrosiven Beanspruchungsbedingungen, 2017
296	Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur, 2017
297	Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfeldern beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen, 2017
298	Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes von realen Nutzfahrzeugen im Fahrversuch und Vergleich verschiedener Verfahren zur numerischen Simulation, 2017
299	Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen, 2017
300	Thermisches Rollwiderstandsmodell für Nutzfahrzeugreifen zur Prognose fahrprofilspezifischer Energieverbräuche, 2017
301	The Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter in Ambient Air, 2017
302	Design Paradigms for Multi-Layer Time Coherency in ADAS and Automated Driving (MULTIC), 2017
303	Experimentelle Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit von Scheiben auf die Kondensatbildung, 2017
304	Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter realen Umgebungsbedingungen, 2018
305	Simulationsgestützte Methodik zum Entwurf intelligenter Energiesteuerung in zukünftigen Kfz-Bordnetzen, 2018

- 306 Einfluss der Kantenbearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Stahl-Feinblechen unter quasistatisch und schwingender Beanspruchung, 2018
- 307 Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren, 2018
- 308 Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter zeitvarianten Betriebsbedingungen, 2018
- 309 Bewertung der Ermüdungsfestigkeit von Schraubverbindungen mit gefurchem Gewinde, 2018
- 310 Konzept zur Auslegungsmethodik zur Verhinderung des selbsttätigen Losdrehens bei Bauteilsystemen im Leichtbau, 2018
- 311 Experimentelle und numerische Identifikation der Schraubenkopfverschiebung als Eingangsgröße für eine Bewertung des selbsttätigen Losdrehens von Schraubverbindungen, 2018
- 312 Analyse der Randbedingungen und Voraussetzungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr, 2018
- 313 Charakterisierung und Modellierung des anisotropen Versagensverhaltens von Aluminiumwerkstoffen für die Crashsimulation, 2018
- 314 Definition einer „Äquivalenten Kontakttemperatur“ als Bezugsgröße zur Bewertung der ergonomischen Qualität von kontaktbasierten Klimatisierungssystemen in Fahrzeugen, 2018
- 315 Anforderungen und Chancen für Wirtschaftsverkehre in der Stadt mit automatisiert fahrenden E-Fahrzeugen (Fokus Deutschland), 2018
- 316 MULTIC-Tooling, 2019
- 317 EPHoS: Evaluation of Programming - Models for Heterogeneous Systems, 2019
- 318 Air Quality Modelling on the Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter Concentrations Using a High-Resolution Brake Use Inventory, 2019
- 319 Dehnratenabhängiges Verformungs- und Versagensverhalten von dünnen Blechen unter Scherbelastung, 2019
- 320 Bionischer LAM-Stahlleichtbau für den Automobilbau – BioLAS, 2019
- 321 Wirkung von Systemen der aktiven, passiven und integralen Sicherheit bei Straßenverkehrsunfällen mit schweren Güterkraftfahrzeugen, 2019
- 322 Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen - Umsetzung und Anwendung, 2019
- 323 Transitionen bei Level-3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten, 2019
- 324 Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren, 2020
- 325 Der Einfluss von Wärmeverlusten auf den Rollwiderstand von Reifen, 2020
- 326 Lebensdauerberechnung hybrider Verbindungen, 2020
- 327 Entwicklung der Verletzungsschwere bei Verkehrsunfällen in Deutschland im Kontext verschiedener AIS-Revisionen, 2020
- 328 Entwicklung einer Methodik zur Korrektur von EES-Werten, 2020
- 329 Untersuchung zu den Einsatzmöglichkeiten der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung zur Entwicklung von 3D-Rahmenstrukturen in Crashlastfällen, 2020
- 330 Analyse der Einflussfaktoren auf die Abweichung zwischen CFD und Fahrversuch bei der Bestimmung des Luftwiderstands von Nutzfahrzeugen, 2020
- 331 Effiziente Charakterisierung und Modellierung des anisotropen Versagensverhaltens von LFT für Crashsimulation, 2020

- 332 Charakterisierung und Modellierung des Versagensverhaltens von Komponenten aus duktilem Gusseisen für die Crashesimulation, 2020
- 333 Charakterisierung und Meta-Modellierung von ungleichartigen Punktschweißverbindungen für die Crashesimulation, 2020
- 334 Simulationsgestützte Analyse und Bewertung der Fehlertoleranz von Kfz-Bordnetzen, 2020
- 335 Absicherung des autonomen Fahrens gegen EMV-bedingte Fehlfunktion, 2020
- 336 Auswirkung von instationären Anströmeffekten auf die Fahrzeugaerodynamik, 2020
- 337 Analyse von neuen Zell-Technologien und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem Batteriepack, 2020
- 338 Modellierung der Einflüsse von Mikrodefekten auf das Versagensverhalten von Al-Druckgusskomponenten mit stochastischem Aspekt für die Crashesimulation, 2020
- 339 Stochastisches Bruchverhalten von Glas, 2020
- 340 Schnelle, breitbandige Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzung für das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2021
- 341 Wasserstoffkompatibilität von Aluminium-Legierungen für Brennstoffzellenfahrzeuge, 2021
- 342 Anforderungen an eine elektrische Lade- und Wasserstoffinfrastruktur für gewerbliche Nutzfahrzeuge mit dem Zeithorizont 2030, 2021
- 343 Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process, 2021
- 344 Review of non-exhaust particle emissions from road vehicles, 2021
- 345 Ganzheitliche Betrachtung von Rollwiderstandsverlusten an einem schweren Sattelzug unter realen Umgebungsbedingungen, 2021
- 346 Studie zur Abschätzung der Anwendungspotentiale, Risiken und notwendigen Forschungsbedarfe bei der Verwendung von Glashohlkugeln in Kombination mit thermoplastischem Schaumspritzguss, 2021
- 347 Typgenehmigungsanforderungen an Level-3-Autobahnssysteme - Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen für eine automatisierte Fahrfunktion, 2021

Impressum

Herausgeber	FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Behrenstraße 35 10117 Berlin Telefon +49 30 897842-0 Fax +49 30 897842-600 www.vda-fat.de
ISSN	2192-7863
Copyright	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2021

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de
Twitter @VDA_online

VDA | Verband der
Automobilindustrie

Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de/fat

FAT | Forschungsvereinigung
Automobiltechnik