

Fahrsicherheit von SAE Stufe 3 Systemen: Rahmenbedingungen und Herausforderungen am Beispiel eines Spurhaltesystems

Daniel Meier

Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS)
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart, Deutschland
st175705@stud.uni-stuttgart.de

Abstract— Auf dem Weg zu sicheren, zuverlässigen und komfortablen autonomen Systemen im öffentlichen Verkehr ist ein Wandel in der Ausübung der Fahraufgabe erkennbar. Die fortschreitende Ablösung des Menschen von der Steuerung des Fahrzeugs überträgt die Verantwortung über die Fahrzeugführung auf ein automatisiertes System. Das zum Anfang des Jahres 2021 genehmigte automatisierte Spurhaltesystem auf SAE-Level 3 ist das erste zum Straßenverkehr zugelassene System, welches die Fahraufgabe unter zutreffenden Voraussetzungen aktiv übernimmt. Dem Fahrer ist es währenddessen genehmigt, sich anderweitig zu unterhalten. Der aktuelle Stand der Technik informiert über die Funktionalität des erreichten Automatisierungsgrads sowie der zu erfüllenden Bedingungen für die Aktivierbarkeit des automatisierten Spurhaltesystems. Ein Einblick in die Validierung autonomer Systeme ist gegeben und vermeintliche Herausforderungen sind geschildert. Weitere Vorhaben, welche das Anwendungsfeld des SAE-Level 3 Systems begünstigen, sind genannt und ein zukünftiges Einsatzszenario durch die Weiterentwicklung des Spurhaltesystems ist gegeben.

Keywords—ALKS, automatisiertes Spurhaltesystem, Teleoperation, UN-Regelung Nr. 157, cyber-physisches System, autonomes Fahren

I. EINLEITUNG

Mit 25 % aller Verkehrsunfällen belegt die Unfallursache „Abkommen von der Fahrbahn“ Rang zwei der Unfallstatistik aller Verkehrsunfälle auf deutschen Autobahnen mit Personenschaden [1]. Mangelnde Konzentration, Müdigkeit und Ablenkung führen zu Verringerung des Situationsbewusstseins und folgen im schlimmsten Fall in einem Unfall durch das Abkommen von der Fahrbahn.

Das Potenzial bereits bestehender Technik ist ausbaufähig und steuert der Reduktion an Unfällen nur mäßig bei [2]. Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer je nach Ausführung durch Warntöne oder einen kurzen korrigierenden Lenkeingriff. Die Verantwortung über die Fahraufgabe trägt voll und ganz der Fahrer selbst. Setzt sich dieser ermüdet und mit mangelnder Konzentration hinter das Steuer, leidet das Situationsbewusstsein einschließlich die Fahrperformance darunter. Ein kurzer Eingriff in die Lenkbewegung durch den Spurhalteassistent ist unter Umständen nicht immer ausreichend, um den Fehler des Menschen in der Fahraufgabe zu korrigieren.

Dementsprechend sinnvoll erscheint die Integration eines Systems, welches den Fahrer nicht nur passiv unterstützt, sondern aktiv von der Fahraufgabe ablöst. Ein Vorstoß zur Realisierung der gewünschten Technologie erbringt die Zulassung auf Typengenehmigung bedingt automatisierter Systeme im Januar 2021 auf internationaler Ebene [3].

Infolgedessen resultierte aus der Weiterentwicklung des passiven Spurhalteassistenten das automatisierte Spurhaltesystem (Automated Lane Keeping System - ALKS).

Das ALKS ist das erste für den Straßenverkehr zugelassene SAE-Level 3 System, welches bedingt die Fahrzeugführung automatisiert durchführt und dem Fahrer eine Auszeit von der Fahraufgabe erlaubt [3]. Währenddessen ist es dem Fahrer überlassen, anderen fahrfremden Tätigkeiten nachzugehen. Der Fahrer muss sich dabei allerdings jederzeit auf dem Fahrersitz befinden und dazu in der Lage sein, die Fahraufgabe bei Anforderung durch das System verantwortungsbewusst entgegen nehmen zu können. [4]

Inwiefern das ALKS tatsächlich der Minimierung von Verkehrsunfällen auf Autobahnen beiträgt, zeigt der noch bevorstehende Einsatz im Straßenverkehr im Serienfahrzeug. Sicher ist, dass das System nur dann an Akzeptanz gewinnt und weiterhin für den Straßenverkehr zugelassen ist, insofern die Fehlerwahrscheinlichkeit die des Menschen unterbietet [5].

Genauere Informationen über den Automatisierungsgrad des ALKS sowie den funktionalen Umfang sind im „Stand der Technik“ geschildert. Teil III beinhaltet die Vorgaben und Rahmenbedingungen für den bedingten Einsatz des ALKS. Folglich wird die Sensorik zur Realisierung des ALKS beschrieben und ein Ansatz zur Validierung des automatisierten Systems aufgezeigt. Anstehende Herausforderungen sind genannt und ein zukünftiges Anwendungsszenario ist innerhalb einer Innovationschallenge geschildert.

II. STAND DER TECHNIK

A. SAE Automatisierungslevel

Die Grundlage zur Klassifizierung automatisierter Systeme erfolgt über die Norm SAE J3016 [5]. Definiert wurde diese von der SAE International, einer internationalen Organisation, welche sich mit der Harmonisierung und Standardisierung von Mobilitätstechnologien auseinandersetzt [6]. Die genannte Norm umfasst ein Modell bestehend aus sechs Stufen anhand welcher der Automatisierungsgrad eines Fahrzeugs definiert wird. Das niedrigste Automatisierungslevel der Stufe null wird Kraftfahrzeugen ohne jeglicher automatisierten Fahrfunktion zugeordnet [5]. Der höchste Automatisierungsgrad hingegen wird von Stufe fünf abgedeckt. Hierzu gehören vollständig autonom fahrende Kraftfahrzeuge, welche die Fahraufgabe vollkommen selbstständig übernehmen [5]. Ein technischer Fortschritt ist der Übergang von SAE Stufe 2 auf SAE Level 3.

Entscheidend ist der Unterschied der Verantwortung über die Fahraufgabe. Während bei Systemen des SAE Levels 2, mit welchem bisherige Spurhalteassistenten klassifiziert sind, die Verantwortung über die Fahrzeugführung ausschließlich in der Hand des Fahrers liegt, ergänzt das automatisierte System ab Stufe 3 den Fahrer verantwortungsbewusst in der Umgebungsüberwachung und übernimmt bedingt die Verantwortung bei Durchführung der Fahraufgabe [5]. Genannt wird das SAE-Level 3 deshalb auch die Stufe der „bedingten Automatisierung“ [5]. Immer und besonders in prekären Situationen, in welchen das System an seinen Grenzen arbeitet, muss dennoch eine sofortige Übernahme der Fahraufgabe auf Rückfallebene durch den Fahrer gewährleistet sein [4].

B. Funktionsumfang des ALKS

Ziel des ALKS ist die korrekte Ausrichtung des Fahrzeugs innerhalb der linken und rechten Fahrbahnmarkierung unter Einhaltung des Mindestabstands zu einem vorausfahrenden Fahrzeug. Das aktivierte ALKS übernimmt die longitudinale und laterale Fahrzeugführung, während sich der Fahrer anderweitig beschäftigen kann. Das System kontrolliert und validiert dabei fortlaufend die Aufmerksamkeit des Fahrers, um das Entgegennehmen der Fahraufgabe nach Aufforderung zu gewährleisten. Wird die Aufmerksamkeit als unzureichend bewertet, meldet sich das System beim Fahrer und stellt eine Übernahmeaufforderung. Kommt der Fahrer dieser nicht nach, ist das System dazu angehalten, einen gezielten Stillstand des Fahrzeugs zu erzwingen. Eine umfangreiche Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung ermöglicht eine Reaktion auf Rettungsfahrzeuge. Zur Nachvollziehbarkeit werden Tätigkeiten des ALKS sowie Handlungen des Fahrers als auch auftretende Events aufgezeichnet und auf einem Datenspeicher abgelegt. Der Einfluss des aktivierten ALKS kann jederzeit durch manuellen Eingriff in das Verkehrsgeschehen durch den Fahrer unterbunden werden. [4]

Die Abdeckung des genannten Funktionsumfangs berechtigt allerdings nicht die Aktivierung des ALKS. Weitere Vorgaben für den bedingten Einsatz gilt es zu erfüllen.

III. VORGABEN, RAHMENBEDINGUNGEN UND SICHERHEITSRELEVANTE FUNKTIONEN DES ALKS

Vorschriften für den bedingten Einsatz des ALKS sind in der UN-Regelung Nr. 157 formuliert. Nach dem Inkrafttreten dieser UN-Regelung wurde ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zum autonomen Fahren erreicht. Das ALKS, als das erste SAE-Level 3 System überhaupt, übernimmt bedingt die Fahraufgabe und gewährt dem Fahrer sich währenddessen mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen [3]. Inhalt der UN-Regelung Nr. 157 sind Vorschriften und Methoden zur Gewährleistung der Systemsicherheit automatisierter Systeme im öffentlichen Verkehr. Darunter sind mitunter technische Anforderungen an das System, cybersicherheitstechnische Aspekte, Validierungsvorschriften, der Ablauf zur Übertragung der Fahraufgabe an den Fahrer, situationsbedingtes Verhalten in kritischen Situationen sowie die zu erfüllenden Vorgaben zur Aktivierung des ALKS formuliert [4].

Das ALKS ist nach der UN-Regelung Nr. 157 zum aktuellen Zeitpunkt nur für Personenkraftwagen erlaubt und bei Zutreffen folgender Konditionen aktivierbar [4]:

- Der Fahrer befindet sich mit angelegtem Sicherheitsgurt im Fahrersitz
- Der Fahrer ist dazu in der Lage, die Fahraufgabe durchzuführen
- Der Systemdatenspeicher zur Aufzeichnung bestimmter Events ist aktiv
- Das ALKS unterliegt keinerlei Fehler welche zu sicherheitskritischem Verhalten führen könnten
- Das System erklärt sich durch einen Selbsttest als funktionstüchtig
- Infrastruktur und Umgebung gewähren die Aktivierung

Letztgenannte Anforderung spezifiziert das eigentliche Einsatzgebiet des ALKS durch äußere Bedingungen und wird demnach genauer betrachtet.

Umgebungsbedingungen gelten dann als erfüllt, insofern die Fahrzeuggeschwindigkeit 60 km/h nicht überschreitet, das Fahrzeug sich auf einer autobahnähnlichen Fahrbahn mit physischer Separation zur Gegenfahrbahn und keiner kreuzenden Fahrspur befindet. Weder Radfahrer noch Fußgänger darf die Nutzung des Verkehrswegs gestattet sein. Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise ein ausreichend gutes Wetter sowie hinreichende Straßenbedingungen, dürfen das ALKS nicht in seiner Funktion beeinträchtigen. Sind alle Kriterien erfüllt, ist das ALKS bereit zur Übernahme der Fahraufgabe. [4]

Wird das bedingt automatisierte System eingeschaltet, übernimmt dies die laterale als auch longitudinale Fahrzeugführung. Die Ausübung fahrfremder Tätigkeiten auf dem HMI sind nur so lange genehmigt, bis das ALKS eine Übernahmeaufforderung stellt. Ist dies der Fall, werden laufende Anwendungen terminiert und der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert. Eine Übernahmeaufforderung kann durch verschiedene Events ausgelöst werden. Um anschließend eine sichere Transition der Fahraufgabe vom System an den Fahrer zu gewährleisten, ist die Verfügbarkeit des Fahrers zu kontrollieren. [4]

A. Fahrer Verfügbarkeitserkennung

Die Fahrer Verfügbarkeit ist eine notwendige Bedingung zur Aktivierung des ALKS. Neben der Detektion der Präsenz des Fahrers hat das System die Aufgabe, die Ausrichtung der Person festzustellen. Damit eine rechtzeitige Entgegennahme der Fahraufgabe nach Übernahmeaufforderung gewährleistet ist, gilt zu kontrollieren, ob sich die Person übernahmebereit auf der Fahrerposition befindet [4]. Die Verfügbarkeit wird durch die Analyse von Körperbewegungen der Gliedmaßen als auch der Bewegung der Augenlider validiert [4]. Weitere Möglichkeiten zur Kontrolle der Fahrer Verfügbarkeit sind in der UN-Regelung Nr.157 aufgeführt. Ist der Nachweis der Fahrer Verfügbarkeit nicht ausreichend, provoziert das ALKS eine Bewegung des Fahrers durch Ausgeben einer Warnmeldung [4]. Werden dennoch nicht mindestens zwei Kriterien erfüllt, stellt das System eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer [4].

B. Fail-Safe Verhalten

1) Minimales Risikomanöver

Gerät das ALKS an seine Grenzen, gilt es weiterhin die Sicherheit der Fahrzeuginsassen als auch die der Verkehrsteilnehmer maximal zu wahren. Deshalb wird vorerst eine Übernahmeaufforderung der Fahraufgabe an den Fahrer gestellt. Ist dieser nicht dazu in der Lage, die Längs- und Querverführung des Fahrzeugs zu übernehmen und beantwortet die Anfrage nicht, erzwingt das ALKS einen gezielten Stillstand des Fahrzeugs. Ein sogenanntes „minimales Risikomanöver“ entschleunigt das Auto innerhalb der Fahrspur bei gleichzeitig aktiviertem Warnblinklicht. Das Risikomanöver gilt erst dann als beendet, insofern der Fahrer die Fahrzeugführung übernimmt oder das Fahrzeug stillsteht. [4]

2) Notfallmanöver

Begegnet das Fahrzeug bei aktiviertem ALKS hingegen der Gefahr, mit einem Fahrzeug oder anderen Objekt auf der Fahrbahn zu kollidieren, wird ohne Generierung einer Übernahmeaufforderung ein „Notfallmanöver“ eingeleitet. Je nach Entfernung der Kollisionsgefahr wird das Bremsmoment entsprechend skaliert. Gilt die Gefahr als überwunden, bleibt das ALKS aktiviert und geht wie gewohnt der Fahraufgabe nach. Folgt das Notfallmanöver in einem Stillstand des Fahrzeugs, verbleibt dieses ebenfalls mit eingeschaltetem Warnlicht bis zur Terminierung des Manövers. [4]

C. Sonstige Vorgaben

Außerdem sind innerhalb der UN-Regelung des ALKS weitere Vorschriften bezüglich Software-Updates und Cybersecurity mit dem Verweis auf die UN-Regelung 155 vorgegeben [4]. Der Fahrzeughersteller ist dazu verpflichtet, einen Systemdatenspeicher zu integrieren, um definierte Events mit einem Zeitstempel versehen abzuspeichern [4]. Testszenerien sind geschildert, gegen welche das Fahrzeug innerhalb des Typengenehmigungsprozess geprüft wird [4]. In der Auswahl der verwendeten Sensorik überlässt die UN-Regelung dem Hersteller einige Freiheiten. Wichtig ist ausschließlich, dass diese Konformität in der Umgebungswahrnehmung mit der UN-Regelung aufweisen.

IV. SYSTEMSENSORIK DES ALKS

In [5] hat Daimler zusammen mit elf weiteren renommierten Unternehmen Praktiken zur Entwicklung und Validierung eines sicheren automatisierten Systems ausgearbeitet. Ziel ist ein Endprodukt, dessen Sicherheit mindestens die des durchschnittlichen Fahrers übersteigt [5]. Deshalb werden nach dem Prinzip „Safety by Design“ bereits während des Entwicklungszyklus Sicherheitsaspekte beachtet. Die Verfügbarkeit des Fahrers, eine Notwendigkeit für die Einsatzbereitschaft des ALKS, wird beispielsweise mittels einer auf die Fahrerposition gerichteten Kamera analysiert [7].

Eine Empfehlung der umgebungswahnehmenden Sensorik ist in [5] gegeben und entspricht der Ausstattung aktueller SAE-Level 3 Systeme wie dem „Drive Pilot“ von Daimler, dem ersten SAE-Level 3 System mit internationaler Zulassung in einem Serienfahrzeug, als auch dem von Honda entwickelten „Honda Sensing Elite“ [8, 9]. Die Systeme verwenden Kameras, Lidar, Radar- und Ultraschallsensoren zur Wahrnehmung der Umgebung [7, 9]. Einsatzfahrzeuge werden durch Analyse der Daten von mehreren Mikrofonen detektiert [7].

Ein Mehrwert generiert die Fusionierung multimodaler umgebungswahnehmender Sensorik. Individuelle Schwächen einer Sensoreinheit werden durch die Stärken der Komplementärsensoren gemindert und die Wahrnehmung verbessert. Trotz dessen sind die Informationen der von den Sensoren detektierten Umgebungsbedingungen nicht immer ausreichend, um in Abhängigkeit davon die Bereitschaft des ALKS zu bestimmen. Über ein GNSS-Modul und den Bezug von Korrekturdaten wird das Fahrzeug genauestens lokalisiert und der Verfügbarkeitsstatus des ALKS a-priori über die Daten einer HD-Karte determiniert [5].

Der Drive Pilot von Daimler beispielsweise bezieht über eine HD-Karte per backend-Anbindung aktualisierte Informationen zur erlaubten Geschwindigkeit, dem Straßenverlauf, der Verkehrssituation als auch den Straßenbedingungen [8]. Der Nachweis, ob sich das Fahrzeug tatsächlich auf einem autobahnähnlichen Verkehrsweg befindet, wird durch Abgleich der GNSS-Position mit der HD-Karte bestimmt. Das ALKS ist nur dann aktivierbar, wenn sich dieses innerhalb eines sogenannten „geo-fence“ befindet [10]. Darunter versteht sich ein mit GNSS-Koordinaten abgegrenztes Gebiet, innerhalb welchem die Verkehrswege als autobahnähnlich definiert sind.

V. VALIDIERUNG AUTONOMER SYSTEME

Der Entwicklungsfortschritt von SAE-Level 2 auf SAE-Level 3 erweitert das Einsatzgebiet automatisierter Systeme und sorgt gleichzeitig für eine Zunahme der Verantwortung an der Fahraufgabe. Dementsprechend sind bisherige SAE-Level 2 Validierungsmethoden nicht mehr ausreichend und müssen zur Prüfung von SAE-Level 3 Systemen im Umfang ausgeweitet werden. Ziel der Validierungsphase ist der Nachweis eines Restrisikos, welches dem der menschlichen Fehlerrate unterliegt [5]. Dementsprechend ist die Systemhardware, Software als auch die Fahrerinteraktion unter verschiedensten Bedingungen zu beurteilen.

Nach [5] ist es sinnvoll, das System vorerst partiell und später ganzheitlich in einer virtuellen Simulationsumgebung zu testen, um eine ausreichende Reife des Systems in der realen Fahrumgebung zu gewährleisten. Je umfangreicher das System getestet wird, desto besser ist die Abdeckung regulärer Verkehrssituationen und Edge-Cases. Deshalb wird zu szenarienbasierten Testverfahren gegriffen, gegen welche das System in virtueller Umgebung geprüft wird. Wenige Standardsituationen sind bereits in der UN-Regelung Nr. 175 vorgegeben. Darunter der Ausscher- und Abbremsvorgang eines vorausfahrenden Fahrzeugs sowie das Einscheren eines überholenden PKWs [4]. Die genannten Szenarien decken nur einen winzigen Bruchteil denkbarer Verkehrssituationen ab. Zur Förderung der Systemsicherheit obliegt es dem Fahrzeughersteller, das System ausgiebiger auf weitere Szenarien zu testen.

Mit dem Tool OpenSCENARIO lässt sich eine Vielzahl an virtuellen Szenarien generieren. Per Parametrisierung lassen sich statische Gegebenheiten wie die Straßengeometrie oder Hindernisse konfigurieren als auch dynamische Einflüsse durch Personen, Fahrzeuge und weitere Objekten einbinden [11]. Im Vergleich zu realen Testfahrten kann das System in kürzerer Zeit einer größeren Anzahl und insbesondere kritischen Szenarien ausgesetzt werden, welche aus sicherheitstechnischen Gründen in der Realität nicht durchführbar sind. Durch das skalierte Testen verschiedener Szenarien werden Systemschwachstellen aufgedeckt und

diese iterativ ausgebessert [12]. Unter Verwendung eines Fahrsimulators kann die Interaktion eines Fahrers mit dem System per „Driver in the Loop“ Simulation erprobt werden [5]. Ist eine ausreichende Systemreife nachgewiesen, werden die bisher abgedeckten Szenarien vorerst auf einem Versuchsgelände und anschließend im realen Verkehrsgeschehen erprobt, analysiert und durch reguläre Szenarien als auch aufgetretene Corner- und Edge-Cases erweitert [13].

Die Antwort darauf, ob das System ausreichend auf unkritisches Verhalten validiert wurde und genügend Szenarien abgedeckt sind, offenbart letztendlich der Einsatz beim Endkunden im Serienfahrzeug.

VI. HERAUSFORDERUNGEN FÜR DAS ALKS

Schwer abschätzbar ist das Interesse beim Endkunden an aktuellen SAE-Level 3 Systemen. Für die bedingt automatisiert fahrende S-Klasse von Mercedes sowie den Honda Legend sind in der Anschaffung über 100.000 Dollar zu entrichten [14]. Fraglich ist, ob der aktuelle Mehrwert eines Fahrzeugs mit ALKS dem Kaufwert angemessen ist. Nur sehr bedingt lässt sich dieses auf autobahnähnlichen Verkehrswegen bei einer Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h einsetzen und ist unterdes aktuell noch nicht dazu befugt, einen Spurwechsel durchzuführen [15]. Außerdem lässt sich der Drive Pilot nach Äußerung im Dezember 2021 nur auf ausgewählten Autobahnstücken innerhalb Deutschlands einsetzen [7]. Insofern der eigentliche Einsatz eines Fahrzeugs eher abseits von Autobahn und Kraftfahrstraße stattfindet, ist anzuzweifeln, ob der stolze Preis wirklich für ein SAE-Level 3 Fahrzeug in Frage kommt.

Eine Abneigung von ca. 50% gegenüber der Zulassung autonomer Systeme innerhalb einer Umfrage bestätigt die Skepsis deutscher Autofahrer gegenüber der neuartigen Technologie [16]. Das SAE-Level 3 ist durch die Möglichkeit der jederzeitigen Übernahme der Fahraufgabe zwar differenziert zu betrachten, die Bewertung der Akzeptanz des bedingt automatisierten Fahrens gewinnt dennoch ebenfalls an Misstrauen [17]. Eine falsche Vorstellung über die eigentliche Zuverlässigkeit und Sicherheit automatisierter Systeme kann an der falschen Darstellung der eigentlichen Funktionalität liegen. Eine adäquate Aufklärung über die genaue Funktionalität und Verantwortung der Assistenzsysteme ist ausschlaggebend für den angemessenen Gebrauch und die damit verbundene Beurteilung durch den Menschen.

Nach [14] lieferte Tesla ein Softwareupdate mit der Bezeichnung „Full Self-Driving“. Die Namenswahl der Softwareversion lässt auf eine vollkommen autonome Fahrfunktion schließen. Der kalifornischen Verkehrsbehörde wurde im Widerspruch erklärt, dass es sich dabei lediglich um ein Assistenzsystem auf SAE-Level 2 handelt [14]. Zu bedenken ist, dass die fehlende Information über die eigentliche Systemfunktionalität zu nicht sachgemäßer Nutzung führen kann und folglich ein falsches Licht auf die höheren Automatisierungsgrade ab Stufe 3 wirft. Die Verantwortung über die Unfälle, in welche Fahrzeuge mit integrierter SAE-Level 2 Technologie verwickelt sind, liegt eigentlich in der Hand des Fahrers. Werden diese Systeme bereits als autonom bezeichnet, was sie nicht sind, wird der Eindruck an mangelnder Systemsicherheit fälschlicherweise über die eigentlichen autonomen Systeme vermittelt.

Ein Sicherheitsrisiko für cyber-physische Systeme bildet außerdem die Cyber-Security. Obwohl der Begriff Security vom Begriff Safety zu trennen ist, beeinflusst die Cyber-Security maßgeblich die funktionale Sicherheit des Systems. Böswillige Absichten können zu Datenmissbrauch, Fehlfunktionen von Fahrzeugen bis hin zu schwerwiegenden Unfällen führen. Zur Zertifizierung eines ALKS ist die Konformität mit der UN-Regelung 155, in welcher Methoden zur Abwehr von Cyberangriffen genannt sind, nachzuweisen. Ein ausreichender Schutz gegen Cyber-Angriffe ist dennoch schwer zu belegen, beziehungsweise nicht möglich. Die zunehmende Anzahl vernetzter cyber-physischer Systeme bietet eine wachsende potenzielle Angriffsfläche für böswillige Absichten. Mögliche Ansätze für Cyber-Security Maßnahmen sind in [18] genannt.

Wie sicher und ausgereift die Technik der SAE-Level 3 Systeme in Wirklichkeit ist, wird sich spätestens durch den vielfachen Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr zeigen. Ab dann beginnt eine spannende und sicherlich auch herausfordernde Zeit für die Automobilbranche. Erkenntnisse aus den nächsten Jahren werden Grenzen aktueller Technologien aufweisen und Anreize neuartiger innovativer Ideen liefern.

VII. INNOVATIONSCHALLENGE – DAS ALKS IM TELEOPERIERTEN FERNTRANSPORT

Wie bereits geschildert, ist das ALKS hauptsächlich auf Autobahnen und Kraftfahrstraßen einsatzfähig. Eine SAE Level 3 Zertifizierung ist zu aktuellem Zeitpunkt nur für Personalfahrzeuge, nicht aber für Lastkraftwagen im Güterverkehr zulässig [19]. Besonders im Fernverkehr bewegen sich LKWs einen Großteil der Strecke über autobahnähnliche Verkehrswege. Zur Förderung der Verkehrssicherheit wäre die Integration des ALKS in Lastkraftwagen besonders vorteilhaft. Eine Ausweitung aktueller Sicherheitsanforderungen wurde bereits über alle Fahrzeugkategorien eingereicht und mit einer voraussichtlichen Gültigkeit ab Juni 2022 beantwortet [19].

Die Euphorie zum Fortschritt der Ausweitung der UN-Regelung auf Lastkraftwagen stößt hingegen bei dem Leiter der Autonomous Technology Group von Daimler Trucks auf wenig Euphorie. Aus Kostensicht ist kein großes Kundeninteresse für bedingt automatisiert fahrende Lastkraftwagen zu erwarten. Überzeugt ist er aber davon, das SAE-Level 3 zu überspringen und bereits in den kommenden acht Jahren autonom fahrende LKWs auf SAE-Level 4 auf die Straßen zu bringen. [20]

Ab wann die Technik als auch die Infrastruktur den Ansprüchen des SAE-Level 4 tatsächlich gewachsen sind, steht aktuell noch in den Sternen. Sinnvoll ist deshalb eine Brückentechnologie auf dem Weg zum SAE Level 4. Ein Vorstoß dafür liefert bereits die mutmaßliche Zulassung von SAE-Level 3 Systemen in LKWs.

A. Brückentechnologie für den Ferntransport

Nützlicher Einfluss durch bedingt automatisiert fahrende Lastkraftwagen ist auch im Güterverkehr denkbar. Die Integration eines Zwischenschritts auf dem Weg zum SAE-Level 4 könnte die Einbindung teilautonomer Systeme für den Gütertransport attraktiv gestalten und frühzeitig Lösungen auf aktuelle Probleme darbieten. Die Rede ist von einem möglichen „SAE-Level 3+“, welches prinzipiell weiterhin auf dem SAE-Level 3 basiert. Diese neuartige Technologie



Abbildung 1 Beispielhafter Hardwareaufbau zur Steuerung des LKWs und Visualisierung der Fahrzeugumgebung – Kamera zur Fahrerüberwachung ausgenommen [21]

ermöglicht den Rollenwechsel vom Lastkraftwagenfahrer zum Teleoperator. Der LKW-Fahrer wird aus der Fahrerkabine losgelöst und die Bewegung des Kraftfahrzeugs per Remote-Bedienung kontrolliert. Die Durchführung der Fahraufgabe erfolgt durch eine der Fahrerkabine ähnelnden Bedienungsumgebung. Gezeigt ist der dafür notwendige Hardwareaufbau in Abbildung 1.

Die Bedienungsumgebung kann flexibel in einer Zentrale oder sogar dem Zuhause des Fahrers aufgebaut werden. Die am LKW angebrachten Kameras übertragen die aufgenommene Fahrzeugumgebung in den fahrerkabineähnlichen Hardwareaufbau, von welchem aus der Teleoperator aktiv die Fahraufgabe ausübt oder auf Rückfallebene dem System zur Verfügung steht. Um Konformität gegenüber der UN-Regelung aufzuweisen, ist die Überwachung des Fahrers und die Kontrolle dessen Aufmerksamkeit weiterhin per Kamera notwendig.

B. Funktionsweise des teleoperierten Betriebs

Der Arbeitsablauf des Fahrers gestaltet sich dabei wie folgt. Ist der Transporter beladen und fahrbereit wird der Fahrer darüber benachrichtigt und kann den Stream der Fahrzeugumgebung auf die Bildschirme aktivieren. Der Fahrer ist über den Transportweg einschließlich Zielort aufgeklärt. Aus der nachgebildeten Fahrerkabine übernimmt der Fahrer die Fahraufgabe und navigiert den Lastkraftwagen auf dem Weg vom Logistikzentrum bis auf die Autobahn beziehungsweise eine Kraftfahrstraße. Ab dem Zeitpunkt, zu welchem das ALKS die Aktivierung genehmigt, erteilt der Fahrer die Fahraufgabe dem automatisierten System. Fortan befindet sich der Fahrer auf Rückfallebene und wird von einem Kamerasystem auf die Übernahmebereitschaft der Fahraufgabe kontrolliert. Der Fahrer muss zwar über den kabinenähnlichen Nachbau bereitstehen, ist aber dazu befugt, anderen Tätigkeiten nachzugehen. Befindet sich das Fahrzeug in einer Ausnahmesituation oder kurz vor Abfahrt von der Autobahn, wird der Fahrer im Fernbetrieb dazu aufgefordert, die Fahraufgabe wieder entgegenzunehmen. Geschieht dies nicht, bringt das automatisierte System das Fahrzeug entsprechend der UN-Regelung zum Stillstand.

C. Aktuelles Pilotprojekt

An einem ähnlichen Konzept arbeitet ein Münchner Start-up-Unternehmen namens Fernride. Dieses arbeitet an einer Technologie, mit welcher „Transportation-as-a-Service“

Lösungen angeboten werden können [22]. Innerhalb eines Pilotprojekts hat Fernride die Machbarkeit der Teleoperation eines teilautonomen LKWs auf einem Betriebsgelände bereits unter Beweis gestellt [22]. Für die eigentliche sinnvolle Anwendung der Teleoperation im Fernverkehr auf öffentlichen Straßen gilt es noch rechtliche und technische Hürden zu überwinden. Dann aber ergibt sich die Chance für Fernride, in Zukunft das Ziel der Navigation von LKWs im Fernverkehr aus der Teleoperationszentrale (TO-Zentrale) zu erreichen.

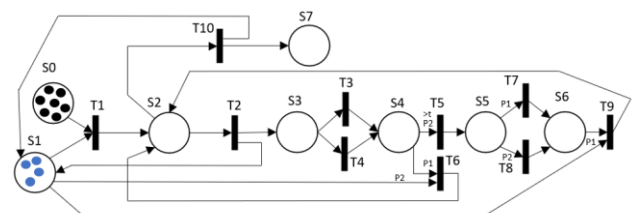
D. Positive rechtliche Entwicklung

Um weiteres Interesse für den Fernverkehr per Teleoperation zu wecken, ist eine Anpassung der maximalen Geschwindigkeit von aktuell 60 km/h bis zu welcher das ALKS aktiviert werden kann, sinnvoll. Außerdem ist es vorteilhaft, dem ALKS die Erlaubnis zum Wechsel der Fahrspur zu erteilen. Nach Information des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) wurden genannte Aspekte in einer Sitzung der UNECE bereits eingebracht und seitens vieler Mitgliedsstaaten begrüßt [23].

E. Anwendungsszenario im Fernverkehr

Generell ist davon auszugehen, dass die genannten Änderungen der SAE-Level 3 Systembedingungen positiv aufgenommen werden. Besonders aber würden Logistikfirmen für Ferntransporte davon profitieren. Ein Teleoperator könnte nicht nur einem, sondern gleich mehreren Lastkraftwagen auf Rückfallebene bereitstehen. Denkbar ist folgendes Szenario, zu sehen in Abbildung 2:

Ein bis mehrere freie Teleoperatoren (S1) nehmen jeweils einen Fahrauftrag entgegen (T1) und führen einen freien LKW (S0) teleoperiert in Richtung autobahnähnlichen Verkehrsweg (S2). Ist dieser erreicht und die Bedingungen zur Aktivierung des ALKS erfüllt (T2), erteilt der Teleoperator dem ALKS die Fahraufgabe (S3). Befindet sich der Lastkraftwagen über einen größeren Zeitraum auf der Autobahn, ergibt sich dem Teleoperator die Möglichkeit, den nächsten LKW in Richtung Autobahn zu manövrieren. Wiederholt übergibt der Teleoperator nach dem Auffahren auf die Autobahn die Fahraufgabe an das automatisierte System. Der Fahrer agiert anschließend auf Rückfallebene aus der Ferne. Zu bedenken ist, dass das ALKS beim Verlassen der Autobahn die Systemgrenzen überschreiten würde und dementsprechend vorzeitig eine Übernahmeaufforderung gestellt werden muss. Ein gewisses Risiko besteht, insofern die LKWs die Abfahrt von der Autobahn mit einer anderen Taktung übermitteln, als wie diese auf die Autobahn aufgefahren wurden. Um dieses Szenario weitgehendst abzusichern, dass aufgrund der



P1: höchste Priorität
P2: Alternative

Abbildung 2 Visualisierung des Anwendungsszenarios per Petri Netz

abweichenden Taktung nicht alle Übernahmeaufforderungen rechtzeitig beantwortet werden können, wird eine bestimmte Anzahl an Lastkraftwagen von einer Gruppe an Teleoperatoren geleitet und eine Alternativhandlung integriert.

Bei Verlassen des autobahnähnlichen Verkehrswegs ist das ALKS erneut auf den teleoperierten Betrieb angewiesen. Deshalb wird per Positionsabgleich mit einer HD-Straßenkarte frühzeitig das baldige Verlassen der Autobahn (T3) festgestellt und bei zutreffender Bedingung eine Übernahmeaufforderung generiert (S4). Bei Nichterfüllung einer Bedingung (T4) wird hingegen zum sofortigen Zeitpunkt zur Übernahme aufgefordert (S4). Bleibt diese über einen bestimmten Zeitraum unbeantwortet (T5), wird die HD-Karte auf eine Stillstandmöglichkeit für den LKW analysiert (S5). Ist eine Abfahrt geplant, wurde die Übernahmeaufforderung bereits bewusst früh genug generiert, so dass das ALKS einen Rastplatz vor anstehender Autobahnausfahrt als Ausweichmöglichkeit bestätigt (T7). Auf eine Übernahmeaufforderung, provoziert durch ein unbekanntes Ereignis oder eine fehlende Bedingung (T4), ist je nach Dringlichkeit das Ausweichen auf einen Rastplatz aufgrund der Entfernung keine realisierbare Option (T8). Per minimalem Risikomanöver wird dann der LKW auch in diesem Szenario zum Stillstand gebracht (S6) und wartet folglich auf die Beantwortung der Übernahmeaufforderung (T9). Wird diese von einem Teleoperator beantwortet, übernimmt dieser die Fahraufgabe (S2), bis schließlich der Zielort erreicht wurde (T10) und der LKW zur Beladung und Entladung bereitgestellt wird (S7). Steht bei Generierung der Übernahmeaufforderung (S4) mindestens ein Teleoperator frei zur Verfügung, gilt es priorisiert die Übernahmeaufforderung anzunehmen (T6) und bis zum Erreichen des Ziels (T10) das Fahrzeug zu teleoperieren.

F. Mehrwert durch Teleoperation

Günstig wirkt sich diese fortschrittliche Technologie der Teleoperation besonders auf den Speditionsunternehmer durch folgende Punkte aus:

- Lösung auf das Problem des Personalmangels
- Kostenersparnis
- Die Remote-Bedienung optimiert die Auslastung eines LKWs auf bis zu 100%
- Einfacheres Flotten- und Personalmanagement
- Verkürzte Lieferzeit durch Ersparnis der Pausenzeiten

Letztgenannter Punkt erklärt die Optimierung der Auslastung auf bis zu 100% und die Verkürzung der Lieferzeiten. Nach Verordnung (EG) Nr. 561/2006 ist ein Betriebskraftfahrer dazu befugt, maximal 9 Stunden pro Tag an Lenkzeit auf der Straße zu verbringen [24]. Durch Einsparung der Stillstandzeiten des Lastkraftwagens aufgrund der vorgeschriebenen Pausenzeiten für Berufskraftfahrer ist eine Optimierung der Auslastung auf bis zu 100% möglich.

Eine positive Haltung gegenüber der Technologie ist auch auf Seite der Berufskraftfahrer zu erwarten. Der Ort des Arbeitsplatzes lässt sich zur Zufriedenheit der Arbeitnehmer variabel in das eigene Zuhause oder die nahegelegene TO-Zentrale verlegen. Das Wegfallen des Aufenthalts fernab von der Heimat führt zu einer flexibleren Freizeitgestaltung. Ab wann heutige Lastkraftwagenfahrer als zukünftige

Teleoperatoren von genannten Vorteilen profitieren, ist noch von rechtlichen sowie technischen Hürden abhängig.

G. Technische und rechtliche Schwierigkeiten

Die vollständige Netzabdeckung muss gewährleistet sein und Funklöcher ausgeschlossen werden können. Eine möglichst gute Internetverbindung zur Realisierung einer in Echtzeit funktionsfähigen Teleoperation sorgt für mehr Sicherheit während der Navigation durch den Teleoperator. Redundante Kommunikations- und Versorgungsverbindungen zu den Teleoperatoren müssen gegeben sein. Das Worstcase Szenario eines Unfalls muss durchdacht werden. Wer kümmert sich um das beschädigte Fahrzeug? Wer sichert im Notfall die Unfallstelle ab?

H. Ausblick in die Zukunft

Auch das teleoperierte Fahren ist keine Technologie, welche von heute auf morgen realisierbar ist. Denkbar ist eine schrittweise Erprobung über eine definierte Strecke mit zutreffenden Voraussetzungen. Start-up Unternehmen wie Fernride untermauern die Realisierbarkeit der Brückentechnologie. Sind die Anforderungen erfüllt und die Teleoperation genehmigt, erschließen sich für weitere Branchen wie den Personenverkehr per Bus oder Taxi neue Möglichkeiten Prozesse zu gestalten und zu optimieren.

VIII. LITERATUR

- [1] Statistisches Bundesamt, *Verkehr Verkehrsunfälle 2019*. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/verkehrsunfaelle-jahr-2080700197004.pdf?__blob=publicationFile. Zugriff am: 17. Dezember 2021.
- [2] I. Wilmink, *Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS) in Europe: Final Report and Integration of Results and Perspectives for market introduction of IVSS*. [Online]. Verfügbar unter: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130401_140253_77423_eIMPACT_D9_D10_v2.0.pdf (Zugriff am: 11. Dezember 2022).
- [3] UNECE, *UN Regulation on Automated Lane Keeping Systems is milestone for safe introduction of automated vehicles in traffic*. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/transport/press/un-regulation-automated-lane-keeping-systems-milestone-safe-introduction-automated> (Zugriff am: 13. Januar 2022).
- [4] United Nations, *Addendum 156 – UN Regulation No. 157: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems*. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/sites/default/files/2021-03/R157e.pdf> (Zugriff am: 13. Januar 2022).
- [5] Matthew Wood, M.Sc *et al.*, „Safety First for Automated Driving“, Aptiv, Audi, Baidu, BMW, Continental, DAIMLER, FCA, here, infineon, intel, Volkswagen. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.daimler.com/dokumente/innovation/sonstiges/safety-first-for-automated-driving.pdf>. Zugriff am: 13. Januar 2022.

- [6] SAE INTERNATIONAL, <https://www.sae.org/about>. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sae.org/about/> (Zugriff am: 13. Januar 2022).
- [7] DAIMLER, „Einfach Technik: Hochautomatisiertes Fahren mit dem DRIVE PILOT: Bereit für das nächste Level“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-drive-pilot.html>. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [8] DAIMLER, *Erste international gültige Systemgenehmigung für hochautomatisiertes Fahren / Daimler*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.daimler.com/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/systemgenehmigung-fuer-hochautomatisiertes-fahren.html> (Zugriff am: 4. Januar 2022).
- [9] SAE INTERNATIONAL, „Honda, Toyota intro more-advanced driver-assistance system“, 13. Apr. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sae.org/news/2021/04/honda-toyota-introduce-new-ad-as-systems>. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [10] DAIMLER, *Introduction DRIVE PILOT: An Automated Driving System for the Highway*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.daimler.com/dokumente/innovation/sonstiges/2019-02-20-vssa-mercedes-benz-drive-pilot-a.pdf> (Zugriff am: 13. Januar 2022).
- [11] ASAM e.V., *ASAM OpenSCENARIO: User Guide*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.asam.net/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=4092&token=d3b6a55e911b22179e3c0895fe2caa8f5492467#_parameters (Zugriff am: 7. Januar 2022).
- [12] B. Koller und T. Düser, „Homologation und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen“, *ATZ Extra*, S1, 2020, doi: 10.1007/s35778-020-0113-4.
- [13] Z. Szalay, T. Tettamanti, D. Esztergár-Kiss, I. Varga und C. Bartolini, „Development of a Test Track for Driverless Cars: Vehicle Design, Track Configuration, and Liability Considerations“, *Period. Polytech. Transp. Eng.*, Jg. 46, Nr. 1, S. 29, 2017, doi: 10.3311/PPtr.10753.
- [14] A. Demling und T. Jahn, „Warum Teslas Fahrzeuge nicht völlig autonom fahren können“, *Handelsblatt*, 19. Apr. 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/technik/digitale-revolution/digitale-revolution-warum-teslas-fahrzeuge-nicht-autonom-fahren-koennen/27020464.html?ticket=ST-1050723-7ebTW2OODEsThBWz9eUf-ap5>. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [15] G. Hebermehl, „Mercedes mit Level-3-Zulassung“, *auto-motor-und-sport*, 9. Dez. 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/mercedes-autonom-level-3-drive-pilot/>. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [16] Teresa Cilwa, „Mehrheit der Deutschen will keine Roboter-Autos auf den Straßen“, *FOCUS Online*, 21. Jan. 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.focus.de/auto/autoentwicklung/auto-scout-24-umfrage-nur-jeder-5-te-wuerde-in-einem-selbstfahrenden-auto-fahren_id_12884394.html. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [17] C. Ebert, M. Weyrich, B. Lindemann und S. P. Chandrasekar, „Systematisches Testen für autonomes Fahren“, *ATZ Elektron*, Jg. 16, Nr. 3, S. 26–31, 2021, doi: 10.1007/s35658-020-0573-8.
- [18] R. Jung und B. Wernerus, „Cybersicherheit für automatisierte Fahrzeuge“, *ATZ Automobiltech Z*, Nr. 1, 2021, doi: 10.1007/s35148-020-0628-4.
- [19] UNECE, *UN regulation on Automated Lane Keeping Systems (ALKS) extended to trucks, buses and coaches*. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulation-automated-lane-keeping-systems-alks-extended-trucks> (Zugriff am: 10. Januar 2022).
- [20] Holger Mohn, *Daimler Trucks entwickelt autonome Lkw*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/autonom-fahrende-lkw.html#anchor_1691078 (Zugriff am: 10. Januar 2022).
- [21] Universität Stuttgart - Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, *2016_Fahrzeugsimulator*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ias.uni-stuttgart.de/img/forschungsschwerpunkte/2016_Fahrzeugsimulator.jpg?__scale=h:1333,w:1520,cx:480,cy:0,chw:1333,cw:1520?__scale=w:1000,h:1000,q:100,t:3 (Zugriff am: 2. Mai 2022).
- [22] L. Holzki, „Fernride: Start-up aus München will Lkw-Fahren zum Bürojob machen“, *Handelsblatt*, 6. Juli 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/autonomes-fahren-fernride-will-lkw-fahren-zum-buerojob-machen/27305730.html>. Zugriff am: 13. Januar 2022.
- [23] Bundesministerium für Digitales und Verkehr, *Automatisiertes Spurhaltesystem entspannt das Fahren auf der Autobahn im Stau*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Straassenverkehr/automatisiertes-spurhaltesystem.html> (Zugriff am: 13. Januar 2022).
- [24] Europäisches Parlament, *Verordnung (EG) Nr. 561/2006*. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R0561-20200820&from=EN> (Zugriff am: 13. Januar 2022).