

Wann fahren wir autonom? Eine Untersuchung aus technischer und rechtlicher Sicht.

Lukas Birkemeyer,¹ Marlene Delventhal,² Ina Schaefer,² Fabian Schmieder³

Abstract:

Autonomes Fahren rückt immer mehr in den Fokus der Gesellschaft. Im Gesetz zum autonomen Fahren sieht die deutsche Bundesregierung einen Meilenstein, der die Realisierung des autonomen Fahrens ermöglicht. Dennoch sind keine serienreifen, autonomen Fahrfunktionen auf deutschen Straßen zugelassen. Wie weit sind wir noch vom *Traum vom autonomen Fahren* entfernt? In diesem Beitrag wird untersucht, welche offenen Fragen es aus juristischer und technischer Sicht gibt und in welchen Punkten beide Disziplinen aufeinander warten. Der aktuelle Stand wird in den Bereichen Typgenehmigung/Zulassung, Fahrerlaubnis (Führerschein) und Haftung systematisch untersucht. Mit Hilfe eines Gedankenexperiments, bei dem der menschliche Fahrer durch einen Roboterfahrer ersetzt wird, wird eine einheitliche Basis geschaffen, um automatisierte Fahrfunktionen und Fahrerassistenzsysteme zu vergleichen. Dieser Beitrag deckt offene Fragen auf, die für die Realisierung des vollständig autonomen Fahrens noch beantwortet werden müssen. Eine praktische Umsetzung erfordert eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit, insbesondere von Expert*innen aus den Bereichen Regulierung, Technik und Sozialwissenschaften.

Keywords: AFBGV; Automatisiertes Fahren; Fahrerlaubnis; Gesetz zum autonomen Fahren; SOTIF

1 Motivation und Einleitung

Ein Mann sitzt im Cockpit eines Kraftfahrzeugs (KFZ). Nachdem er einen Hebel am Lenkrad bedient, setzt sich das KFZ in Bewegung. Im Zeitraffer fährt es über eine Autobahn und nimmt eine Ausfahrt, die auf eine Landstraße führt, hält an einem Stoppschild und parkt, als es sein Ziel erreicht. All dies geschieht, ohne dass der Fahrer eingreift.

Dieses Szenario aus einem Video⁴ demonstriert *Teslas* Full Self-Driving (FSD) Funktion⁵, mit der Kunden eine Vorrüstung für autonomes Fahren kaufen können.⁶ Freigeschaltet ist bislang lediglich das Assistenzsystem *Autopilot*⁷, bei dem der Fahrer das Verhalten

Diese Arbeit wurde anteilig durch das Promotionsprogramm "Verantwortungsvolle Künstliche Intelligenz in der Digitalen Gesellschaft" durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur finanziert.

¹ Technische Universität Braunschweig, {l.birkemeyer,i.schaefer}@tu-braunschweig.de

² Leibniz Universität Hannover, marlene.delventhal@iri.uni-hannover.de

³ Hochschule Hannover, fabian.schmieder@hs-hannover.de

⁴ Tesla-Youtube-Channel, *Full Self-Driving*, 23.04.2019, <https://www.youtube.com/watch?v=t1Thdr305Qo>.

⁵ https://www.tesla.com/de_DE/support/full-self-driving-computer

⁶ <https://www.tesla.com/model3/design#overview>

⁷ https://www.tesla.com/de_DE/autopilot



des Fahrzeugs dauerhaft überwachen muss. Der Automobilhersteller *Mercedes*, der das Luxusmodell *S-Klasse* bereits mit einer Vorrüstung für Automated Valet Parking (AVP) ausgestattet hat, hat nun mit der Erlaubnis des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) die weltweit erste Typgenehmigung für seinen *Drive Pilot* erhalten, der es dem Fahrer ermöglicht, sich bei einer Geschwindigkeit bis max. 60 km/h vom Fahrgeschehen abzuwenden.⁸

Verschiedene Stakeholder der Automobilindustrie und neueste Entwicklungen der Gesetzgebung erwecken den Eindruck, dass das voll autonome Fahren bereits Realität sei oder zumindest kurz bevorstehe. Im Juli 2021 trat das *Gesetz zum Autonomen Fahren* in Kraft und soll der Grundstein für die Realisierung von autonomen Fahrzeugen sein. Andreas Scheuer, Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur a.D. erklärt: „Damit ist der Weg frei, um selbststeuernde Fahrzeuge ganz regulär auf die Straße zu holen – als erstes Land weltweit.“⁹ Dennoch bleiben Mercedes' AVP und Teslas' FSD Funktion bislang deaktiviert und es gibt keine regulär zugelassenen, serienreifen autonomen Fahrzeuge auf deutschen Straßen. Wie weit sind wir noch von dem *Traum vom autonomen Fahren* entfernt?

Aktuelle Zulassungen konzentrieren sich auf Fahrerassistenzsysteme (FAS) der Automatisierungsstufen L0 – L2 gem. SAE J3016 Standard, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen und dadurch Sicherheit und Komfort im Straßenverkehr erhöhen [Wi15a, Wi15b]. Fahrfunktionen der Automatisierungsstufen L3 – L5 gem. SAE J3016 Standard unterscheiden sich durch einen höheren Grad an Automatisierung von konventionellen FAS. SAE J3016 beschreibt diese Systeme als *automatisierte* Fahrfunktionen. Das Gesetz zum autonomen Fahren nutzt den Ausdruck *autonome* Fahrfunktion, um ein System (L4 gem. SAE J3016) zu beschreiben, das "die Fahraufgabe ohne eine fahrzeugführende Person selbstständig in einem festgelegten Betriebsbereich erfüllen kann" (§ 1d Abs. 1 Nr. 1 StVG).

Technische Herausforderungen bei der Umsetzung einer automatisierten Fahrfunktion liegen in Verifikation und Validierung. Trotz gewissenhafter Prüfungen und der Aussicht auf weniger Verkehrsunfälle muss aus rechtlicher Sicht festgelegt werden, wie mit dem verbleibenden Restrisiko umgegangen wird und wer für entstandenen Schaden aufkommen muss. Insgesamt scheint es, als ob es an einer Synchronisierung von Recht und Technik fehle. Die Kernfrage, die dieser Artikel betrachtet, ist daher: Wartet das Recht auf die Technik oder wird die Technik durch fehlende gesetzliche Regelungen aufgehalten?

Um der Beantwortung der offenen Fragen näher zu kommen, wird für die folgenden Überlegungen ein Gedankenexperiment angestellt: Der menschliche Fahrer wird durch einen Roboterfahrer ersetzt und so eine Ausgangssituation für die technische und rechtliche Untersuchung geschaffen. Nach der Ausführung der rechtlichen (vgl. Kap. 2) und technischen Grundlagen (vgl. Kap. 3) und der aktuellen Gesetzeslage zum autonomen Fahren (vgl. Kap. 4), wird diese Konstellation zusammen mit den Lücken, die sie aufwirft, analysiert und diskutiert (vgl. Kap. 5) und schließlich ein Fazit gezogen (vgl. Kap. 6).

⁸ <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/mercedes-benz-darf-hochautomatisiertes-fahren-anbieten-17675559.html>

⁹ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html>

2 Rechtliche Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Prozesse zur Typgenehmigung und Zulassung von KFZ vorgestellt. Es folgt eine Bestandsaufnahme zur Fahrerlaubnis der Nutzer und der Haftungsmodalitäten im Schadensfall.

2.1 Typgenehmigung und Zulassung

Damit ein KFZ am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen darf, muss es zugelassen sein. Die Voraussetzungen richten sich nach internationalem und nationalem Recht. Auf nationaler Ebene regeln speziell das Straßenverkehrsgesetz (StVG) und die Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV) Einzelheiten. § 3 Abs. 1 FZV besagt: *"Die Zulassung wird auf Antrag erteilt, wenn das Fahrzeug einem genehmigten Typ [EG-Typgenehmigung] entspricht oder eine Einzelgenehmigung erteilt wurde und eine dem Pflichtversicherungsgesetz entsprechende KFZ-Haftpflichtversicherung besteht. Die Zulassung erfolgt durch Zuteilung eines Kennzeichens, Abstempelung der Kennzeichenschilder und Ausfertigung der Zulassungsbescheinigung"*.¹⁰ Das StVG verweist in § 1a Abs. 3 StVG auch auf internationale Vorschriften (Nr. 1) und die Typgenehmigung (Nr. 2).

Die erforderliche *EG-Typgenehmigung* wird bereits vor Markteintritt in der EU benötigt (Art. 1, Art. 2 Abs. 3 der EU-Verordnung (EU-VO) 2018/858). Die EU-VO 2018/858 verlangt neben der Typgenehmigung eine Marktüberwachung von KFZ und -anhängern sowie Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für KFZ im Markt. Ziel der Verordnung ist es, den Typgenehmigungsvorgang durch harmonisierte Vorschriften und Grundsätze stabil, transparent, vorhersehbar und nachhaltig zu gestalten.¹¹ Bezüglich der Bauartvorschriften verweist die EU-VO 2018/858 überwiegend auf die im Europarecht für den Anwendungsfall der Zulassung existierenden Bestimmungen der *„United Nations Economic Commission for Europe“* (UN/ECE; Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen), die auf einem im Jahr 1958 geschlossenen Übereinkommen basieren.¹² Darin findet sich ein Katalog mit Regelungen, die regelmäßig in europäisches und nationales Recht transferiert werden. Für eine einheitliche Typgenehmigungspraxis wird vorausgesetzt, dass jede EG-Typgenehmigung im Einklang mit den UN/ECE-Regelungen erteilt wird. Diese legen Vorgaben für Rad-Straßenfahrzeuge und deren Bestandteile fest, die auch Fahrzeuge mit FAS betreffen.

Die UN/ECE-Regelungen verweisen regelmäßig auf technische Standardnormen wie ISO 26262 [IS18]. Um funktionale Sicherheit von elektronischen, sicherheitsrelevanten Komponenten eines Fahrzeugs im Straßenverkehr zu gewährleisten und Konstruktionsfehler

¹⁰ https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/BJNR013900011.html

¹¹ EU-VO 2018/858 Erwägungsgrund 5

¹² <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38021/attachments/1/translations/en/renditions/native>.

zu vermeiden, führt der ISO 26262 Standard entwicklungsbegleitende Methoden und Prüfungen ein. Die Norm gliedert sich in 12 Teile, die sich u.a. auf die Konzeptphase und die Produktentwicklung von System-, Hardware- und Softwareebene beziehen. Nach der UN-Regelung Nr. 157 vom 22.01.2021, die einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des automatischen Spurhalteassistenzsystems (ALKS) [2021/389] schaffen soll, müssen die Auditoren/Gutachter der Systeme "*insbesondere zur Prüfung nach ISO 26262-2018 [...] zugelassen sein*" [Un21].

2.2 Fahrerlaubnis

Um als menschlicher Fahrer in Deutschland ein Fahrzeug auf öffentlichen Straßen führen zu dürfen, ist eine Fahrerlaubnis erforderlich. Diese kann gem. § 2 StVG für verschiedene Klassen erteilt werden und ist durch eine amtliche Bescheinigung (Führerschein) nachzuweisen. Die Anwärter*innen werden in einer Fahrschule mit den Verkehrsregeln vertraut gemacht und im praktischen Umgang mit den Fahrzeugen geschult. Die Teilnahme am theoretischen und praktischen Unterricht ist obligatorisch. Anschließend absolvieren sie eine Fahrprüfung, die aus einem theoretischen und einem praktischen Teil besteht. Wenn sich der Fahrer als ungeeignet zum Führen von Kraftfahrzeugen erweist (z.B. weil er durch erhebliches Fehlverhalten aufgefallen ist oder aus tatsächlichen Gründen ungeeignet ist) kann die Fahrerlaubnis entzogen oder eingeschränkt werden (vgl. § 69 ff. StGB, § 46 FeV). Das von bewegten KFZ ausgehende Risiko wird also durch Schulung der Fahrer*innen reduziert. Ein Restrisiko, welches auch erhebliche Sachschäden und den Tod von Menschen umfasst, wird gleichwohl von der Gesellschaft akzeptiert und die Haftung für mögliche Schädigungen in den entsprechenden Gesetzen geregelt.

2.3 Haftung

Kommt es heute zu einem Verkehrsunfall, so haftet der Halter (§ 7 StVG), wenn beim Betrieb seines Fahrzeugs ein Mensch getötet oder verletzt oder eine Sache beschädigt worden ist. Halter eines KFZ ist diejenige Person, auf dessen Namen das KFZ zugelassen ist. Ausgeschlossen ist die Haftung in Fällen von *höherer Gewalt* (z.B. elementare Naturkräfte). Auch der Fahrer haftet (§ 18 StVG) wenn er den Schaden zu verschulden hat, in Haftungseinheit mit dem Halter. In seltenen Fällen kommt es zur Haftung durch (Teile-)Hersteller (§ 1 Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)), wenn der Schaden auf einem Fehler beruht, der nach dem Stand der Wissenschaft und Technik im Zeitpunkt des Inverkehrbringens des Produkts hätte erkannt werden können. Dementsprechend muss der (Teile-)Hersteller seinen Konstruktions-, Fabrikations- und Instruktionspflichten nachkommen. Die Produzentenhaftung (§ 823 Abs. 1 Bürgerliches Gesetzbuch (BGB)) sieht zudem eine Pflicht zur Produktbeobachtung vor, die sich durch Warnungen und Produktrückrufe auswirken kann.

3 Technische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Arbeitsbereiche und die Datenverarbeitung von FAS beschrieben. Anschließend werden Automatisierungsstufen gem. SAE J3016 Standard erklärt.

3.1 Fahrerassistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind Systeme, die den menschlichen Fahrer beim Führen eines KFZ unterstützen. Diese Unterstützung kann nach *Donges* [Do09] auf drei Ebenen erfolgen: (1) Stabilisierung, (2) Bahnführung und (3) Navigation. Systeme, die zur Stabilisierung beitragen, erhöhen im Grenzfall die Traktion und bieten dem Fahrer bessere Kontrolle über das Fahrzeug. Solche Systeme sind bspw. Antiblockiersysteme¹³ (ABS) oder Elektronische Stabilitätsprogramme¹⁴ (ESP). FAS, die auf bahnführender Ebene arbeiten, beobachten den Zustand des eigenen Fahrzeugs, Verkehrssituation und geplante Route. Aus diesen Parametern ermitteln bahnführende Systeme optimale Sollgrößen und regeln die Aktuatorik entsprechend. Ohne FAS obliegt die Bahnführung vollständig dem Fahrer. FAS, die auf Navigationsebene arbeiten, unterstützen den Fahrer bei der Navigation, insb. bei der Routenplanung. In der vorliegenden Ausarbeitung sind mit dem Begriff *Fahrerassistenzsystem (FAS)* insb. bahnführende Systeme gemeint. Eine vollständige Automatisierung bahnführender Systeme bietet Potential zur Einführung von autonomen Fahrfunktionen, weil diese Systeme wesentliche Vorgaben des menschlichen Fahrers erfordern.

3.2 Automatisierungsstufen

Der Standard SAE J3016 [SA21] gliedert FAS und automatisierte Fahrfunktionen nach dem Grad der Automatisierung in sechs Stufen. Ausschlaggebend für die Einteilung ist die Bahnführungsebene. Die erste Stufe *L0* beschreibt Systeme, die keinen Einfluss auf die Bahnführung haben. Stufe *L1* beschreibt Systeme, die einen Einfluss auf Längs- oder Querverführung des Fahrzeugs haben. Ein Tempomat mit *L1* regelt bspw. die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs (Längsführung), während der Fahrer lenkt (Querführung). Systeme mit *L2* übernehmen sowohl Längs- als auch Querführung. Dabei wird bspw. ein Tempomat (Längsführung) mit einem Spurhalteassistenten (Querführung) kombiniert. Die Umgebungsbeobachtung für Systeme der Ebenen *L0* – *L2* obliegt dem Fahrer. Er ist für das Verhalten des Fahrzeugs in der Umgebung verantwortlich. Unterstützende Systeme in den Ebenen *L1* – *L2* werden als *Fahrerassistenzsystem (FAS)* bezeichnet. Die Stufe *L3* baut auf Systemen mit *L2* auf und erweitert diese um die Umgebungsbeobachtung. Der Fahrer darf sich von der Umgebungsbeobachtung abwenden, muss aber die gesamte Steuerung übernehmen, sobald das System ihn dazu auffordert. Die Ebene *L4* beschreibt Systeme, die in einer Domäne

¹³ <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/loesungen/fahrsicherheit/antiblockiersystem/>

¹⁴ <https://www.volkswagen.at/technik-lexikon/esp>

vollständig autonom agieren. Außerhalb dieser Domäne muss der Fahrer die Steuerung übernehmen. Eine Domäne ist eine explizit abgegrenzte Umgebung, bspw. ein Parkhaus oder eine Autobahn mit trockener Fahrbahn. Die Stufe *L5* ist der höchste Automatisierungsgrad und beschreibt vollständig autonome Fahrzeuge, die ohne Fahrer fahren können. Systeme der Stufen *L3* – *L5* werden als *automatisierte Fahrfunktionen* bezeichnet.

4 Gesetz zum autonomen Fahren und Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung

Um eine rechtliche Grundlage für die Einführung von autonomen Fahrzeugen zu schaffen, werden in Deutschland Gesetzesnovellierungen vollzogen. Jüngst ist am 28. Juli 2021 eine Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) als Rechtsrahmen für autonome KFZ in Kraft getreten. Mit dem *Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes (Gesetz zum autonomen Fahren)*¹⁵ hat Deutschland als *erster Staat weltweit*¹⁶ eine gesetzliche Regelung geschaffen, mit der fahrerlose Fahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen regulär am Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Um dieses Vorhaben vollständig umzusetzen, findet aktuell die Ausarbeitung der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV) statt, die (u.a. technische) Einzelheiten der Zulassung und des Betriebs der Fahrzeuge regelt [BM21]. Das Gesetz erlaubt den Regelbetrieb autonomer Fahrzeuge in bestimmten Anwendungsfällen. Dieser Schritt dient als Übergangsregelung, bis eine einheitliche internationale Lösung erarbeitet wurde [DB20]. Das Gesetz soll z.B. die Personenbeförderung im öffentlichen Personenverkehr (*People Mover*) oder die Nutzung zur Post- oder Medikamentenverteilung ermöglichen [DB21].

Struktur Das Gesetz zum autonomen Fahren ergänzt das StVG um die §§ 1d bis 1l und erweitert § 1 des Pflichtversicherungsgesetzes (PflVG). Dadurch wird die Nutzung von KFZ mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen unter technischer Aufsicht (TA) durch eine natürliche Person ermöglicht (§ 1d Abs. 3 StVG). Bei einem festgelegten Betriebsbereich handelt es sich um einen örtlich und räumlich begrenzten öffentlichen Straßenraum (§ 1d Abs. 2 StVG). Die TA muss das KFZ jederzeit deaktivieren und Fahrmanöver freigeben können (§ 1d Abs. 3 StVG). Das KFZ muss jedoch in der Lage sein, die Fahrt ohne die permanente Überwachung einer aufsichtsführenden Person zu bewältigen (§ 1e Abs. 2 Nr. 1 StVG). Des Weiteren muss das darin enthaltene Steuerungssystem bei unvermeidbaren Schädigungen unterschiedlicher Rechtsgüter deren Bedeutung berücksichtigen – davon ausgehend, dass der Schutz des menschlichen Lebens oberste Priorität besitzt – und darf in Dilemma-Situationen nicht anhand persönlicher Merkmale abwägen (§ 1e Abs. 2 Nr. 2 lit. b,c StVG).

¹⁵ <https://t1p.de/bo9o>

¹⁶ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html>

Anforderungen Die Pflichten der Beteiligten – des Halters, der TA und des Herstellers – werden im Gesetz festgelegt (§ 1f StVG). So ist der Halter für die Erfüllung der Aufgaben der TA zuständig, kann diese Rolle jedoch delegieren (§ 1f Abs. 1 Nr. 3 StVG). Daneben obliegt ihm u.a. die Pflicht, regelmäßige Wartungen der Systeme sicherzustellen, die für die autonome Fahrfunktion erforderlich sind (§ 1f Abs. 1 Nr. 1 StVG). Der Hersteller muss gem. § 1f Abs. 3 StVG u.a. eine Risikobeurteilung für das KFZ vornehmen (Nr. 2) und Schulungen anbieten, die die technische Funktionsweise eines KFZ für beteiligte Personen klar stellt (Nr. 5). Das PflVG wird in § 1 um die Pflicht für den Halter des autonomen KFZ ergänzt, die Haftpflichtversicherung auch für die TA abzuschließen.

Kritik Bei näherer Betrachtung bleiben einige Punkte ungeklärt. Anders als der Titel vermuten lässt, werden *nur* L3+-Systeme und nicht vollständig autonome Fahrzeuge adressiert. Um diese Hürde zu überwinden, bedürfte es statt der L2-Erprobungsgenehmigung, bei der das KFZ permanent überwacht werden muss (§ 1i StVG), einer weitergehenden Experimentierklausel [HK20]. Auch die hohen Anforderungen an die Qualifikation der TA, die § 14 AFGBV-RefE iVm Anlage II Nr. I verlangt, werden von verschiedenen Quellen in Frage gestellt [Bi21c, Bi21b, IK21]. Die TA muss demzufolge über einen Abschluss als (Diplom-)Ingenieur, Bachelor, Master oder staatl. geprüfter Techniker der Fachrichtung Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrttechnik oder Luftfahrzeugtechnik verfügen. Die Konkretisierung der Aufgaben der TA wäre im Zusammenhang mit der Festlegung des erforderlichen Maßes an Sachkunde wünschenswert. Zudem fordert das Gesetz eine 1:1-Betreuung von TA und Fahrzeug, so dass es bei öffentlichen Verkehrsmitteln mit diesem Gesetz zu keiner Einsparung von Personal, sondern lediglich zu einer Verschiebung der Tätigkeiten des Personals kommt.

5 Analyse / Diskussion

Dieses Kapitel vergleicht die rechtlichen Aspekte von autonomen Fahrzeugen mit etablierten Vorgehensweisen für herkömmliche KFZ. Dabei werden Probleme aufgedeckt, die den *Traum vom autonomen Fahren* verhindern. Die Basis für den strukturierten Vergleich bildet das sogleich erläuterte Gedankenexperiment:

Gedankenexperiment: Roboterfahrer Fahrzeuge mit herkömmlichen FAS (L0 – L2) werden von Menschen geführt. Bei autonomen Fahrzeugen wird der Fahrer durch eine technische Einheit ersetzt. Somit bestehen autonome KFZ prinzipiell aus zwei Komponenten: (1) einem Fahrzeug, wobei die Ausstattung, der Antrieb und das Design beliebig ist (2) einem Fahrroboter, der die Aufgaben eines menschlichen Fahrers übernimmt. Der Fahrroboter muss über eine Schnittstelle mit dem KFZ (L0) interagieren, die Umgebung mit Sensoren beobachten und das KFZ ohne Schädigungen führen. Menschliche Fahrer nutzen als Schnittstelle bspw. ein Lenkrad, Gas- oder Bremspedal und sehen bzw. hören die Umgebung. Die Rechtsgebiete Typgenehmigung/Zulassung, Fahrerlaubnis und Haftung sind für menschliche Fahrer gut analysiert und es gibt etablierte Regelungen und Prozesse. Was bedeutet es aber, wenn ein KFZ von einem Fahrroboter (L5) gesteuert wird?

5.1 Typgenehmigung und Zulassung

Der Prozess der Zulassung autonomer Fahrzeuge ist wie für herkömmlichen Fahrzeuge nach den Vorgaben der FZV denkbar. Die KFZ müssen über eine EG-Typgenehmigung verfügen und nach den gesetzlichen Vorgaben pflichtversichert sein. Für die Einheitlichkeit der Genehmigungspraxis muss jede EG-Typgenehmigung den Bestimmungen der UN/ECE-Regelungen entsprechen. Beispielsweise regelt die UN/ECE-Regelung 13-H automatisch gesteuerte Bremsungen. Auch die Lenkung durch „Fahrerassistenzanlagen“ ist geregelt, wobei eine Übersteuerung immer möglich sein muss (UN/ECE-Regelung 79 2.3.4). Zudem muss zwingend eine Abschaltung des FAS bei einer Geschwindigkeit von über 10 km/h erfolgen (UN/ECE-Regelung 79, 5.1.6.1). Zuletzt erfolgte eine Ergänzung des Regelungskatalogs, die ein ferngesteuertes Einparken (*Remote Controlled Parking*) erlaubt (UN/ECE-Regelung 79, 2.4.8) sowie UN-Regelung 157, die im Regelbetrieb den Autobahnstauiloten zulässt, der die Längs- und Querführung von KFZ mit L3 auf Autobahnen bei einer Geschwindigkeit bis zu 60 km/h automatisiert übernehmen kann [Lu21].

Aktuell ist eine Zulassung von KFZ mit FAS höherer Level (L3+) sowie gänzlich autonomer Fahrzeuge nur mittels einer Ausnahmegenehmigung (Art. 39 VO 2018/858 bzw. § 47 FZV) bzw. einer Typgenehmigung für Kleinserienfahrzeuge (Art. 41 f. VO 2018/858) möglich. Neben den überschaubaren vorhandenen Bestimmungen hinsichtlich FAS besteht in den UN/ECE-Regelungen somit die Notwendigkeit für weitere Ergänzungen, die die Systeme und ihre Verwendung präzisieren und zusätzliche autonome Fahrfunktionen erlauben. Aktuelle Prozesse sind für die Zulassung von autonomen Fahrzeugen mit L5 nicht ausreichend.

Äquivalent zur Typgenehmigung herkömmlicher KFZ müssen auch autonome Fahrzeuge geltenden Normen entsprechen. Für die bewegliche Basis (L0) und den Roboterfahrer (L5) aus dem Gedankenexperiment muss die ISO 26262 [IS18] beachtet werden, um Konstruktionsfehler zu vermeiden und funktionale Sicherheit zu gewährleisten. Da der Roboterfahrer mit seiner Umgebung interagiert, muss er zudem die Anforderungen des im Januar 2019 veröffentlichten Safety of the intended functionality (SOTIF) Standards (ISO 21448) [IS19] erfüllen. SOTIF stellt sicher, dass elektronische Systeme wie beabsichtigt funktionieren. Im Gegensatz zur ISO 26262 zielt SOTIF auf Fehlerzustände ab, die nicht auf Konstruktionsfehler, aber auf die Interaktion eines KFZ mit seiner Umgebung zurückzuführen sind. SOTIF führt sogenannte *Szenarien* ein. Ein Szenario beschreibt objektiv die Umgebung eines Fahrzeugs bspw. das Straßennetz, Ampeln, das Verhalten von Verkehrsteilnehmern und das Wetter [U115]. Der SOTIF Standard untergliedert Szenarien in vier Kategorien. Dabei wird zwischen *bekannt* und *unbekannt* sowie *sicher* und *unsicher* Szenarien unterschieden. Im Rahmen der Verifikation und Validierung einer autonomen Fahrfunktion muss das Verhalten der Fahrfunktion in Kombination mit Szenarien untersucht und bewertet werden. Ziel ist es, im Rahmen der Tests die Menge an unsicheren Szenarien zu minimieren. Unklar bleibt, welche Szenarien für szenario-basiertes Testen genutzt werden sollen und wie diese Szenarien bewertet werden. Der SOTIF Standard lässt zwei wesentliche Punkte offen, die die praktische Auswahl an Szenarien für die technischen

Absicherung von autonomen Fahrzeugen verhindern: (1) Nach welchen Kriterien werden Szenarien in die Klassen sicher / unsicher bzw. bekannt / unbekannt untergliedert? Zur Klassifikation müssen generische Metriken und zugehörige Schwellwerte festgelegt werden. Birkemeyer et al. [Bi21a] modellieren einen Szenarienraum, der bekannte und unbekannte Szenarien abbildet. Sie zeigen außerdem, dass sich Szenarien anhand eines Mutation Scores unabhängig vom Prüfling bewerten lassen. (2) Wie groß darf die Menge von unsicheren, insbesondere unsicheren und unbekanntem Szenarien, maximal sein um ein definiertes Restrisiko zu gewährleisten? Der SOTIF Standard diskutiert das Verhältnis zwischen Risiko und der Szenarienmenge bzw. -auswahl nicht. Ebenfalls wird nicht diskutiert, wie sich die Größe des Bereichs von unbekanntem Szenarien ermitteln lässt. Die Menge der aus dem gesamten Szenarienraum ausgewählten Szenarien lässt sich mit Coverage-Kriterien messen [Bi21a]. Die technische Absicherung von autonomen Fahrzeugen ist essentiell für die Typgenehmigung und Zulassung, so dass offenen Fragen, die den praktische Einsatz von szenario-basiertem Testen gemäß SOTIF Standard verhindern, beantwortet werden müssen.

5.2 „Fahrerlaubnis?“

Eine Voraussetzung für die Teilnahme von autonomen Fahrzeugen am Straßenverkehr ist die Entbindung von dem Erfordernis eines Fahrers im Verhaltensrecht. Dieses stützt sich – im Unterschied zum Zulassungsrecht – überwiegend auf das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (WÜ). Das WÜ wurde 1968 mit dem Ziel geschlossen, die Sicherheit des Straßenverkehrs durch einheitliche Verkehrsregeln zu erhöhen.¹⁷ Bislang wird den Vertragsstaaten die Erlaubnis zum Betrieb automatisierter Systeme selbst überlassen, was eine partikuläre Rechtsunsicherheit auf der EU-Ebene mit sich bringt. Nach der Ergänzung von Art. 8 um Abs. 5*bis* des WÜ im Jahr 2016 mit dem Ziel, das automatisierte Fahren zu erlauben, bleibt unklar, ob sich der Fahrzeugführer zur Übersteuerung oder Deaktivierung des Systems *im* KFZ befinden muss oder eine Fernsteuerung ausreicht. Für Klarheit soll die geplante Erweiterung durch Art. 34*bis* sorgen. Danach soll das Fahrererfordernis durch die Verwendung eines automatisierten Fahrsystems erfüllt werden, das nationalen technischen und internationalen rechtlichen Vorschriften entspricht.¹⁸

Als Äquivalent zur Fahrerlaubnis menschlicher Fahrer könnte ein – dann legaler – Roboterfahrer nach einer Prüfungsfahrt eine Art *Führerschein* erhalten. Eine unabhängige Instanz müsste das Verhalten des Roboterfahrers (L5) auf einen verantwortungsvollen Umgang mit der beweglichen Plattform (L0) im Straßenverkehr prüfen. Kern des Führerscheins für einen Fahrroboter sind Umgebungsbeobachtung und eine darauf basierende Entscheidungsfindung. Es muss definiert werden, wie groß das von einem Roboterfahrer ausgehende Risiko sein darf. Menschen erwarten, dass dieses Risiko deutlich geringer ist als das von menschlichen Fahrern ausgehende Risiko [Wi15a, Wi15b]. Bei der Definition des zulässigen Restrisikos müssen Risikoaffinität der Gesellschaft und kulturelle Unterschiede beachtet werden.

¹⁷ aus der Präambel des WÜ

¹⁸ <https://unece.org/sites/default/files/2021-01/ECE-TRANS-WP.1-173-Add1e.pdf>

Durch szenario-basierte Absicherung gem. SOTIF Standard, soll die Menge von unsicheren Szenarien und somit das vom Roboterfahrer ausgehende Restrisiko minimiert werden. Für die Erteilung einer Fahrerlaubnis für Roboterfahrer wird somit ein Szenarienkatalog benötigt, der analog zur praktische Prüfungsfahrt für einen menschlichen Fahrer zu verstehen ist. Wie Szenarien bewertet und für einen solchen Szenarienkatalog ausgewählt werden ist im SOTIF Standard nicht geregelt. Da der reale Straßenverkehr sich dynamisch verändert, muss der Szenarienkatalog regelmäßig mit den Trends der Realität und der Risikoaffinität der Gesellschaft abgeglichen und aktualisiert werden. Durch die Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) vom 15.06.2019 dürfen bspw. E-Scooter oder Segways am Straßenverkehr teilnehmen.¹⁹ Diese Neuerung führt zu neuen, unbekanntem und potentiell unsicheren Szenarien. Zusätzlich zur initialen Fahrerlaubnisprüfung muss sichergestellt werden, dass Fahrroboter während ihres gesamten Lebenszyklus den Schwellwert für das Restrisiko nicht überschreiten. Für Hersteller autonomer Fahrzeuge bedeutet das, solche Neuerungen im Straßenverkehr erkennen zu müssen, um das Verhalten der Flotte zu prüfen bzw. mit einem Softwareupdate darauf zu reagieren. Die Überwachung der Fahrzeuge könnte im Rahmen einer periodisch technischen Überprüfung oder durch Selbstwahrnehmung der Fahrzeuge realisiert werden.

5.3 Haftung

Die Haftungsfrage ist ein wesentliches «Puzzlestück» im Gesamtbild der Einführung von FAS und automatisierten Fahrfunktionen. Fällt der menschliche Fahrer weg und wird stattdessen durch einen Roboter ersetzt, stehen sich Fahrzeughalter und -hersteller gegenüber. Um zu verhindern, dass beide Parteien im Schadensfall versuchen, sich die Haftung 'zuzuschieben', muss sowohl die Gefährdungshaftung des Halters als auch die Produkthaftung des Herstellers geprüft und ggf. an die neue Situation angepasst werden. Unklar ist, in welcher Form die TA dem Halter zugeordnet ist: Agiert sie als *Erfüllungsgehilfin* gem. § 278 BGB oder als *Verrichtungsgehilfin* gem. § 831 BGB? Dies entscheidet, ob es ausreicht, dass der Halter die TA *ordnungsgemäß ausgewählt* hat oder ob ihm ein Verschulden der TA zugerechnet wird. Spätestens mit der Realisierung von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe L5 entfällt auch die TA als Instanz. Doch wer haftet für Schäden durch voll autonome Fahrzeuge? Auf der einen Seite darf die Haftung für die Hersteller voll autonomer Fahrzeuge nicht einseitig verteilt sein, da sonst zu befürchten ist, dass diese keine voll autonomen Fahrzeuge produzieren. Auf der anderen Seite dürfen Haftungslast und Versicherung nicht allein auf den Haltern ruhen, da sich dies als Hemmnis bei der Abnahme der Fahrzeuge auswirken könnte und diese in Folge nicht im breiten Markt eingesetzt werden. Bei der Abwägung der Haftungsverteilung sollten Kosten für den Erwerb, den Betrieb und die Versicherung von voll autonomen Fahrzeugen miteinbezogen werden. Auch sollte das von diesen Fahrzeugen ausgehende Restrisiko beachtet werden. All diese Faktoren müssen bei der Verteilung der Haftung sorgfältig abgewogen werden. Die Lösung dieser rechtlichen Herausforderung muss jedoch vor der Integration der Systeme in den Straßenverkehr erfolgen.

¹⁹ https://www.kba.de/DE/Themen/Typgenehmigung/Auskuenfte_TGV/ABE_Elektrokleinstfahrzeuge/ABE_Elektrokleinstfahrzeuge_node.html

6 Fazit

Autonomes Fahren scheint zum Greifen nah: Diverse Hersteller präsentieren funktional ausgereifte automatisierte Fahrfunktionen und die Gesetzgebung passt gesetzliche Regelungen an. Dennoch gibt es auf deutschen Straßen keine serienreifen autonomen Fahrzeuge. In diesem Artikel decken wir offene Fragen auf, die für eine Realisierung des autonomen Fahrens beantwortet werden müssen.

Es gibt einen rechtlichen Rahmen, der autonome Fahrzeuge unter technischer Aufsicht auf deutschen Straßen prinzipiell zulässt, die praktische, serienreife Umsetzung scheitert allerdings an Details: Auf welcher Grundlage kann eine EG-Typgenehmigung erfolgen, um Serienfahrzeuge mit höheren Fahrfunktionen (L3+) zuzulassen? Wie muss die Haftung für autonome Fahrzeuge verteilt sein? Die geplante Erweiterung durch Art. 34*bis* im WÜ muss dafür sorgen, dass die Erfordernis eines Fahrers entfällt. Zudem ist, um Fahrfunktionen der Ebene L4 zu erproben, eine gesetzliche Experimentierklausel für L4-Fahrzeuge sinnvoll.

Aus technischer Sicht liegt die Herausforderung in der Absicherung der Fahrfunktion. Der SOTIF Standard schlägt szenario-basiertes Testen vor, lässt aber wesentliche Punkte ungeklärt: Aus welchen Szenarien setzt sich ein geeigneter Szenarienkatalog zusammen? Wie wird das Restrisiko ermittelt und bewertet? Wie lassen sich Szenarien gem. SOTIF Standard klassifizieren? Für eine geeignete Absicherung müssen Methoden zur Klassifizierung von Szenarien entwickelt und umgesetzt werden, um einen repräsentativen Szenarienkatalog zu generieren. Für eine gesellschaftliche Akzeptanz von autonomen Fahrzeugen müssen interdisziplinäre Parameter, wie Risiko und ethische Faktoren, quantifiziert und Schwellwerte definiert werden. Diese Schwellwerte müssen regulatorisch gefordert und die Einhaltung bei der technischen Absicherung belegt werden.

Es ist unklar, ob das Recht auf die Technik oder die Technik auf das Recht wartet, um den *Traum vom autonomen Fahren* zu realisieren. Fest steht jedoch, dass Expert*innen aus den Bereichen Regulierung, Technik und Sozialwissenschaften eng zusammenarbeiten müssen, um die in diesem Beitrag erarbeiteten offenen Fragen zu beantworten.

Literaturverzeichnis

- [Bi21a] Birkemeyer, Lukas; Pett, Tobias; Vogelsang, Andreas; Seidl, Christoph; Schaefer, Ina: Feature-Interaction Sampling for Scenario-based Testing of Advanced Driver Assistance Systems. ACM New York, NY, USA, 2021.
- [Bi21b] Bitkom: , Stellungnahme Entwurf der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV) des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BM-VI). https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-09/bitkom_stellungnahme_afgbv.pdf, September 2021.
- [Bi21c] Bitkom: , Stellungnahme Gesetz zum autonomen Fahren & Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung. <https://www.bitkom.org/sites/default/>

- files/2021-02/bitkom-stellungnahme_ge-vo-autonomes-fahren_2021-02-01.pdf, Februar 2021.
- [BM21] BMVI: , Entwurf der AFGBV. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/de/search/?trisation=search.detail&year=2021&num=344>, 2021. [abgerufen am: 30.11.2021].
- [DB20] Deutscher Bundestag, Wahlperiode 19: , Kleine Anfrage zur Gesetzesinitiative zum autonomen Fahren. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/256/1925626.pdf>, Dezember 2020. S. 6.
- [DB21] Deutscher Bundestag, Wahlperiode 19: , Gesetzesentwurf zur Änderung des StVG und des PflVG. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/274/1927439.pdf>, März 2021. S. 16.
- [Do09] Donges, Edmund: Fahrerhaltensmodelle. In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, S. 15–23. Springer, 2009.
- [HK20] Hartwig, Matthias; Krampitz, Mathilde: , Eine Experimentierklausel für Kraftfahrzeuge mit autonomer, vernetzter und teleoperierter Fahrfunktion im StVG. https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/03/20200902_Experimentierklausel_StVG_autonomes-Fahren.pdf, August 2020.
- [IK21] IKEM: , Projektübergreifende Stellungnahme, Gesetzesvorhaben des BMVI zum autonomen Fahren. https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/04/Stellungnahme_Gesetzesentwurf-zum-autonomen-Fahren.pdf, März 2021. S. 9.
- [IS18] ISO: , Road vehicles — Functional safety, 2018.
- [IS19] ISO: , Road vehicles — Safety of the intended functionality, 2019.
- [Lu21] Lutz, Lennart: Neue Vorschriften für das automatisierte und autonome Fahren – ein Überblick. C.H.Beck, 2021. S. 182-185 (183).
- [SA21] SAE, International/ISO: , Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2021.
- [UI15] Ulbrich, Simon; Menzel, Till; Reschka, Andreas; Schuldt, Fabian; Maurer, Markus: Defining and substantiating the terms scene, situation, and scenario for automated driving. In: 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, S. 982–988, 2015.
- [Un21] Union, Europäische: UN-Regelung Nr. 157 — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des automatischen Spurhalteassistenzsystems (ALKS) [2021/389]. March 2021. Anhang 4, Nr. 7.
- [Wi15a] Winkle, Thomas: Entwicklungs- und Freigabeprozess automatisierter Fahrzeuge: Berücksichtigung technischer, rechtlicher und ökonomischer Risiken. In: Autonomes Fahren, S. 611–635. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [Wi15b] Winkle, Thomas: Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung. In: Autonomes Fahren, S. 351–376. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015.