

September 2021

Automatisiertes Fahren
– aktueller Stand und
Zukunftschancen

von Dipl.-Phys. Udo Steininger,
München



PHi

PHi | Haftpflicht international – Recht & Versicherung

Automatisiertes Fahren – aktueller Stand und Zukunftschancen*

von Dipl.-Phys. Udo Steininger, München

Der Autor ist Leitender Experte für Fahrzeugsicherheit bei TÜV SÜD und seit 2006 spezialisiert auf automatisiertes Fahren.
udo.steininger@tuvsud.com

1 Bestandsaufnahme

- 1.1 Die öffentliche Wahrnehmung
- 1.2 Die Fakten
- 1.4 Eine Ursachensuche
- 1.5 Fazit zur Bestandsaufnahme

2 Die Technik des Automatisierten Fahrens

- 2.1 Ausprägungen des automatisierten Fahrens
- 2.2 Besonderheiten beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3
- 2.3 Technische Herausforderungen beim Übergang zu Automatisierungsstufe 3
- 2.4 Ausblick auf die technischen Herausforderungen höherer Automatisierungsstufen
- 2.5 Fazit zum Stand der Technik

3 Die Absicherung des Automatisierten Fahrens

- 3.1 Die Freigabefälle
- 3.2 Positive Risikobilanz und Automationsrisiken
- 3.3 Nachweis der Betriebsbewährung
- 3.4 Sicherheit im Fahrzeug-Lebenszyklus
- 3.5 Fazit zur Absicherung des automatisierten Fahrens

1 Bestandsaufnahme

1.1 Die öffentliche Wahrnehmung

Bei der Beschäftigung mit dem automatisierten Fahren drängt sich eine Parallele auf: Seit Beginn der Forschung zu Kernfusionsreaktoren in den 50er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wird prognostiziert, dass diese Technologie in etwa 30 Jahren zur Energiegewinnung genutzt werden könne. Spötter bezeichnen diese 30 Jahre als „Fusionskonstante“.¹ Beim automatisierten Fahren fällt der Erwartungshorizont bis zur Markteinführung mit zehn Jahren zwar geringer aus, aber er scheint ebenso konstant. Stellt sich also die Frage: Wie ist es tatsächlich bestellt um das automatisierte Fahren, wohin geht die Reise und wo stehen wir gerade?

Forscher und Visionäre beschäftigen sich schon seit der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts mit selbstfahrenden Autos.² In den Blick einer breiteren Öffentlichkeit geriet das automatisierte Fahren im Jahr 2005. Bei der zweiten DARPA Grand Challenge absolvierten fünf Roboterautos erfolgreich einen über 200 km langen Parcours durch die Mojave-Wüste im Südwesten der USA, vier von ihnen schafften dies sogar in der vorgeschriebenen Zeit von unter zehn Stunden (beim ersten Wettbewerb im Jahr zuvor kam kein einziger Teilnehmer ins Ziel).³ Die Fahrzeuge sahen zunächst aus wie Mondautos, näherten sich optisch aber dank umfangreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeit schnell Serienfahrzeugen an. Die Erwartungen waren hoch und neben den klassischen Autobauern interessierten sich zunehmend auch Technologieunternehmen sowie Mobilitäts- und Transportdienstleister für das automatisierte Fahren.

Im Jahr 2012 erschienen „autonome Fahrzeuge“ zum ersten Mal in „Gartners Hype Cycle“, einem mehrstufigen Phasenmodell zur Bewertung des Potenzials neuer Technologien. Damals sahen die Analysten das automatisierte Fahren noch in Phase 1 („Innovationstrigger“). In fünf bis zehn Jahren könnte es mit der fünften und letzten Phase („Plateau der Produktivität“) die Marktreife erreichen. 2015 wurde das autonome Fahren allerdings erst in Phase 2 gesehen, dem „Gipfel der überzogenen Erwartungen“. In den folgenden Jahren prognostizierte Gartner, dass die inzwischen als „autonomes Fahren Level 4“ bezeichnete Technologie die Marktreife erst in weiteren mehr als zehn Jahren erreichen würde, damit war Phase 3 des Hype Cycle erreicht: der Absturz ins „Tal der Enttäuschungen“. 2020 tauchte das automatisierte Fahren dann gar nicht mehr unter den 30 Technologien auf, die aus Sicht der Analysten das größte Transformationspotenzial für Gesellschaft und Wirtschaft bieten und einen hohen Nutzen versprechen.⁴

1.2 Die Fakten

Tatsache ist: Bis heute befindet sich kein Kundenfahrzeug auf dem Markt, das serienmäßig über automatisierte Fahrsysteme verfügt. Kein Anbieter von Mobilitäts- oder Transportdienstleistungen setzt fahrerlose Fahrzeuge tatsächlich kommerziell ein, nirgendwo verfügt ein solches Fahrzeug über eine reguläre Betriebserlaubnis. Egal wie euphorisch die Berichte über entsprechende Projekte ausfallen, bei genauerer Betrachtung erweist sich der Einsatz automatisierter Fahrzeuge als mehr oder weniger ausgedehnter Erprobungsbetrieb – und zwar unabhängig davon, ob die Fahrzeuge im hippen Silicon Valley unterwegs sind oder im beschaulichen Bad Birnbach.

Es zeigt sich, dass der weit verbreitete Eindruck eines uneinholbaren Kompetenzvorsprungs der Start-ups aus dem Valley gegenüber klassischen Automobilherstellern und -zulieferern eher an den unterschiedlichen Kommunikationskulturen der Akteure liegt als an tatsächlichen Unterschieden in der jeweiligen Technologieentwicklung. Zweifellos ist die Geschichte von den trägen Platzhirschen, die aus ihrem angestammten Revier vertrieben wurden, für die mediale Verbreitung bestens geeignet – ob sie zutrifft, sei dahingestellt.

Längst häufen sich Berichte über Unfälle mit vermeintlich selbstfahrenden Fahrzeugen, über technische Rückschläge und ethische Bedenken. Die erhobenen Zeigefinger derer, die am technischen Fortschritt im Allgemeinen und am automatisierten Fahren im Besonderen zweifeln, sind kaum zu übersehen.

Was ist schief gelaufen beim automatisierten Fahren und hat die Unternehmensberatung Gartner Recht, wenn sie die Technologie von ihrer Hitliste streicht?

1.3 Eine Ursachensuche

Wie so oft sind die Ursachen für die geschilderte Situation vielfältig und die Zusammenhänge von Ursachen und Wirkungen nicht immer offensichtlich. Die folgenden Ausführungen sind daher lediglich eine Annäherung an das Thema und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

1.3.1 Falsche Erwartungen

Was Gartner mit dem Hype Cycle publikumswirksam darstellt, geht auf eine Erkenntnis des US-amerikanischen Zukunftsforschers Roy Amara zurück. Der hatte herausgefunden, dass wir dazu neigen, die kurzfristige Wirkung einer Technologie zu überschätzen und die langfristige Wirkung zu unterschätzen.⁵ Was zunächst nur Fachleute interessiert, wird bald vom Publikum entdeckt und mit weit überzogenen Erwartungen versehen. Werden die nicht schnell genug erfüllt, folgt eine ebenso überzogene Enttäuschungsphase. Das Publikumsinteresse erlahmt,

aber für die Experten beginnt dann erst die eigentliche Detailarbeit. Im Hype cycle ist dies der sog. Pfad der Erleuchtung, der schließlich auf das „Plateau der Produktivität“ führt.

Ein Musterbeispiel für diese Entwicklung ist die Karriere des Internets: Zunächst nur von Fachleuten verstanden, wurde es im Folgenden vom breiten Publikum euphorisch überschätzt, bis es mit dem Platzen der Dotcom-Blase zu Beginn des neuen Jahrtausends von manchen sogar totgesagt wurde. Heute allerdings sind Vernetzung und Digitalisierung tiefer in unser Leben eingedrungen, als wir uns je hätten vorstellen können. Es könnte also sein, dass die Zukunft des automatisierten Fahrens noch gar nicht begonnen hat und trotz aller Enttäuschungen erhebliches Potenzial bereithält.

1.3.2 Komplexe Technik

Das „automatisierte Fahren“ gibt es nicht. Es ist daher kein Zeichen von Unvermögen, dass verschiedenste Akteure jahrelang um branchen- und länderübergreifende Definitionen der sog. Automatisierungsstufen gerungen haben. Die verschiedenen Ausprägungen des automatisierten Fahrens sind differenziert zu betrachten. Diese Betrachtung wird noch komplexer, wenn man die mit der Automatisierung eng verbundenen Aspekte der Elektrifizierung und insbesondere der Konnektivität zukünftiger Fahrzeuge und Services einbezieht.

In den nachfolgenden Kapiteln werden technische Voraussetzungen für das automatisierte Fahren und die daraus resultierenden Sicherheitsanforderungen genauer betrachtet und dabei auch erörtert, wie die Technologie aus der „Freigabefalle“ herauskommt und wie Sicherheit und Verfügbarkeit im gesamten Produktlebenszyklus gewährleistet werden können.

1.3.3 Schwierige Rechtslage

Im „klassischen“ Zulassungsrecht wurde automatisiertes Fahren ausdrücklich ausgeschlossen. Zu Beginn der Entwicklung der Technologie haben Vertreter der Industrie daher

4 Recht und Zulassung

- 4.1 Grundlagen der Fahrzeugzulassung
- 4.2 Regelungen zum automatisierten Fahren
- 4.3 Regelungen und Markteinführung
- 4.4 Fazit zur Zulassung des automatisierten Fahrens

5 Geschäftsmodelle für das automatisierte Fahren

- 5.1 Warum Prognosen so schwierig sind
- 5.2 Strategische Entwicklungsziele für automatisiertes Fahren
- 5.3 Automatisiertes Fahren im Individualverkehr
- 5.4 Mobilitäts- und Transportdienstleistungen und automatisiertes Fahren
- 5.5 Fazit zu Geschäftsmodellen für das automatisierte Fahren

6 Die nächste Dimension des automatisierten Fahrens

- 6.1 Digitalisierung und Konnektivität
- 6.2 Künstliche Intelligenz
- 6.3 Fazit zur Zukunft des automatisierten Fahrens

7 Resümee

* Der Beitrag geht auf eine monatliche Kolumne des Autors auf dem Portal *SafetyWissen.com* zurück, das von der *carhs.training GmbH* betrieben wird. Die Texte entstanden im Zeitraum von Januar bis Juli 2021 und wurden für die zusammenhängende Veröffentlichung geringfügig modifiziert und an den aktuellen Stand der nationalen Gesetzgebung zum autonomen Fahren angepasst.

- 1 <https://futurezone.at/meinung/kernfusion-das-ewige-wunderkind/400987157>
- 2 https://www.1939nyworldsfair.com/worlds_fair/wf_tour/zone-6/general_motors.htm
- 3 https://de.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge_2005
- 4 <https://www.cio.de/g/gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2005-bis-2020,105825,8#galleryHeadline>
- 5 <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780191826719.001.0001/q-oro-ed4-00018679>

immer wieder gefordert, der Gesetz- und Ordnungsgeber müsse seine Hausaufgaben machen und einen ordnungspolitischen Rahmen für die Zulassung des automatisierten Fahrens schaffen. Inzwischen ist auf nationaler und internationaler Ebene viel passiert. Wo wir heute stehen und ob das ausreicht, wird später beleuchtet. (s. Punkt 4)

Neben technischen und rechtlichen Fragen sollen in diesem Kontext auch ethische Fragen diskutiert werden. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ist es darüber hinaus geboten, sich vor Einführung einer Technologie auch mit potenziell negativen Auswirkungen für Individuen und Gesellschaft zu befassen, um diesen ggf. rechtzeitig entgegenwirken zu können.

1.3.4 Markt und Kunden

Außerdem gibt es das unbekannte Wesen „Kunde“. Wofür ist der Endverbraucher bereit, Geld auszugeben, und wie viel ist ihm eine Technologie wert, die ihm eine emotional hoch aufgeladene Beschäftigung ganz und gar abnehmen soll, ihn womöglich ausgerechnet im Auto seines freien Willens beraubt?

Ferner tauchen neben den Fahrzeugherstellern neue Player auf, die darauf abzielen, Mobilitäts- und Transportdienstleistungen mit automatisierten Fahrzeugen anzubieten. Die verschiedenen, möglicherweise konkurrierenden Geschäftsmodelle sind in aller Munde. Neben klassischem Kaufen und Leasen ist die Rede von Sharing, Hailing, Pooling. Wie lassen sich diese Geschäftsmodelle voneinander abgrenzen oder wachsen sie am Ende irgendwie zusammen? Welche Fahrzeuge werden für diese Geschäftsmodelle benötigt? Welche Akteure werden das Rennen machen und wo werden wir automatisierte Fahrzeuge zuerst im regulären Betrieb sehen? All diese Fragen verdienen es, ausführlicher diskutiert zu werden.

1.4 Fazit zur Bestandsaufnahme

Bisher ist beim automatisierten Fahren nichts schiefgegangen. Es ist technisch anspruchsvoller, als es viele nach den

spektakulären ersten Erfolgen erwartet hatten. Die Zulassung stellt eine Herausforderung dar und die Markteinführung findet später statt, als ursprünglich prognostiziert. Schließlich steckt das Entwicklungspotenzial der Technologie möglicherweise gar nicht im Individualverkehr, sondern eher in Mobilitäts- und Transportdienstleistungen.

Dessen ungeachtet wird automatisiertes Fahren die Art, wie wir Menschen und Güter bewegen, vielleicht ebenso gründlich verändern, wie es das Internet mit unserer Art zu kommunizieren getan hat. Wem der Vergleich von Internet und automatisiertem Fahren zu konstruiert erscheint, der möge sich vergegenwärtigen, dass sowohl Kommunikation als auch Transport und Mobilität vergleichbare elementare Grundbedürfnisse jedes Einzelnen und der Gesellschaft sind. Technologien, die die Erfüllung dieser Grundbedürfnisse maßgeblich beeinflussen, haben daher auch ein vergleichbares Transformationspotenzial.

Hält man sich dann noch vor Augen, dass das Internet nicht nur unsere Kommunikation revolutioniert, sondern auch unsere komplette Arbeits- und Lebenswelt verändert hat und immer noch verändert, dürfen wir durchaus gespannt sein, wie sich das automatisierte Fahren entwickelt und wie sich das auf unser persönliches und gesellschaftliches Leben auswirken wird.

2 Die Technik des Automatisierten Fahrens

2.1 Ausprägungen des automatisierten Fahrens

Lange wurde um hersteller- und länderübergreifende Definitionen der verschiedenen Ausprägungen von assistiertem und automatisiertem Fahren gerungen. Einen Überblick über die Automatisierungsstufen vermittelt Grafik 1 aus dem VDA-Magazin *Automatisierung*.⁶

Zum besseren Verständnis sollen den Automatisierungsstufen beispielhaft entsprechende Systeme zum assistierten oder automatisierten Fahren bzw. auch spezielle Fahrzeuge zugeordnet werden.

6 <https://www.vda.de/de/services/publikationen/automatisierung.html>

7 Dass Tesla sein System der Stufe 2 als „Autopilot“ bezeichnet, ist hinsichtlich der Anforderungen des Produktsicherheitsgesetzes an die Darbietung von Produkten zwar bedenklich, soll hier aber nicht diskutiert werden.

Schon in **Stufe 0** kommen Assistenzsysteme zum Einsatz, z. B. zur Spurverlassenswarnung oder zur Totwinkelüberwachung. Diese Systeme greifen aber definitionsgemäß weder in die Längs- noch in die Querverführung des Fahrzeugs ein. Eine gewisse Sonderrolle nehmen hier ABS und ESC ein, die bekanntermaßen in die Längs- und Querverführung eingreifen. Das dürfen sie, weil sie eindeutig der Gefahrenabwehr dienen. Sie sind also – auch wenn sie gelegentlich in einem Atemzug mit diesen genannt werden – keine Assistenzsysteme, sondern aktive Sicherheitssysteme.

Typisch für **Stufe 1** sind der Parklenkassistent, der Abstandsregeltempomat, besser bekannt als Adaptive Cruise Control (ACC), und der Spurhalteassistent. Auch wenn es sich insbesondere bei Spurhalteassistenten der neuesten Generation so anfühlt, als würde das Fahrzeug schon automatisch Lenken, handelt es sich nach wie vor nur um ein Assistenzsystem. Der Fahrer wird deshalb gezwungen, in gewissen Zeitabständen wieder selbst zu lenken und dem System so zu signalisieren, dass er seiner Überwachungsaufgabe tatsächlich noch nachkommt. Tut er das nicht, beschwert sich das System zunächst bei ihm und quittiert wenig später den Dienst. Einer dauerhaften Abwendung des Fahrers von der eigentlichen Fahraufgabe wird so entgegengewirkt. Diese Systeme sind darüber hinaus so ausgelegt, dass der Fahrer sie jederzeit übersteuern kann. Das gilt auch für die Systeme aller folgenden Automatisierungsstufen.

In **Stufe 2** gehören Parkmanöver- und Stauassistenten. In der Abbildung wird auf *spezifische Anwendungsfälle* verwiesen, in denen diese Systeme die Längs- und Querverführung übernehmen. Welche das sind, erklärt sich aus den Bezeichnungen der Assistenzsysteme weitgehend von selbst. Auch hier wird die permanente Überwachung durch den Fahrer häufig durch die Systeme erzwungen, z. B. indem das Bedienelement, mit dem das Parkmanöver auf dem Fahrzeugschlüssel oder dem Smartphone gestartet wird, während der gesamten Dauer des Parkvorgangs aktiv gedrückt werden

Grafik 1 – Automatisierungsgrade des automatisierten Fahrens

	Stufe 0 Driver only	Stufe 1 Assistent	Stufe 2 Teilautomatisiert	Stufe 3 Hochautomatisiert	Stufe 4 Vollautomatisiert	Stufe 5 Fahrerlos
Fahrer	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querverführung aus	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querverführung aus	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen	Kein Fahrer erforderlich im spez. Anwendungsfall	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich
Automation	Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv	System übernimmt die jeweils andere Funktion	System übernimmt Längs- und Querverführung in einem spezifischen Anwendungsfall*	System übernimmt Längs- und Querverführung in einem spezifischen Anwendungsfall*. Erkennt Systemgrenzen und fordert Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf	System kann im spezifischen Anwendungsfall* alle Situationen automatisch bewältigen	System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen

* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

Quelle: VDA, *Automatisierung*, S. 15

muss. Systeme bis Stufe 2 befinden sich seit einigen Jahren auf dem Markt und haben sich bewährt.

In **Stufe 3** erlauben die Systeme auf Autobahnen auch automatisierte Staufolgefahrten und automatisiertes Fahren im normalen Verkehr. Derartige Systeme werden umgangssprachlich als Stau- oder Autobahnpielen bezeichnet.⁷ Die Systeme müssen zwar selbst erkennen, wenn sie an ihre Grenzen stoßen – z. B. bei Annäherung an eine Baustelle mit verengten Fahrbahnen – und den Fahrer rechtzeitig zur Übernahme auffordern. Der Fahrer muss aber im Umkehrschluss auch in der Lage sein bzw. bleiben, diese Übernahme durchzuführen. Last but not least werden die *spezifischen Anwendungsfälle* insbesondere der Systeme der ersten Generation vermutlich begrenzt sein auf bestimmte Umfeldbedingungen, z. B. „gute“ Straßen- und Sichtverhältnisse.

Auf **Stufe 4** kann sich der Fahrer, so es ihn überhaupt noch gibt, ganz zurücklegen – zumindest wieder im *spezifischen Anwendungsfall*. Typische Anwendungen werden das vollautomatisierte Fahren in der Stadt (City Pilot) oder auch das fahrerlose Parken (Automated Valet Parking) sein. Letzteres bedeutet, dass der Fahrer sein Fahrzeug per App selbstständig auf die Suche nach einem Parkplatz schickt und es bei Bedarf auf die gleiche Weise wieder vorfahren lässt. In eigens dafür vorgesehenen bzw. ausgerüsteten Arealen wurde das bereits erfolgreich getestet.

Darüber hinaus kommen hier fahrerlose Fahrzeuge ins Spiel, mit denen Mobilitäts- und Transportdienstleistungen in „festgelegten Betriebsbereichen“ erbracht werden. Dies sind die vielerorts ebenfalls schon im Testbetrieb befindlichen People and Goods Mover. Die spezifischen Anwendungsfälle resultieren hier also im Wesentlichen aus der Begrenzung der Betriebsbereiche, in denen das Fahrzeug dann aber alle Situationen selbst bewältigt.

In **Stufe 5** fallen dann auch die letzten Begrenzungen, und die Fahrzeuge beherrschen alle Fahrsituationen unter allen Bedingungen. Die Frage, ob es in absehbarer Zeit einen technisch machbaren und betriebswirtschaftlich sinnvollen Anwendungsfall für Stufe 5 gibt, wird später (s. Punkt 5) erörtert.

2.2 Besonderheiten beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3

Aus den genannten Eigenschaften der Systeme einschließlich ihrer Begrenzungen ergeben sich drei interessante Konsequenzen beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3:

- (1) Die technischen Herausforderungen steigen nicht linear von Stufe zu Stufe. Weil der Fahrer zum ersten Mal die Kontrolle tatsächlich abgibt, tritt beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 ein qualitativer Sprung auf. Das wirkt sich u. a. auch auf den Aufwand für Absicherung und Zulassung der Systeme aus.

(2) Der Fahrer muss in der Lage sein, die Fahraufgabe in einem angemessenen Zeitraum zu übernehmen. Weil dadurch nur in geringem Umfang Nebentätigkeiten möglich bzw. zulässig sein werden, ist der praktische Nutzen für den Fahrer überschaubar. Stufe 3 könnte daher eher etwas für zahlungskräftige Vielfahrer sein, denen die Systeme ihren Arbeitsalltag erleichtern, oder für Technikbegeisterte, die Spaß daran haben, ihrem Fahrzeug beim Fahren zuzuschauen.

(3) Der Fahrer muss erkennen, wann der *spezifische Anwendungsfall* nicht mehr gegeben ist, z. B. bei Veränderung der Straßen- oder Sichtverhältnisse. Dazu muss er die Funktionsweise und die technischen Begrenzungen der Systeme bis zu einem gewissen Grad kennen und verstehen. Das führt im Kontext der Haftung zu Fragen, die zu beantworten durchaus als herausfordernd bezeichnet werden darf.

Beim bevorstehenden Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 wird es also spannend. Während wir uns den Fragen von Zulassung und Haftung sowie Markt und Kunden später zuwenden, vertiefen wir zunächst die technischen Herausforderungen und vor allem die damit verbundenen Anforderungen an die *Sicherheit* der Systeme.⁸

2.3 Technische Herausforderungen beim Übergang zu Automatisierungs- stufe 3

Um zu verstehen, warum die Anforderungen beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 einen Sprung machen, betrachten wir zunächst die Ausgangslage. Die Sicherheit konventioneller Fahrzeuge (Stufe 0 bis 2) beruht wesentlich darauf, dass der Fahrer das Fahrzeug auch ohne jegliche Unterstützung durch elektrische oder elektronische Systeme lenken und bremsen kann. Für Systeme wie Lenk- oder Bremskraftverstärker, die ihn dabei unterstützen sollen, reicht es daher aus, dass sie *funktional sicher* sind. Das bedeutet, neben Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler in der Entwicklung, vor allem, dass zufällige Fehler

im Betrieb erkannt werden und dass das System anschließend schnell in einen vorher definierten sicheren Zustand übergeht. Diese Systemauslegung wird *Fail Safe* genannt. Der sichere Zustand ist i. d. Regel die Abschaltung des fehlerbehafteten Systems – es geht ja, s. o., auch ohne.

Für Systeme der Stufe 3 reicht das nicht mehr aus. Sie müssen beim Auftreten eines Fehlers in der Lage sein, ein sog. *risikominimales Manöver* durchzuführen, falls der Fahrer die Führung des Fahrzeugs nicht schnell genug oder gar nicht übernimmt. In einfachen Anwendungsfällen reicht es dazu aus, dass ein AutobahnpiLOT z. B. in der Spur bleibt und die Geschwindigkeit verringert. In komplexeren Anwendungsfällen muss er u. U. auch in der Lage sein, das Fahrzeug ohne Zutun des Fahrers über mehrere Fahrspuren hinweg auf den Standstreifen zu lenken und dort zum Stehen zu bringen.

Darüber hinaus können bei hinreichend komplexen Systemen Gefährdungen auch entstehen, ohne dass zuvor ein Fehler in herkömmlichem Sinne aufgetreten ist, z. B. dadurch, dass Systeme an die Grenzen ihrer sensorischen Wahrnehmung oder ihrer algorithmischen Fähigkeiten zur Situationsanalyse und Verhaltensvorhersage stoßen und dann nicht bestimmungsgemäß funktionieren.⁹ Ergänzend zur *funktionalen Sicherheit* wurde deshalb das Konzept der *Sicherheit der Sollfunktion* eingeführt. Insbesondere bei vernetzten Fahrzeugen spielt darüber hinaus die Cybersicherheit eine zunehmende Rolle. Führende Unternehmen der Automobilindustrie kommen daher in ihrem Whitepaper zu Entwicklung und Absicherung von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen zu dem Ergebnis, dass erst das Zusammenwirken der drei Sicherheitsdomänen *Funktionale Sicherheit, Sicherheit der Sollfunktion* und *Cybersicherheit* die *Verlässlichkeit* entsprechender Systeme gewährleistet, und zeigen auf, wie das umgesetzt werden kann.¹⁰

8 Die Funktionsweise wäre selbstverständlich auch eine vertiefende Betrachtung wert, allerdings sind Autoren aus dem Kreis der Entwickler entsprechender Systeme dazu geeigneter.

9 Genau genommen tritt das Problem bereits in Stufe 2 auf, wird da aber weitgehend dadurch aufgefangen, dass die Verantwortung für die Durchführung der Fahraufgabe komplett beim Fahrer liegt.

10 https://connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2019/09/Safety_First_for_Automated_Driving.pdf

11 <https://www.car-it.com/exklusiv/frischzellenkur-210.html>

12 <https://www.car-it.com/exklusiv/autohersteller-wollen-eigene-betriebssysteme-forcieren-318.html>

13 Winner, Wolf, Weitzel: *Freigabefälle des Autonomen Fahrens* in: 15. Kongress SIMVEC Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau, 16.–17.11.2010, Baden-Baden, VDI-Berichte 2107, VDI-Verlag Düsseldorf 2010.

14 Winner, Wachenfeld: *Die Freigabe des autonomen Fahrens* in: Maurer, Gerd, Lenz, Winner (Hrsg.): *Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer 2015, <https://www.springer.com/de/book/9783662458532>

2.4 Ausblick auf die technischen Herausforderungen höherer Automatisierungsstufen

Ab Stufe 4 ist ein „menschlicher“ Fahrer zur Durchführung der Fahraufgabe definitionsgemäß nicht mehr erforderlich, wenn sich überhaupt noch ein Fahrer im Fahrzeug befindet. Eine *Fail-Safe*-Auslegung i. V. mit einem *risikominimalen Manöver* reicht dann nicht mehr aus. Die Systeme müssen *Fail Operational* ausgelegt werden. Dahinter verbirgt sich die Forderung, dass das System auch nach Auftreten eines Fehlers arbeitsfähig bleibt, möglicherweise mit gewissen Einschränkungen seiner bestimmungsgemäßen Funktion. Die Auswirkungen auf die Systemarchitektur sind weitreichend. Wir sprechen hier von mehrfach redundanter, u. U. sogar diversitärer Auslegung des kompletten Systems von der Sensorik über das Steuergerät bis zur Aktuatorik einschließlich der Hilfsysteme, z. B. dem Bordnetz. Solche Auslegungsgrundsätze kommen u. a. in Sicherheitssystemen von Verkehrsflugzeugen zum Einsatz, weil in der Luft anhalten oder „rechts ran“ fliegen nahe- liegenderweise ausgeschlossen sind.

Der Einsatz solcher Systeme in Kraftfahrzeugen stößt vorhersehbar an Grenzen. Die Systeme verschlingen Kosten, Bauraum und Energie. Die Vielzahl dezentraler Systeme, die irgendwie miteinander auskommen müssen, führt zu einer Komplexität, die nicht mehr beherrschbar ist. Aber auch dafür zeichnen sich Lösungen ab. Die bisherige Praxis der verteilten Funktionsentwicklung, bei der jede Funktion ihr eigenes Steuergerät bekommt, wird Zentralrechnerarchitekturen weichen, in denen Redundanz und Diversität durch geeignete Hardware- und Softwarelösungen erreicht werden. Sensorik und Aktuatorik werden dazu von der Funktionslogik getrennt und bekommen eine lokale Intelligenz, um Signale vor Ort vorverarbeiten zu können. Die bisherigen dezentralen Steuergeräte mutieren zu Softwareapplikationen, die auf leistungsstarken und flexiblen Plattformen implementiert sind.¹¹ Grundlegende Veränderungen in der Fahrzeugarchitektur werden darüber

hinaus durch die Weiterentwicklung von E-Fahrzeugen maßgeblich befördert. Bei den bisherigen batterieelektrischen Fahrzeugen handelt es sich überwiegend noch um für E-Antrieb umgerüstete konventionelle Fahrzeuge. Die konsequente Nutzung aller Vorteile des E-Antriebs – z. B. Verlagerung des Antriebs in oder an das Rad und Unterbringung aller anderen Komponenten des Antriebsstrangs in der Bodengruppe – wird voraussichtlich zu ganz neuen Fahrzeugkonzepten führen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Ankündigung von Automobilherstellern, eigene Betriebssysteme zu entwickeln.¹² Wir dürfen also gespannt sein, ob proprietäre Lösungen oder bewährte Industriestandards wie AUTOSAR das Rennen machen. Möglicherweise heißt die Lösung gar nicht „entweder oder“, sondern „sowohl als auch“, weil auf den Zentralrechnern und in den intelligenten Sensoren und Aktuatoren zukünftiger Fahrzeuge nicht nur ausreichend Platz, sondern sogar dringender Bedarf das Beste aus beiden Welten ist.

2.5 Fazit zum Stand der Technik

Systeme zum assistierten und automatisierten Fahren der Stufen 0 bis 2 sind unterschiedlich lange auf dem Markt und haben sich dort bewährt. Das automatisierte Fahren befindet sich aktuell am Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3. Die technischen Anforderungen – speziell zur Gewährleistung der Sicherheit – sind in Stufe 3 deutlich höher als zuvor. Die Lösungen dafür sind vorhanden und erfolgreich erprobt. Verschiedene Hersteller haben bereits Termine für die Markteinführung entsprechender Systeme genannt. Die technischen Anforderungen für die nächsthöheren Automatisierungsstufen sind definiert und es existieren Lösungsansätze dafür. Erste Systeme der Stufe 4 sind weltweit im Testbetrieb, und auch wenn die Leistungsfähigkeit dieser Testfahrzeuge noch weit hinter den ehrgeizigen Zielen der Hersteller und Betreiber zurückliegt, ist doch abzusehen, dass das automatisierte Fahren vermutlich nicht an

unlösbaren technischen Problemen scheitern wird.

3 Die Absicherung des Automatisierten Fahrens

3.1 Die Freigabefälle

Für die Freigabe von Systemen der Automatisierungsstufe 3 – das sind z. B. Stau- und Autobahnpielen – reicht es nicht aus, den Nachweis der Übersteuerbarkeit zu erbringen. Da der Fahrer das Fahrzeug nicht mehr dauerhaft überwachen muss, ist der Nachweis erforderlich, dass das technische System alle auftretenden Situationen so bewältigt, dass die Sicherheit im Straßenverkehr nicht beeinträchtigt wird. Dazu müssen die technischen Systeme mindestens so sicher fahren wie durchschnittliche Fahrer. *Winner und Weitzel*¹³ machen in diesem Zusammenhang auf ein Problem aufmerksam, das sie als „Freigabefälle“ bezeichnen. Zwischen zwei Unfällen mit Todesfolge auf deutschen Autobahnen liegen z. B. rund 660 Millionen Fahrkilometer. Daraus leiten *Winner und Wachenfeld*¹⁴ her, dass für die Freigabe eines Autobahnpielen rund 6,6 Mrd. Testkilometer absolviert werden müssten. Das entspricht etwa 17.000-Mal der Entfernung zwischen Erde und Mond, wäre also nicht ohne Weiteres zu bewältigen. Paradoxerweise wird das hohe Maß an Sicherheit im heutigen Straßenverkehr so zur Hürde für den Nachweis mindestens gleicher Sicherheit automatisierter Systeme.

Aus dieser Freigabefälle führen zwei Überlegungen heraus: Zum einen müssen wir uns fragen, ob die gefahrene Strecke tatsächlich die geeignete Bezugsgröße für die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen ist, und zum andern müssen wir die gewaltige Dimension des Testraums in den Griff bekommen.

- Für die Absicherung konventioneller Fahrzeugsysteme hat es sich bewährt, eine überschaubare Anzahl von Testfahrzeugen dem Strecken- und Beanspruchungsprofil auszusetzen, dem sie im Laufe ihres Fahrzeuglebens vorhersehbar standhalten müssen. Dieser streckenbasierte

Ansatz funktioniert bei Systemen zum automatisierten Fahren grundsätzlich nicht, weil deren bestimmungsgemäße Funktion sich nicht durch gefahrene Kilometer nachweisen lässt, sondern dadurch, dass sie in die Verkehrssituationen gebracht werden, die sie bewältigen sollen. Wir sprechen hier von einem szenarienbasierten Ansatz. Die Herausforderung besteht im Nachweis der Vollständigkeit der Szenarien bzw. ihrer Repräsentativität hinsichtlich der abzusichernden Funktion.

- Der Wechsel von der Bezugsgröße *Strecke* zur Bezugsgröße *Szenarium* ändert per se nichts an der Dimension des Testraums, der abgedeckt werden muss. Die Anzahl der Szenarien, die zu testen sind, ist aufgrund der Anzahl der Parameter, die die Szenarien kennzeichnen, und der Variabilität jedes einzelnen Parameters immer noch gigantisch. Das Problem lässt sich aber durch den Einsatz virtueller Tests lösen. Neben Hardware-, Software- oder Vehicle-in-the-Loop-Tests geht es dabei vor allem um Simulationsanalysen. Wenn die erforderlichen Simulationsmodelle vorliegen und die Parameterräume definiert sind, können die Testfälle automatisch erzeugt und so nahezu beliebig große Testräume abgedeckt werden. Reale Tests auf Prüfgeländen und im Feld werden dadurch keineswegs überflüssig. Vielmehr dienen sie bei diesem Vorgehen der Verifikation der Ergebnisse aus den virtuellen Tests und der Validierung der zugrunde gelegten Szenarien. Insbesondere muss dabei entlang der Systemgrenzen getestet werden. So kann die Anzahl der realen Tests durch das beschriebene Testkonzept in einem durchführbaren Rahmen gehalten werden.

Eine entsprechende Vorgehensweise zur Absicherung des automatisierten Fahrens wurde bereits 2015 vorgestellt¹⁵ und im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Verbundprojekts PEGASUS¹⁶ von 2016 bis Mitte 2019 herstellerübergreifend erarbeitet und exemplarisch umgesetzt. Die Ergeb-

nisse von PEGASUS fanden auch international große Beachtung, hielten Einzug in die nationalen und internationalen Aktivitäten zur Regulierung und Normung und werden in verschiedenen Nachfolgeprojekten vertieft.

3.2 Positive Risikobilanz und Automationsrisiken

Von der Einführung automatisierter Fahrfunktionen wird im Allgemeinen erwartet, dass sie sich positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Häufig wird sogar argumentiert, dass Unfälle durch technische Systeme gänzlich vermieden werden könnten. Dabei wird i. d. Regel darauf verwiesen, dass die heute beobachteten Unfälle nahezu vollständig durch menschliches Fehlverhalten verursacht werden und daher wegfallen würden, wenn technische Systeme den Fahrer unterstützen und die Fahraufgabe mehr und mehr übernehmen.¹⁷

In der Tat werden technische Systeme niemals unaufmerksam und können Routineaufgaben mit größerer Präzision ausführen als Menschen. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass Menschen durch ihre Fähigkeit zu antizipieren und sich auf neue und komplexe Situationen einzustellen eben auch bewirken, dass kritische Situationen im Straßenverkehr überwiegend gar nicht zu Unfällen führen. Ob bzw. wann technische Systeme das in vergleichbarer Qualität leisten können, muss sich zeigen. Dazu kommt die Dynamik, die die Automatisierung des Fahrens auslöst, mit der sie aber auch selbst konfrontiert sein wird. In den nächsten Jahrzehnten werden Fahrzeuge mit unterschiedlichsten automatisierten Fahrfunktionen und mit jeweils ganz unterschiedlichen Marktanteilen miteinander, mit anderen Verkehrsteilnehmern und mit der sich ebenfalls weiterentwickelnden Verkehrsinfrastruktur in Wechselwirkung treten. Eine große Bedeutung wird daher der Frage zukommen, ob automatisierte Fahrzeuge sich so verhalten, wie es andere Verkehrsteilnehmer erwarten. Und neben der durchaus berechtigten Erwartung, dass automatisierte Fahrzeuge eine Reihe von Unfällen vermeiden oder

15 Steining, Schöner, Schiemenz: *Requirements on tools for assessment and validation of assisted and automated driving systems*, 7. Tagung Fahrerassistenz, 25.–26.11.2015, München;

<https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/pdf/7.Tagung%20Fahrerassistenz%20Praesentation.pdf>

16 <http://www.pegasusprojekt.de/>

17 <https://www.dvr.de/fileadmin/downloads/dvr-schriftenreihe/Schriftenreihe-Verkehrssicherheit-16.pdf>

18 https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile

19 <https://www.gidas.org/willkommen/>

20 Seit Juli 1999 werden in GIDAS in den Großräumen Hannover und Dresden pro Jahr etwa 2.000 Verkehrsunfälle mit Personenschaden erhoben. Durch ein definiertes Stichprobenverfahren ist die Repräsentativität der Daten im Vergleich zur Bundesstatistik gewährleistet. Träger des Projektes sind die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und die Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT). Die Unfallerhebungen und -rekonstruktionen werden von der Verkehrsunfallforschung der TU Dresden (VUFO) und der Unfallforschung der Medizinischen Hochschule Hannover durchgeführt.

zumindest ihre Folgen abmildern, wird es auch Ereignisse geben, die ohne die Einführung der Technologie gar nicht aufgetreten wären. Die Risiken, die sich daraus ergeben, werden Automationsrisiken genannt und wurden u. a. im Rahmen des bereits genannten Förderprojekts PEGASUS untersucht.

Daraus ergibt sich unmittelbar die Frage nach der grundsätzlichen Zulassungsfähigkeit von Systemen zum automatisierten Fahren. Die vom Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur eingesetzte Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren kommt dabei zu einem klaren Ergebnis:¹⁸

- Die Zulassung ist nur vertretbar, wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen eine Verminderung von Schäden i. S. einer positiven Risikobilanz verspricht.
- Bei Vorliegen einer solchen grundsätzlich positiven Risikobilanz stehen technisch unvermeidbare Restrisiken einer Einführung der Systeme nicht entgegen.

Vor der Einführung sicherheitsrelevanter Fahrzeugsysteme wurden auch in der Vergangenheit Prognosen zu ihrer Wirksamkeit durchgeführt und ihre Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit analysiert. Dazu werden Modelle eingesetzt und Annahmen getroffen, die erst im Feld endgültig verifiziert oder falsifiziert werden können. Im Kontext des automatisierten Fahrens fällt besonders ins Gewicht, dass sich die Rolle des Fahrers beim Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 grundlegend ändert. Daher kann aus vorliegenden Erfahrungen mit passiven und aktiven Sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen nicht ohne Weiteres auf die Auswirkungen von Systemen zum automatisierten Fahren geschlossen werden.

Ein valider statistischer Nachweis, dass automatisierte Fahrzeuge die in sie gesetzten Sicherheitserwartungen tatsächlich erfüllen und sich im realen Betrieb bewähren, lässt sich aus den vorgenannten Gründen vor ihrer Markteinführung nicht erbringen.

3.3 Nachweis der Betriebsbewährung

Der Nachweis der Betriebsbewährung ist für die gesellschaftliche Akzeptanz und damit für die erfolgreiche Einführung und Verbreitung der Technologie von essenzieller Bedeutung. Diesem Nachweis dienen im Wesentlichen die im Produktsicherheitsgesetz geforderten Maßnahmen zur Produktbeobachtung durch die Hersteller und die Marktüberwachung durch die dafür zuständigen Behörden, in Deutschland etwa durch das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Ein wesentliches Instrument der Produktbeobachtung und der Marktüberwachung ist die Analyse von Unfällen. In Deutschland verfügen wir mit GIDAS (German In-Depth Accident Study) über eines der weltweit größten Projekte im Bereich der Verkehrsunfallforschung.¹⁹ Hier werden reale Verkehrsunfälle dokumentiert, rekonstruiert und der Unfalleinlauf separat simuliert.²⁰ Die Analysen bieten dem Gesetzgeber die Möglichkeit, das Unfallgeschehen genau zu beobachten und positive sowie negative Entwicklungen zu erkennen. Automobilhersteller und Zulieferer können anhand der Ergebnisse ihre eigene Technik verbessern. Darüber hinaus führen die Automobilhersteller und die Versicherungswirtschaft eigene systematische Unfallanalysen durch. Flankiert und ergänzt werden diese Unfallanalysen z. B. durch Studien im Feld und in Fahrsimulatoren.

Im Hinblick auf die bevorstehende Einführung von Automatisierungssystemen der Stufe 3 weisen die Prognosen zur Wirksamkeit und die Analysen der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit sowie die derzeitigen Aktivitäten zur Produktbeobachtung und Marktüberwachung allerdings systemische Schwachstellen auf. Diese haben u. a. folgende Ursachen:

- Die Modelle, die für Prognosen zur Wirksamkeit und zur Rekonstruktion der Unfälle herangezogen werden, sind überwiegend darauf ausgerichtet, menschliches Handeln abzubilden. Sie sind nicht ohne Weiteres geeignet, um automatische Fahrfunktionen zu bewerten.

- Die für Systeme zum automatisierten Fahren typischen technischen Limitierungen und spezifischen Anwendungsbereiche werden nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt. Eindeutige Indikatoren für mögliche Unzulänglichkeiten technischer Systeme zum automatisierten Fahren fehlen.
- Ereignisse mit schwerwiegenden Folgen, die sich besonders auf die Akzeptanz auswirken, sind – wie wir im Kapitel 3.1 gesehen haben – selten. Seltene Ereignisse werden mit den bisherigen Vorgehensweisen in der Unfallforschung erst relativ spät erkannt. Eine schnelle Reaktion auf solche Ereignisse ist daher nicht möglich.

Der PEGASUS-Steuerkreis hat dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur daher empfohlen, eine Kommission einzusetzen, die die organisatorischen und technischen Voraussetzungen für den Nachweis der Betriebsbewährung schafft und die Markteinführung unternehmens- und technologieunabhängig begleitet. In dieser Kommission sollen Behörden, Industrie, Verbände, Verbraucherschutz und wissenschaftliche Einrichtungen vertreten sein. Die Empfehlung hat Eingang gefunden in den von der Bundesregierung am 10. Februar 2021 verabschiedeten Entwurf eines Gesetzes zum autonomen Fahren, der im Kapitel 4 ausführlich behandelt wird.

3.4 Sicherheit im Fahrzeug-Lebenszyklus

Eine wesentliche Säule bei der Gewährleistung der Sicherheit im kompletten Fahrzeug-Lebenszyklus ist die Hauptuntersuchung (HU). Das Konzept der HU besteht in der periodischen Durchführung zerlegungsfreier Sicht-, Wirk- und Funktionsprüfungen sicherheitsrelevanter Fahrzeugsysteme. Es hat sich bei aktiven und passiven Sicherheitssystemen bewährt. Mit dem sog. HU-Adapter sind die Sachverständigenorganisationen inzwischen auch in der Lage, bestimmte Daten aus den Fahrzeugen auszulesen. Bei komplexen elektronischen Systemen, deren Funktionsweise durch Software bestimmt wird, stößt dieses Konzept

jedoch an seine Grenzen. Die Sachverständigenorganisationen haben diese Herausforderung erkannt.²¹ Wie die bestimmungsgemäße Funktion von Systemen zum automatisierten Fahren im Rahmen der HU wirksam überprüft werden kann, muss aber noch erarbeitet werden.

Hinzu kommt, dass die Anbieter von Fahrzeugsystemen, deren Funktionsweise durch Software bestimmt wird, den Nutzern einen Mehrwert bieten wollen, indem sie die entsprechende Software durch Updates auf den neuesten Stand bringen. Die Nutzer erwarten das auch, da sie es von PC, Tablet und Smartphone gewöhnt sind. Die Konnektivität der Fahrzeuge erlaubt Over-the-Air-Updates. Daraus ergeben sich eine ganze Reihe von Fragen: Muss die bisherige periodische Überprüfung durch ein Konzept der kontinuierlichen Überwachung ergänzt werden? Wer ist dafür verantwortlich und wie ist das technisch und betrieblich-organisatorisch zu bewerkstelligen? Das Thema nimmt noch einmal eine völlig neue Dimension an, wenn in ferner Zukunft, ermöglicht durch künstliche Intelligenz, kontinuierlich lernende Systeme zum Einsatz kommen, die sich während des Betriebs im Fahrzeug permanent weiter verändern.²²

Schlüssige Konzepte zur Gewährleistung der Sicherheit von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen im gesamten Lebenszyklus müssen noch erarbeitet werden. Gesetz- und Ordnungsgeber, Sachverständigenorganisationen und Hersteller sind hier gleichermaßen in der Pflicht zu gewährleisten, dass Fahrzeuge und Fahrzeugsysteme auch zukünftig jederzeit sicher sind und dass diese Sicherheit wirksam überprüft werden kann.

3.5 Fazit zur Absicherung des automatisierten Fahrens

Der Aufwand zur Absicherung des automatisierten Fahrens erscheint auf den ersten Blick gigantisch, wird aber durch den Übergang vom streckenbasierten zum szenarienbasierten Testen und durch die geeignete Verbindung virtueller und realer Tests bewältigbar. Entsprechende Testkonzepte wurden

in Forschungsprojekten bereits exemplarisch umgesetzt. Eine notwendige Voraussetzung für die Zulassung des automatisierten Fahrens besteht in der begründeten Erwartung, dass es im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zu einer Verminderung von Schäden i. S. einer positiven Risikobilanz kommt. Bei Vorliegen einer solchen grundsätzlich positiven Risikobilanz stehen technisch unvermeidbare Restrisiken einer Einführung der Systeme nicht entgegen.

Ein valider statistischer Nachweis, dass automatisierte Fahrzeuge die in sie gesetzten Sicherheitserwartungen tatsächlich erfüllen und sich im realen Betrieb bewähren, lässt sich vor ihrer Markteinführung nicht erbringen. Deshalb kommt den Maßnahmen zur Prognose der Wirksamkeit, zur Analyse der Auswirkungen, zur Produktbeobachtung und zur Marktüberwachung eine besondere Bedeutung zu. Hinsichtlich der speziellen Eigenschaften automatisierter Fahrfunktionen weisen die dazu heute angewendeten Methoden systemische Schwächen auf. Diese gilt es vor Einführung der Technologie zu beseitigen und darüber hinaus Konzepte zur Gewährleistung der Sicherheit automatisierter Fahrzeuge im gesamten Lebenszyklus zu erarbeiten. Mit Blick auf die unmittelbar bevorstehende Einführung von Automatisierungssystemen der Stufe 3 besteht hier dringender Handlungsbedarf.

4 Recht und Zulassung

4.1 Grundlagen der Fahrzeugzulassung

Grundlage für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen in Europa ist das Genfer Übereinkommen von 1958 über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen (Motorfahrzeugen) und über die gegenseitige Anerkennung der Genehmigung.²³ Die dem Genfer Übereinkommen angeschlossenen Regelungen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE-Regelungen) enthalten technische Vorschriften, Prüfverfahren, die genauen Bedingungen für die Typgenehmigung sowie

21 <https://www.automobilwoche.de/article/20180418/AGENTURMELDUNGEN/304179939/online-zum-tuev-autonomes-fahren-veraendert-pruefgeschaeft>

22 https://www.vdtuev.de/IG-NB/vdtuev-startseite/dok_view?oid=820149

23 Internationale Abkommen, Richtlinien, Verordnungen und Regelungen, nationale Gesetze und Verordnungen sowie Normen, die durch die Verweise im Text eindeutig gekennzeichnet sind, werden in diesem Beitrag nicht gesondert referenziert. Wenn keine weiteren Angaben zur Ausgabe gemacht werden, beziehen sich die Verweise immer auf die aktuelle Ausgabe.

24 Hartmann, Aktueller Überblick über Rechtsfragen des automatisierten und autonomen Fahrens. *PHi* 2016, 114, 115.

25 S. hierzu Schubert, „StVG neu“ ebnet (fast) den Weg für das automatisierte Fahren, *PHi* 2017, 152 f.

26 <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>

Genehmigungszeichen (ECE-Prüfzeichen) und Bedingungen für die Gewährleistung der Übereinstimmung der Produktion. Die Verordnung (EU) 2018/858, die am 1. September 2020 die sog. EG-Typgenehmigungsrichtlinie 2007/46/EG ersetzt hat, verweist in Anhang II auf die UNECE-Regelungen, womit diese in Deutschland unmittelbar anwendbar sind. Wenn Fahrzeuge die Verordnung (EU) 2018/858 erfüllen, ist gemäß §19(1) der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) eine Betriebserlaubnis zu erteilen.

Für bekannte Technik gibt es somit klare Rahmenbedingungen. Wie sieht es aber mit der Erprobung neuer Technologien aus? Dafür gibt es – auch und ganz besonders im nationalen Rahmen – tragfähige Rechtsgrundlagen. Die StVZO sieht eine Reihe von Möglichkeiten vor, um bisher noch nicht zugelassene Fahrfunktionen zu erproben. So dürfen z. B. Hersteller, die Inhaber einer Betriebserlaubnis sind, an typgenehmigten Fahrzeugen zu Erprobungszwecken Änderungen vornehmen, ohne dass die Betriebserlaubnis erlischt (§ 19 Abs. 6 StVZO). Für Fahrzeuge, die keine EG-Typgenehmigung oder Betriebserlaubnis haben, können Verfügungsberechtigte eine Einzelbetriebserlaubnis beantragen (§ 21 Abs. 1 StVZO). Für Fahrzeuge, die einzelnen Bau- und Betriebsvorschriften der StVZO nicht entsprechen – was bei Erprobungsträgern zum automatisierten Fahren regelmäßig der Fall ist –, können Ausnahmegenehmigungen erteilt werden (§ 70 Abs. 1 StVZO). Die Genehmigung von Ausnahmen kann mit Auflagen verbunden sein (§ 71 StVZO), z. B. mit Einsatzbeschränkungen.

Die Ausführungen belegen, dass die Erprobung von Fahrzeugen und Fahrzeugsystemen in Deutschland komfortabel geregelt ist. Das entkräftet die häufig und selbst in Fachmedien und von Fachleuten verbreitete Behauptung, man müsse zur Erprobung automatisierter Fahrfunktionen am besten in die USA gehen, weil das in Deutschland nicht möglich wäre. Diese Schlussfolgerung überrascht nicht, wenn man berücksichtigt, dass Google im Jahr 2012 meldete, dass für

seine Erprobungsfahrten im Bundesstaat Nevada Gesetze geändert wurden. Die nüchterne Mitteilung, dass das in Deutschland gar nicht erforderlich war, weil die StVZO dies bereits problemlos zuließ, hat es dagegen bis heute nicht in die Medien geschafft. Diese „Wahrnehmungslücke“ trägt u. a. auch zu dem Eindruck bei, dass die Technologieunternehmen von der Westküste beim automatisierten Fahren einen Technologievorsprung gegenüber den Automobilherstellern hätten. Die Realität spricht da eine andere Sprache: Tatsächlich gab und gibt es einen Vorsprung lediglich beim Erkennen potenzieller Geschäftsmodelle jenseits des Verkaufs von Fahrzeugen – dazu mehr in Kapitel 5.

Weltweit befinden sich Systeme der Automatisierungsstufen 3 und 4 in Erprobung. Wie bekommen wir die Technologie nun aber regulär auf die Straße? Zunächst wird ein Überblick über die Entwicklung der Regelungen zum automatisierten Fahren gegeben. Diese Entwicklung wird im Folgenden weitgehend in ihrer chronologischen Abfolge dargestellt, billigend in Kauf nehmend, dass dadurch ein wenig hin und her gesprungen werden muss zwischen internationalen und nationalen Aktivitäten.

4.2 Regelungen zum automatisierten Fahren

4.2.1 UNECE-Regelung Nr. 79

Von besonderer Bedeutung für das automatisierte Fahren ist die UNECE-Regelung Nr. 79 für Lenkanlagen.²⁴ Spezielle Anforderungen an „komplexe elektronische Fahrzeugsteuersysteme“ wurden zunächst nur in Anhang 6, dem sog. Elektronikanhang, und dort in eher geringem Umfang formuliert. Im Wesentlichen geht es darum nachzuweisen, dass entsprechende Systeme den sicheren Betrieb der „Hauptlenkanlage“ weder im fehlerfreien Zustand noch im Fehlerfall beeinträchtigen (s. dazu auch Kapitel 2). Seit 2005 beinhaltet die Regelung auch Parklenkassistenten, die die Lenkfunktion im Geschwindigkeitsbereich bis 10 km/h automatisch übernehmen, und damit erste Systeme der Automatisierungsstufe 1.

Im Jahr 2015 wurde seitens der UNECE die Informelle Arbeitsgruppe Automatically Commanded Steering Function (ASCF) gegründet. Deren Ziel war es, die Regelung dahingehend anzupassen, dass die Geschwindigkeitsgrenze für automatische Lenkfunktionen von 10 km/h zunächst auf autobahnähnlichen Straßen aufgehoben werden kann. Dazu sollten Anforderungen und Prüfverfahren definiert werden. Die neue Regelung ist am 16. Oktober 2018 in Kraft getreten. Neben automatisierten Lenkfunktionen der Stufe 2 einschließlich Spurwechseln, die vom Fahrzeugführer angewiesen werden müssen, erlaubt die neue Regelung erstmals auch Lenkanlagen ohne formelschlüssige mechanische Verbindung zwischen Betätigungseinrichtung und Laufrädern, also sog. Steer-by-Wire-Systeme. Ausgehend von der Tatsache, dass Systeme der Stufe 2 wie Stau- oder Parkmanöverassistenten schon vor 2015 eingeführt wurden, stellt sich die Frage, warum es angesichts des offensichtlichen Regelungsbedarfs so lange gedauert hat, bis es eine Regelung gab, und natürlich auch, welche Bedeutung eine Regelung noch hat, die Jahre nach der Markteinführung entsprechender Systeme in Kraft tritt.

4.2.2 Änderung StVG 2017

Durch das am 21. Juni 2017 in Kraft getretene 8. Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) wurden – in Ermangelung internationaler Regelungen – vorläufige nationale Rahmenbedingungen speziell für Systeme der Automatisierungsstufe 3 geschaffen.²⁵ Dazu heißt es auf der Homepage des BMVI:²⁶ „Mit dem ... Gesetz zum automatisierten Fahren ... hat Deutschland als erster Staat der Welt die Rechte und Pflichten der Fahrzeugführenden bei der Nutzung automatisierter Fahrfunktionen geregelt. Mit der Gesetzesänderung wurde sowohl den Verbraucherinnen und Verbrauchern als auch der Industrie die nötige Rechtssicherheit gegeben. Bei Vorliegen der im Gesetz geregelten Voraussetzungen dürfen während der Fahrzeugführung mittels automatisierter Fahrsysteme i. S. des Gesetzes sich die Fahrzeugführenden unter Beachtung der im Gesetz vorgege-

benen Bedingungen vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugführung abwenden. Das Gesetz definiert u. a. die hohen technischen Anforderungen an die automatisierten Systeme, bei deren Nutzung ein Abwenden möglich ist.“

Der Bundesrat vertrat hingegen schon in seiner Stellungnahme zum Gesetzentwurf der Bundesregierung die Auffassung, dass dieser keine ausreichende Grundlage für die rechtlich sichere wie auch wirtschaftliche Nutzung der Technologie bilde.²⁷ Neben Fragen des Datenschutzes wurden insbesondere Haftungsfragen aufgeworfen und kritisiert, dass es der Gesetzentwurf den Verbraucherinnen und Verbrauchern überließe, im Einzelfall selbst über die Anwendung entsprechender Systeme entscheiden zu müssen. Dabei bliebe unklar, anhand welcher *offensichtlichen Umstände* Fahrzeugführer erkennen sollten, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung nicht mehr vorlägen und was es bedeute, dass sie die Fahrzeugsteuerung gegebenenfalls *unverzüglich* zu übernehmen hätten. Darüber hinaus fehlten konkrete Regelungen, welche fahrfremden Tätigkeiten bei Nutzung der Systeme erlaubt wären. Bestehende Risiken würden dadurch in hohem Maß auf die Fahrzeugführer abgewälzt. Der Bundesrat forderte, die Hersteller stärker in die Verantwortung zu nehmen und deren Gefährdungshaftung beim Einsatz hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktionen proportional zum Grad der Automatisierung im Gesetz zu verankern. Im Gesetzgebungsverfahren wurden die Vorschläge des Bundesrats im Wesentlichen nicht berücksichtigt.

Auch wenn Techniker bei solcherlei juristischen Streitfragen nicht ohne Weiteres mitreden können, kommen wir nicht umhin festzustellen, dass das Inkrafttreten des Gesetzes nicht dazu geführt hat, dass auch nur ein einziges System der Automatisierungsstufe 3 in Deutschland zur Markteinführung gelangt wäre. Es ist das genaue Gegenteil der Situation eingetreten, die man beim Inkrafttreten der UNECE-Regelung 79 für Systeme der Stufe 2 beobachten konnte: Dort waren längst Systeme auf dem Markt, es fehlte aber eine entsprechende Regelung, hier gibt es

nun eine Regelung, aber keine entsprechenden Systeme auf dem Markt.

Neben den aus Verbrauchersicht ungeklärten Haftungsfragen haben dazu möglicherweise auch zwei weitere Aspekte beigetragen, die die Hersteller betreffen. Zum einen könnten diese befürchten, dass das Kosten-Nutzen-Verhältnis entsprechender Systeme die Kunden nicht überzeugt und die Einführung in Kundenfahrzeugen sich daher als nicht lukrativ erweist. Dieses Problem verstärkt sich dadurch, dass eine grundsätzlich global agierende Industrie entsprechend ausgerüstete Fahrzeuge zunächst nur in Deutschland verkaufen könnte.

Zum anderen sagt das Gesetz nichts zu Verifikation und Tests der Systeme. Es regelt weder Testfälle noch das Zusammenwirken virtueller und realer Tests bei der Absicherung der Systeme und trägt damit nicht zur Lösung der in Kapitel 3 aufgezeigten Probleme bei der Absicherung des automatisierten Fahrens bei.

4.2.3 UNECE-Regelung 157

Am 22. Januar 2021 trat die Regelung Nr. 157 über die Typgenehmigung von automatischen Spurhaltesystemen (englisch Automated Lane Keeping Systems, abgekürzt ALKS) in Kraft.²⁸ Sie regelt zum ersten Mal international ein System der Automatisierungsstufe 3 für Pkw mit einem zunächst auf autobahnähnliche Straßen und Geschwindigkeiten bis 60 km/h und damit insbesondere auf Stausituationen begrenzten Anwendungsfall. Entgegen dessen, was die Bezeichnung im ersten Moment vermuten lässt, übernehmen ALKS sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs innerhalb der eigenen Fahrspur. In der zuständigen Arbeitsgruppe der UNECE werden bereits Erweiterungen des Geltungsbereichs der Regelung Nr. 157 diskutiert, insbesondere höhere Geschwindigkeiten auf Autobahnen, einschließlich der Möglichkeit von Spurwechseln, sowie die Anwendung auf Lkw und Busse.

Die Regelung enthält eine Reihe von Sicherheitsanforderungen, Bestim-

27 <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/115/1811534.pdf>

28 <https://unece.org/sites/default/files/2021-03/R157e.pdf>

29 <https://unece.org/sustainable-development/press/three-landmark-un-vehicle-regulations-enter-force>

30 https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile

31 https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s3108.pdf%27%5D__1628446890021

mungen zur Überwachung des Fahrers, die von Bedeutung sind, wenn der Fahrer aufgefordert wird, die Fahraufgaben wieder zu übernehmen, sowie Bestimmungen für Datenspeichersysteme, die Daten in Bezug auf das System und seine Nutzung sowie auf die Überwachung des Fahrers sammeln. Darüber hinaus müssen ALKS auch den Anforderungen an Cybersicherheit und Software-Updates entsprechen, die in den beiden Regelungen Nr. 155 und 156 festgelegt sind, die zeitgleich mit der Regelung Nr. 157 in Kraft getreten sind.²⁹ Diese beiden Regelungen definieren erstmals Anforderungen, die nicht nur zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens erfüllt werden müssen, sondern im gesamten Fahrzeug-Lebenszyklus. Allen drei Regelungen ist darüber hinaus gemeinsam, dass in ihnen zum ersten Mal direkt auf Sicherheitsnormen Bezug genommen wird, im Speziellen – und in diesem Zusammenhang nicht wirklich überraschend – auf ISO 26262 für Funktionale Sicherheit, ISO/PAS 21448 für Sicherheit der Sollfunktion und ISO/SAE 21434 für Cybersicherheit von Straßenfahrzeugen.

Die Regelung Nr. 157 beinhaltet neben konkreten Sicherheitsanforderungen auch Anforderungen an Verifikation und Test der Systeme. Von entscheidender Bedeutung ist, dass Simulationswerkzeuge und mathematische Modelle zur Verifizierung des Sicherheitskonzepts verwendet werden können, insbesondere für Szenarien, die auf einer Teststrecke oder unter realen Fahrbedingungen schwierig darzustellen sind. Die Hersteller müssen den Umfang der Simulationswerkzeuge, ihre Gültigkeit für die betreffenden Szenarien sowie die für die Simulationswerkzeugkette durchgeführte Validierung (Korrelation der Ergebnisse mit physikalischen Tests) nachweisen. Das entspricht genau dem, was in Kapitel 3 zur Absicherung des automatisierten Fahrens als Ausweg aus der sog. Freigabefalle diskutiert wurde.

Ob die UNECE-Regel 157 all die Fragen zu beantworten vermag, die im Zusammenhang mit der StVG-Novelle von 2017 aufgetaucht sind, lässt sich kurz nach ihrem Inkrafttreten noch

nicht sagen. Mehrere Hersteller haben aber angekündigt, entsprechende Systeme in allernächster Zeit einzuführen.

4.2.4 Änderung StVG 2021

Am 10. Februar 2021 hat die Bundesregierung den Entwurf eines „Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren (GAF)“ verabschiedet.³⁰ Dadurch soll das autonome, fahrerlose Fahren in festgelegten Betriebsbereichen in Deutschland gesetzlich ermöglicht werden, solange noch keine übergeordneten, internationalen Vorschriften vorliegen. Dabei wird dem unterschiedlichen Mobilitätsbedarf Rechnung getragen, sodass denkbare Anwendungsfälle in der Personbeförderung, aber auch in der Logistik mit unterschiedlichen Voraussetzungen möglich gemacht werden (Beförderung von Personen und Waren im Bereich der sog. ersten und letzten Meile). Das Spektrum der Anwendungsfälle erstreckt sich von nachfrageorientierten Verkehrsangeboten in Randzeiten oder im ländlichen Raum bis zum Automated Valet Parking. Mit diesem Vorhaben will das BMVI nach eigenem Bekunden die Potenziale des autonomen Fahrens fördern und Deutschlands Vorreiterrolle in diesem Bereich weiter etablieren. Parallel dazu arbeitet das BMVI aktiv daran, regulatorische Rahmenbedingungen auf internationaler Ebene entsprechend zu gestalten.

Im Einzelnen regelt der Gesetzentwurf technische Voraussetzungen, die Fahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion erfüllen müssen, und führt ein dreistufiges Genehmigungsverfahren ein (Erteilung der Betriebserlaubnis durch das Kraftfahrt-Bundesamt, Genehmigung des festgelegten Betriebsbereichs durch die nach Landesrecht zuständige Stelle, Zuteilung eines amtlichen Kennzeichens durch die Straßenverkehrsbehörde). Weiterhin werden die Pflichten der neu eingeführten Technischen Aufsicht sowie die Datenspeicherung und die Erprobung geregelt. Der Gesetzentwurf enthält Ermächtigungsgrundlagen zum Erlass von Rechtsverordnungen, innerhalb derer

u. a. Verfahrensvorschriften und technische Anforderungen im Detail geregelt werden. Vor allem werden in dieser Verordnung zukünftig Test-szenarien und Bestehenskriterien festgelegt, und es wird geregelt, dass die Typprüfung auf Basis von Simulationen, Durchführung von Fahrmanövern auf dem Prüfgelände sowie Fahrtests im realen Straßenverkehr erfolgen kann. Sie darf jedoch nicht allein auf Computersimulationen beruhen. Die Simulationswerkzeuge sind durch Abgleich mit einer repräsentativen Auswahl realer Versuche zu validieren. Es darf kein signifikanter Unterschied zwischen Kennwerten aus Simulation und Fahrversuch bestehen. Das Leistungsvermögen der Sensorik in Bezug auf Erkennung und Klassifizierung von Objekten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Entfernungen und Umweltbedingungen ist für die Simulation in realen Tests zu ermitteln. Diese Regelungen stehen im Einklang mit aktuellen Aktivitäten der UNECE zu Test- und Validierungsmethoden.

Am 27. Juli 2021 wurde das Gesetz zum autonomen Fahren im Bundesgesetzblatt veröffentlicht.³¹ Es steht noch der Erlass der vorgenannten Verordnung zur Durchführung des Gesetzes aus. Gemäß Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft haben die Mitgliedstaaten die Kommission über jeden Entwurf einer technischen Vorschrift zu informieren. Diese sog. Notifizierung hat die Bundesregierung am 10. Juni 2021 eingeleitet. Ab dem Datum der Notifizierung des Entwurfs ermöglicht es eine dreimonatige Stillhaltefrist der Kommission und den anderen Mitgliedstaaten, den notifizierten Wortlaut zu prüfen und angemessen zu reagieren. Erheben die Kommission und die anderen Mitgliedstaaten in dieser Zeit keine Einwände, kann der notifizierende Mitgliedstaat die fragliche technische Vorschrift erlassen. Daher ist zu erwarten, dass die Verordnung in der laufenden Legislaturperiode in Kraft tritt.

Automatisiertes Fahren – aktueller Stand und Zukunftschancen

Da Gesetz und Verordnung hauptsächlich Mobilitäts- und Transportdienstleistungen mit automatisierten Fahrzeugen in festgelegten Betriebsbereichen adressiert, ist der beschränkte nationale Anwendungsbereich womöglich weniger problematisch als im Fall der Novelle von 2017. Der Regelungsbedarf wird offensichtlich, wenn wir vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen erfahren, dass hierzu-lande aktuell in 56 Projekten autonome Shuttle-Busse erprobt werden. Die dazu eingesetzten Fahrzeuge wurden überwiegend nicht in Deutschland hergestellt.³²

4.3 Regelungen und Markteinführung

Insbesondere vor dem Hintergrund der Kritik an der UNECE-Regelung 79 in der Fassung aus dem Jahr 2018 (zu spät für Stufe 2) und der StVG-Novelle von 2017 (zu viele offene Fragen für Stufe 3) erscheint es interessant, eine Korrelation zwischen der Entwicklung der Regelungen zum automatisierten Fahren und der tatsächlichen Markteinführung entsprechender Systeme herzustellen. In der folgenden Grafik sind die jeweils erreichten Automatisierungsstufen zu den Zeitpunkten des Inkrafttretens der beschriebenen Regelungen und die Markteinführung exemplarischer Systeme zum automatisierten Fahren dargestellt. Die Markteinführungstermine stammen aus dem

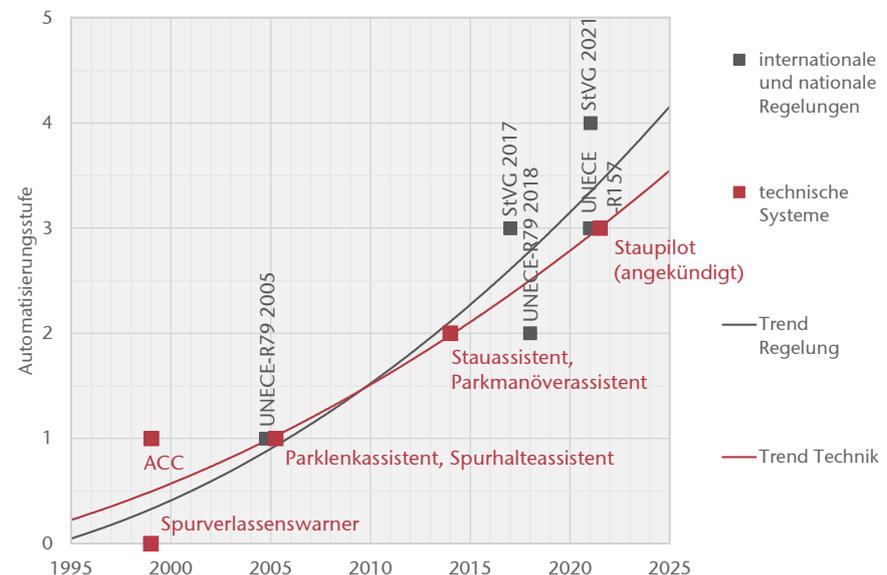
VDA-Magazin Automatisierung.³³ Der Markteinführungstermin für den Stau-piloten gründet sich auf die Ankündigungen verschiedener Hersteller.

Zusätzlich wurden für beide Entwicklungen Trendlinien berechnet. Dagegen könnte eingewendet werden, dass die Entwicklung nicht stetig verläuft, sondern stufenförmig. Betrachtet man jedoch einen längeren Zeitraum, sind Trendlinien gerechtfertigt.

Grafik 2 verdeutlicht einige Erkenntnisse:

- Die Entwicklung von Technik und Regelungen verläuft über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren bemerkenswert parallel.
- In der Vergangenheit hinkten die Regelungen der Technik etwas hinterher. Das war insofern hinnehmbar, weil die Sicherheitsanforderungen bis zur Automatisierungsstufe 2 im Wesentlichen im Nachweis der Übersteuerbarkeit der Systeme bestehen. Das war und ist mit den UNECE-Regeln in ihrer ursprünglichen Form zu leisten.
- Die Situation ändert sich, wie bereits mehrfach festgestellt wurde, grundlegend beim Übergang zu Stufe 3. Vor diesem Hintergrund ist es umso erfreulicher, dass die Ent-

Grafik 2 – Technische Systeme und Regelungen zum Automatisierten Fahren



Quelle: Udo Steininger, 2021

32 <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>

33 A. a. O. (Fn. 7).

34 S. hierzu Hartmann, Comparison of jurisdictions: Legal Frameworks for Automated Driving and implications on legal politics, PHI 2019, 210 ff.

35 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244999/umfrage/weltweiter-pkw-und-nutzfahrzeug-bestand/#:~:text=Globaler%20Kfz%2DBestand%20h%C3%B6her%20als,global%20registrierten%20Kraftfahrzeuge%20kontinuierlich%20an.>

36 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Todesursachen/todesfaelle.html>; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/185/umfrage/todesfaelle-im-strassenverkehr/>

wicklung der Regelungen gegenüber der technischen Entwicklung aktuell Fahrt aufgenommen hat.

4.4 Fazit zur Zulassung des automatisierten Fahrens

Seit 2005 ist das Bemühen des Gesetzgebers, international und national Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren zu schaffen, deutlich zu erkennen.³⁴ Zeitlich verläuft die Regulierung weitgehend parallel zur technischen Entwicklung. Das Regelungstempo scheint die technische Entwicklung bisher zumindest nicht behindert zu haben.

Die UNECE-Regel Nr. 157 für Systeme der Stufe 3 und das deutsche Gesetz zum autonomen Fahren für Systeme der Stufe 4 sind geeignet, um entsprechende Systeme zuzulassen. Technische Defizite früherer Regelungen, z. B. hinsichtlich der Absicherung der Systeme, sind beseitigt. Inwieweit das auch für die Rechtsunsicherheiten gilt, bleibt abzuwarten. Verschiedene Hersteller haben bereits angekündigt, in nächster Zeit Systeme der Stufe 3 einzuführen.

Dass der Gesetzgeber in Deutschland jeweils die weltweit ersten Regelungen für Systeme der Stufen 3 und 4 geschaffen hat, verdient Anerkennung. Die Automobilindustrie ist aber international ausgerichtet. Im Hinblick auf automatisierte Fahrfunktionen der Stufe 3 in Kundenfahrzeugen war die Wirkung einer nationalen deutschen Regelung daher geringer als erhofft. Beim fahrerlosen Fahren in festgelegten Betriebsbereichen gemäß Automatisierungsstufe 4 bestehen dagegen berechnete Erwartungen, dass nationale und internationale Serviceanbieter und Hersteller die Chance nutzen, ihre Systeme regulär zuzulassen – auch wenn das vorerst nur in Deutschland möglich ist. Die entsprechende nationale Regelung scheint daher tatsächlich geeignet, die Technologie international zu befördern und die Position Deutschlands in diesem Technologiefeld zu stärken.

5 Geschäftsmodelle für das automatisierte Fahren

5.1 Warum Prognosen so schwierig sind

1901 brachte *Gottlieb Daimler* das erste moderne Automobil auf den Markt. Seine Prognose damals: „Die weltweite Nachfrage nach Automobilen wird eine Million nicht übersteigen, allein schon wegen des Mangels an Chauffeuren.“ 120 Jahre später liegt der weltweite Bestand an Kraftfahrzeugen nach eigenen Hochrechnungen basierend auf Angaben der Statista GmbH³⁵ bei ca. 1,5 Milliarden. Warum liegen selbst Experten mit ihren Prognosen so falsch? Eine Ursache könnte sein, dass beim Blick in die Zukunft viel zu sehr aus der Vergangenheit heraus gedacht wird. So wie jede Kutsche traditionell einen Kutscher benötigte, dachte sich *Daimler* offensichtlich, dass künftig auch jedes Automobil in gleicher Weise einen Chauffeur erfordert.

5.2 Strategische Entwicklungsziele für automatisiertes Fahren

Auch wenn solche Fehleinschätzungen nicht vollständig vermeidbar sind – Ausblicke auf die Zukunft sind trotzdem möglich. Zumindest lassen sich wahrscheinliche Entwicklungsrichtungen abschätzen. Dazu erscheint es sinnvoll, sich auf die strategischen Entwicklungsziele zu konzentrieren, die allgemeiner Konsens sind: Mobilität soll sicherer und nachhaltiger werden. Zudem soll im Folgenden skizziert werden, welche Geschäftsmodelle erfolgversprechend sein könnten, die diesen Entwicklungszielen dienen.

Der Begriff Nachhaltigkeit wirft zunächst die Frage nach dem Antrieb der Zukunft auf. Diese Frage hat aber (fast) nichts damit zu tun, ob das Fahrzeug dann von einem Menschen oder einem Algorithmus gefahren wird, und soll deshalb an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Wir müssen uns vielmehr fragen, ob und wie automatisiertes Fahren dazu beitragen kann, die Anzahl der Fahrzeuge und der Fahrten zu reduzieren und wie das konkret erreicht

werden kann. Auch wenn einzelne Interessengruppen weniger Verkehr dadurch erreichen wollen, dass „unerwünschte“ Verkehrsarten möglichst unattraktiv gemacht oder gar verboten werden, liegen Lösungen eher darin, dass die Industrie attraktive Technologien für die Mobilitätsbedürfnisse von Individuen und Gesellschaft entwickelt, die der Nachhaltigkeit dienen, und dass die Politik den ordnungspolitischen Rahmen zur Umsetzung entsprechender Technologien schafft.

Was die Bedeutung der Verkehrssicherheit betrifft, ist zunächst festzustellen, dass die Gefahr, im Straßenverkehr tödlich zu verunfallen, heute bereits erfreulich gering ist. Im Jahr 2019 gab es in Deutschland 3.046 Verkehrstote. Damit waren Verkehrsunfälle in 0,32 % der insgesamt 939.520 Todesfälle die Ursache, dennoch ist das Risiko noch immer real.³⁶

Aussagekräftiger als die absolute Zahl der Verkehrstoten pro Jahr ist die zeitliche Entwicklung. Über Jahrzehnte ist diese Zahl, trotz erheblicher Zunahme der Kraftfahrzeuge und der Fahrleistung, kontinuierlich zurückgegangen. Das heute erreichte Sicherheitsniveau ist das Ergebnis vieler einzelner Maßnahmen zur Optimierung der passiven und aktiven Sicherheit der Fahrzeuge, zur Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur sowie zur Beeinflussung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer. In den letzten Jahren stagniert dieser Rückgang. Das deutet darauf hin, dass die Potenziale der vorgenannten Maßnahmen allmählich aufgebraucht sind. Hinzu kommen andererseits Veränderungen im Verkehrsverhalten, z. B. die gestiegene Mobilität von Arbeitnehmern, die Zunahme des Fahrradverkehrs und das Aufkommen neuer Verkehrsmittel wie E-Bikes und E-Scooter sowie der demografische Wandel. Daher müssen wir uns der Frage stellen, inwieweit automatisiertes Fahren der Erhöhung der Verkehrssicherheit dient bzw. künftig dienen kann, denn wie bereits in Teil 3 dargestellt, können neue Technologien nur dann erfolgreich eingeführt werden, wenn sie eine positive Risikobilanz aufweisen.

5.3 Automatisiertes Fahren im Individualverkehr

Mit Blick auf den Individualverkehr geht es hier über die Einführung automatisierter Fahrfunktionen in *Pkw* und *leichten Nutzfahrzeugen*, die überwiegend nicht kommerziell genutzt werden. In Kapitel 3 wurde bereits darauf verwiesen, dass die heute beobachteten Unfälle nahezu vollständig durch den Menschen verursacht werden. Technische Systeme, die den Menschen bei der Fahraufgabe unterstützen oder diese zeitweise ganz übernehmen, können Unfälle vermeiden und die Folgen der nicht vermeidbaren Unfälle abmildern. Unfallforscher haben bereits erhebliche Risikoreduktionen durch Fahrerassistenzsysteme, also Systeme der Automatisierungsstufe 2, festgestellt und erwarten eine Zunahme des Effekts mit der technischen Weiterentwicklung und zunehmenden Verbreitung dieser Systeme.³⁷

Fahrerassistenzsysteme sind für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bisher nicht vorgeschrieben. Die verpflichtende Einführung bestimmter Notbremsassistenten ist in Europa für 2022 vorgesehen.³⁸

These: Die umfassende Verbreitung der Systeme im Markt wird voraussichtlich einem anderen bereits bekannten Mechanismus folgen. Verbraucherschutzorganisationen wie ADAC oder Euro NCAP befördern die Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen bereits jetzt dadurch, dass sie im ersten Schritt das bloße Vorhandensein benoten und spätestens, wenn sie eigene Testprogramme dafür entwickelt haben, im zweiten Schritt auch die Wirksamkeit der Systeme. Es ist absehbar, dass die Hersteller diese Systeme dann ab einer bestimmten Fahrzeugklasse serienmäßig verbauen, wie es z. B. bei Systemen zur elektronischen Stabilitätskontrolle der Fall war. Alternativ könnten sich Fahrerassistenzsysteme, ähnlich wie Airbags, zur Serienausstattung in allen Fahrzeugklassen entwickeln, weil bestehende Zulassungsregeln verschärft oder neue eingeführt werden, die ohne entsprechende Systeme nicht mehr erfüllbar sind. Der Kunde bezahlt mehr oder weniger bereitwillig für solche Sys-

teme, weil er – zumindest in den Industrieländern – Autos bevorzugt, die von den Verbraucherschutzorganisationen als besonders sicher eingestuft werden. Um den in Aussicht stehenden Sicherheitsgewinn durch Fahrerassistenzsysteme braucht man sich also nicht zu sorgen; das regeln Verbraucherschutzorganisationen, Hersteller und Kunden untereinander.

Komplizierter ist die Situation bei Systemen der Automatisierungsstufen 3 und 4 in Individualfahrzeugen.

These: Ihr Beitrag zu einer weiteren Erhöhung der Verkehrssicherheit dürfte eher gering ausfallen, weil das grundsätzlich vorhandene Sicherheitspotenzial durch die umfassende Verbreitung fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme bereits weitgehend ausgeschöpft sein wird. Gleichzeitig ist es, wie in Kapitel 3 bereits erwähnt, immer noch eine Herausforderung für technische Systeme, alle Fahraufgaben mindestens so gut zu erledigen wie der Mensch. Damit fehlt also für die Marktdurchdringung das Argument eines zusätzlichen Sicherheitsgewinns. Der Nutzen der Systeme liegt eher darin, dass der Fahrer sich zumindest zeitweise anderen Tätigkeiten zuwenden kann. Ein größerer Komfort für den Fahrer ist wohl gemerkt wünschenswert, rechtfertigt aber auch keine besondere öffentliche Förderung oder Unterstützung durch Verbraucherverbände. Unter Umständen kann mit solchen Systemen der Verbrauch gesenkt werden, wodurch sie der Nachhaltigkeit dienen würden. Allerdings verringert die Einführung entsprechender Systeme in Privatfahrzeugen weder die Zahl der Fahrzeuge noch die Fahrleistung. Man könnte sogar argumentieren, dass mehr Komfort eher noch mehr Individualverkehr nach sich zieht.

Wie steht es unter diesen Umständen um die Marktchancen von Systemen der Stufe 3 und 4 in Individualfahrzeugen?

These: In Automatisierungsstufe 3 ist der Kundennutzen, wie bereits diskutiert, noch überschaubar. Einfachere Systeme wie z. B. Stau- oder Autobahnpiлотen könnten allerdings von

37 https://ec.europa.eu/germany/news/20190326-abbiegeassistenten_de

38 <https://dmexco.com/de/stories/wie-autonome-lieferroboter-den-handel-umkrepeln-sollen/>

39 <https://www.absatzwirtschaft.de/uber-fahrt-nach-einem-skandaljahr-einen-verlust-von-45-milliarden-dollar-ein-125342/>

der Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen in zweierlei Hinsicht profitieren: Zum einen tragen Fahrerassistenzsysteme zur Kundenakzeptanz bei und wecken gleichzeitig das Interesse an Systemen der nächsten Automatisierungsstufe. Zum anderen bestehen die genannten Systeme im Wesentlichen aus den gleichen Komponenten wie Fahrerassistenzsysteme. Die Hersteller können so Skalierungseffekte nutzen. Die Systeme werden dadurch für Hersteller und Kunden gleichermaßen interessant und erreichen u. U. eine größere Verbreitung im Markt.

Technisch anspruchsvollere und damit komplexere Systeme der Automatisierungsstufen 3 oder 4 lassen sich in Individualfahrzeugen mit konventionellen E/E-Architekturen und mit dem begrenzten Horizont von Onboard-Sensoren vermutlich nicht sinnvoll darstellen. Ihre Verbreitung steht und fällt mit der Einführung von Zentralrechnern und der damit verbundenen Zunahme der Rechenleistung im Fahrzeug sowie mit der Einbindung von Informationen aus anderen Fahrzeugen, smarter Infrastruktur und externen IT-Systemen in die Fahrzeugführung. In den dazu erforderlichen digitalen Mobilitätsökosystemen werden darüber hinaus neuronale Netze und maschinelles Lernen zum Einsatz kommen, um die Komplexität und die große Menge der zu verarbeitenden Daten zu beherrschen.

Einzelne Hersteller können und wollen solche Ökosysteme nicht alleine schaffen. Längst haben sich klassische Fahrzeughersteller und Zulieferer mit Anbietern von Fahrdiensten und Technologieunternehmen zusammengeslossen, und fast täglich werden neue Zusammenschlüsse gemeldet. Es stellt sich daher gar nicht mehr die Frage, ob die New Economy oder die Old Economy das Rennen macht, sondern welches Konsortium mit seinem Ökosystem zuerst die Marktreife erlangt und welche Systeme sich am Ende durchsetzen werden. Darüber hinaus müssen sich die Unternehmen auf Standards einigen, um wettbewerbsfähig zusammenarbeiten und möglichst schnell möglichst viel Kundennutzen schaffen zu können. Die

Blaupause für diese Entwicklung liefert uns auch hier die Informations- und Kommunikationsbranche. Analog zu dem, was dort bereits stattfindet, sind auch beim automatisierten Fahren vielfältige Geschäftsmodelle vorstellbar: Der Kunde erhält z. B. Leistungen kostenlos für die Preisgabe von Daten oder er muss vor jeder Aktivierung einer Funktion Werbung akzeptieren. Er kann eine Flatrate für automatisiertes Fahren auf seinen täglichen Strecken und Extras buchen oder das All-Inclusive-Paket kaufen. Jeder muss dann für sich entscheiden, was er will, und die Anbieter müssen ihm die Möglichkeit dazu einräumen.

Ob Kunden sich darüber hinaus für Systeme der Stufe 5 interessieren werden, also Systeme, die überall alles automatisch können und komplett ohne Fahrer auskommen, ist schwer vorhersehbar.

These: Sicher wird der Preis eine Rolle spielen, und der dürfte zumindest bei Einführung relativ hoch sein. Zum anderen stellt sich die ganz grundsätzliche Frage: Sind Menschen bereit, sich ein Fahrzeug für die individuelle Nutzung anzuschaffen, das immer und überall ohne Fahrer auskommt und konsequenterweise auch über keine Bedienelemente verfügen würde? Würden Verbraucher solche Fahrzeuge zur individuellen Nutzung erwerben wollen? Ob sich ein Bedarf für Stufe 5 im Kontext der Mobilitäts- und Transportdienstleistungen ergibt, wird im folgenden Kapitel untersucht.

5.4 Mobilitäts- und Transportdienstleistungen und automatisiertes Fahren

Oren Harari, Wirtschaftsprofessor an der Universität von San Francisco und erfolgreicher Buchautor, hat uns die Erkenntnis hinterlassen: „*Das elektrische Licht ist nicht durch die ständige Verbesserung der Kerzen entstanden.*“ Übertragen auf unser Problem heißt das, dass die ständige Verbesserung der Autos den Individualverkehr nicht reduzieren wird. Stattdessen muss die Beförderung von Menschen und Gütern neu gedacht werden. Das gilt sowohl für urbane Ballungsräume, die im Verkehr zu ersticken drohen, als auch für das Umland und den ländli-

chen Raum oder die sog. Randzeiten, wo es allzu häufig an attraktiven Alternativen zum eigenen Auto fehlt.

Bevor wir zu speziellen Geschäftsmodellen kommen, soll zunächst geklärt werden, um welche Fahrzeuge es im Folgenden gehen wird. Wir beginnen mit den Fahrzeugen, die im Englischen als *People and Goods Mover* bezeichnet werden. Die Übertragung ins Deutsche – Fahrzeuge zur Personen- und Güterbeförderung – ist nicht nur sperrig, sondern auch ein wenig irreführend. Der wesentliche Vorteil der englischen Bezeichnung besteht darin, dass damit bereits eine vollautomatisierte, d. h. fahrerlose Beförderung assoziiert wird. Das gilt ebenso für die sog. *Robotertaxis*, die Menschen und Waren ohne Fahrer direkt vom Start zum Ziel bringen. Von fahrerlosem Fahren zu sprechen, erspart uns die wiederum wenig zielführende Diskussion darüber, ob es sich dabei um Automatisierungsstufe 4 oder 5 handelt. Wir gehen vielmehr davon aus, dass die eigentliche Dienstleistung fahrerlos erbracht werden soll. Ob das Fahrzeug außerhalb der Erbringung der Dienstleistung ebenfalls vollautomatisiert unterwegs ist oder von einem Fahrer gesteuert wird, der im Fahrzeug sitzt, mit einer Fernbedienung in dessen Nähe steht oder das Fahrzeug aus einer weiter entfernten Zentrale teleoperiert, ist dann unerheblich. Hinsichtlich der Fahrzeugklasse geht es hier zunächst um Pkw, Vans und leichte Nutzfahrzeuge. Allerdings zeichnet sich ab, dass künftig modulare Konzepte mit universellen Plattformen und speziellen Aufbauten für die verschiedensten Arten von Personen- und Güterbeförderung zum Einsatz kommen werden, die unsere herkömmlichen Vorstellungen von Fahrzeugklassen sprengen dürften. Insbesondere für den Warentransport ist das Spektrum des technisch Möglichen breit. Es erstreckt sich von kleinen Lieferrobotern bis zu autonom fahrenden Kiosken.³⁹ Abschließend werfen wir einen Blick auf die Automatisierung *schwerer Nutzfahrzeuge* und deren potenzielle Auswirkung auf den Personen- und Güterfernverkehr sowie auf den Einsatz entsprechender Fahrzeuge in speziellen Anwendungsfällen.

5.4.1 *People and Goods Mover
und Robotertaxis im Personen- und
Güternahtverkehr*

Ein wichtiges Geschäftsmodell, das Hersteller und Serviceanbieter heute bereits weltweit testen, betrifft die Beförderung auf der sog. ersten und letzten Meile. Das sind die Strecken, die uns vom nächsten Supermarkt oder von der nächstgelegenen Haltestelle des ÖPNV trennen und die uns oft genug verleiten, doch das eigene Auto zu nehmen. Hinter der ersten und letzten Meile steckt das aus der Logistik im großen Stil bekannte Nabe-Speiche-Konzept. Es besteht darin, Menschen und Waren schnell und in großer Zahl von Nabe zu Nabe zu befördern und speichenförmig zu diesen Naben hin- bzw. von dort wegzubringen.

Die Realität sieht speziell im ÖPNV allerdings anders aus. 18 Meter lange und bis zu 30 Tonnen schwere Gelenkbusse fahren durch dicht befahrene Innenstädte, halten alle 500 Meter an und schaffen es trotzdem nicht, die Menschen genau dort abzuholen, wo sie gerade sind, bzw. dort hinzubringen, wo sie hin wollen – ganz abgesehen davon, dass diese Busse im Berufsverkehr überfüllt, die restliche Zeit weitgehend leer unterwegs sind und am Abend den Betrieb oft ganz einstellen.

These: Die Lösung des Problems könnten z. B. Expressverbindungen mit möglichst wenigen Zwischenhalten und idealerweise mit variabler Kapazität sein. Auf der ersten und letzten Meile werden dann *People Mover* eingesetzt, die per App angefordert werden können und die Fahrgäste ohne räumliche und zeitliche Unterbrechungen und ohne Komfortverlust beim Wechsel des Verkehrsmittels befördern. Erste und letzte Meile liegen noch dazu oft in Gebieten mit geringer Komplexität des Verkehrs, also z. B. in Wohn- und Gewerbegebieten. Das reduziert die technologischen Herausforderungen, weil dort automatisierte Systeme eingesetzt werden können, die z. B. die Komplexität in dicht befahrenen Innenstädten womöglich noch nicht beherrschen würden. Hersteller von *People Mover* und Anbieter entsprechender Dienstleistungen können das

aber nicht allein bewerkstelligen. Die Beförderung zwischen den Naben eines solchen Systems müssen zunächst noch die „klassischen“ Verkehrssysteme leisten. Bei der Schaffung des ordnungspolitischen Rahmens ist die Politik gefordert – beginnend bei internationalen oder mindestens nationalen Zulassungsregeln für die Fahrzeuge bis hin zu regionalen und kommunalen Regelungen für den Einsatz in definierten Betriebsbereichen. Darüber hinaus bedarf es einer attraktiven Preisgestaltung und kundenfreundlicher Bezahlförmigkeiten. Wenn all diese Voraussetzungen erfüllt sind, haben gut funktionierende multimodale Systeme unter Einbeziehung fahrerloser Fahrzeuge auf der ersten und letzten Meile das Potenzial, den Individualverkehr deutlich zu reduzieren.

Im beschriebenen Einsatzgebiet haben auch *Robotertaxis* ihre Berechtigung. Sie sind z. B. für den Rückweg vom Großeinkauf aus dem Supermarkt interessant, weil sich mit ihnen Umstiege erübrigen, die unter diesen Umständen selbst in gut funktionierenden multimodalen Nahverkehrssystemen zu unkomfortabel wären. Noch deutlicher zeigt sich der Bedarf an Direktverbindungen bei der Warenlieferung. Grundsätzlich ist das Nabe-Speiche-Konzept zwar auch dort anwendbar, dann aber muss das Umladungsproblem gelöst sein.

Mit Blick auf die Nachhaltigkeit ist auch von Bedeutung, dass in den Flotten von Mobilitäts- und Transportdienstleistern voraussichtlich modernere und damit umweltverträglichere Fahrzeuge zum Einsatz kommen als im Individualverkehr und der Fahrzeugbestand häufiger erneuert wird. Idealerweise handelt es sich um Fahrzeuge, die keine fossilen Kraftstoffe verbrennen.

Auf potenzielle Hürden weisen die folgenden zwei Fragen hin:

- Führen fahrerlose Mobilitäts- und Transportdienstleistungen zu weniger Verkehr?
Heute ist zu beobachten, dass das Teilen von Fahrzeugen (Carsharing) nicht zu weniger, sondern zu mehr Verkehr in Ballungsräumen geführt

40 <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/mobilitaetservices/share-now-endet-nordamerika/>

41 <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/automotive-mobility/deutsche-carsharing-anbieter-stehen-vor-einem-riesigen-dilemma/>

42 https://www.automobilwoche.de/article/20210514/NACHRICHTEN/210519977/1276/vwn-moia-und-argo-autonomer-e-bulli-ab-in-hamburg-im-einsatz?utm_source=mailchimp&utm_medium=newsletter&utm_campaign=nachrichten

43 https://ec.europa.eu/germany/news/20190326-abbiegeassistenten_de

hat. Für Mobilitätsdienstleister sind nämlich gerade die Gebiete interessant, in denen es möglichst viele Nutzer gibt. Dort treten sie in Konkurrenz zum öffentlichen Nahverkehr, der genau dort üblicherweise bereits Angebote unterbreitet. Auch das Bestellen des Fahrzeugs per App (Ridehailing) oder das Sammeln von Menschen, die in die gleiche Richtung fahren (Ridepooling), lösen das Problem nicht. Der ländliche Raum geht leer aus und der Bedarf in sog. Randzeiten bleibt unberücksichtigt.

These: Um Mobilitätsdienstleistungen voranzubringen, die solche Lücken schließen, ist im ersten Schritt eine entsprechende Förderung und/oder Regulierung denkbar. Dauerhaft hilft aber nur, Fahrzeuge, Services und Infrastrukturen zu entwickeln, mit denen sich das für Hersteller, Betreiber und Kunden gleichermaßen attraktiv darstellen lässt. Technisch ist das sicher dort am einfachsten zu lösen, wo Lebens- und Arbeitsräume ganz neu entstehen und eine geeignete Infrastruktur gleich mitgeplant werden kann. Dabei sind neben Herstellern, Technologieunternehmen, Mobilitätsdienstleistern und Politik z. B. auch Stadtplaner und Bauträger gefragt.

- Rechnet sich das?
Bereits existierende Fahrdienstvermittler wie Uber und Lyft haben bisher keine guten Geschäftsergebnisse erzielt.⁴⁰ Mobilitätsdienstleister wie Clevershuttle und Moia sind auf Sparkurs, andere haben aufgegeben. Die Sharing-Dienste car2go von Daimler und DriveNow von BMW waren nicht profitabel. Trotz des Zusammenschlusses zum nach eigener Aussage weltgrößten Anbieter Share Now hat sich der Dienst nach nur einem Jahr aus Nordamerika und drei europäischen Städten zurückgezogen.⁴¹

Auch mit dem stationslosen Free-Floating ließ sich bisher kein Geld verdienen. Dies liegt u. a. am personellen Aufwand für das Einsammeln der Fahrzeuge aus dem Geschäftsgebiet für die Pflege und Instand-

haltung und die anschließende Rückführung ins Geschäftsgebiet. Im fahrerlosen Fahren steckt eine potenzielle Lösung des Problems. Eine Alternative könnte künftig auch teleoperiertes Fahren darstellen.

Die gerade entstehende Gesetzgebung sieht für fahrerloses Fahren in festgelegten Betriebsbereichen eine technische Aufsicht vor. Damit ist zwar ein gewisser Aufwand verbunden, aber dadurch, dass die Fahrer eingespart werden, könnte es sich dennoch rechnen. Diese Erwartung wird offensichtlich auch von potenziellen Anbietern geteilt. So setzen sich z. B. VW Nutzfahrzeuge, Moia und Argo AI zum Ziel, mit der autonomen Version des ID.Buzz ab 2025 kommerzielle Einsätze bei Fahr- und Zustelldiensten zu ermöglichen.⁴²

Die Einsparung der Fahrer erlaubt es darüber hinaus, auch Fahrzeuge mit geringer Kapazität wirtschaftlich einzusetzen. So kann flexibel auf wechselnden Bedarf reagiert werden, und auch in den bereits als problematisch identifizierten ländlichen Räumen und in Randzeiten lassen sich Transport- und Mobilitätsdienstleistungen wirtschaftlich sinnvoll darstellen. Für die Beförderung von Nabe zu Nabe werden definitionsgemäß eher Fahrzeuge mit höherer Kapazität eingesetzt. Fahrerloses Fahren ist dort aus betriebswirtschaftlicher Sicht wahrscheinlich weniger interessant, obwohl es technisch auf der Schiene sogar einfacher wäre als auf der Straße.

5.4.2 Schwere Nutzfahrzeuge im Personen- und Güterfernverkehr

Interessant ist ein Blick auf die Automatisierung *schwerer Nutzfahrzeuge*, die überwiegend im Personen- und Güterfernverkehr eingesetzt werden. Im Unterschied zu Pkw und leichten Nutzfahrzeugen sind für diese Fahrzeuge in Europa mit dem automatischen Notbremsensystem und dem Spurverlassenswarner bereits Systeme der Automatisierungsstufe 2 vorgeschrieben. Die verpflichtende Einführung von Abbiegeassistenten für neue Fahrzeugtypen soll 2022 erfolgen, für alle

neuen Fahrzeuge dann im Jahr 2024.⁴³ Wegen der schwerwiegenden Folgen von Unfällen mit diesen Fahrzeugen und der erwartungsgemäß großen Wirkung der genannten Assistenzsysteme sorgt der Gesetz- und Verordnungsgeber für deren Einführung und Verbreitung. Höhere Automatisierungsgrade bringen wahrscheinlich auch hier keine nennenswerten zusätzlichen Sicherheitsgewinne.

These: Für Speditionen wird das Thema automatisiertes Fahren erst dann interessant, wenn die Technologie soweit fortgeschritten ist, dass die automatisiert gefahrene Zeit nicht auf die Lenkzeit angerechnet werden muss, weil der Fahrer tatsächlich Pause machen oder sogar schlafen darf. Ob das unter sozialen Aspekten erstrebenswert ist und ob es den Job attraktiver macht, soll hier nicht vertieft werden.

Besonders lukrativ wird es im Personen- und Güterfernverkehr erst, wenn Fahrzeuge über ausreichend lange Strecken ohne Fahrer unterwegs sein können oder gar keine Fahrer mehr benötigt würden. Als erster Schritt dazu wird oft das sog. Platooning ins Feld geführt. Dabei wird auf einer Autobahn das erste Fahrzeug des Platoons von einem Fahrer gefahren, die folgenden Fahrzeuge sind mithilfe elektronischer Systeme angekoppelt. Neben der Einsparung der Fahrer in den Folgefahrzeugen liegt ein weiterer Vorteil in Kraftstoffeinsparungen. Durch die Leistungsfähigkeit der elektronischen Regelung können sich die Fahrzeuge in sehr geringem Abstand folgen und so im Windschatten des vorausfahrenden Fahrzeugs fahren. Abgesehen davon, dass dafür Gesetze und Verordnungen zu ändern wären, müsste ein solcher Platoon vor jeder Autobahnanschlussstelle auseinandergezogen werden, damit andere Verkehrsteilnehmer ab- und auffahren können. Danach könnte er wieder zusammengezogen werden. Ob dies bei den Abständen zwischen Anschlussstellen in Mitteleuropa und der Verkehrsdichte technisch machbar ist und ob bei dem häufigen Auseinander- und Zusammenziehen tatsächlich eine Kraftstoffeinsparung zu erzielen ist, darf zu Recht infrage gestellt werden.

In Gebieten mit großen Strecken zwischen den Anschlussstellen und geringem Verkehrsaufkommen kann Platooning sinnvoll sein.

Unter Nachhaltigkeitsaspekten erscheint es sinnvoller, die Alternativen zum Straßenverkehr attraktiver zu machen.

5.4.3 Schwere Nutzfahrzeuge in speziellen Einsatzbereichen

Für schwere Nutzfahrzeuge gibt es spezielle Einsatzbereiche, innerhalb derer vollautomatisches Fahren durchaus seine Berechtigung hat. Auch wenn es sich dabei nicht um Mobilitäts- und Transportdienstleistungen im engeren Sinne handelt, sollen diese Anwendungen der Vollständigkeit halber erwähnt werden. In Güterumschlagzentren, Häfen, Flughäfen, Bergwerken, Tagebauen und in der Land- und Forstwirtschaft fahren Schlepper, Hebezeuge, Arbeits-, Land- und Forstmaschinen etc. bereits erfolgreich fahrerlos, entweder teleoperiert oder vollautomatisch. Bezeichnenderweise sind das Einsatzgebiete mit geringer Komplexität. Darüber hinaus handelt es sich um privaten Grund, auf dem der Betreiber eigene Regeln aufstellen kann, z. B. indem er fahrerlosen Fahrzeugen eigene Trassen gibt und Vorrang vor anderen Verkehrsteilnehmern einräumt.

5.5 Fazit zu Geschäftsmodellen für das automatisierte Fahren

Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme der Automatisierungsstufe 2 können erheblich zur Verkehrssicherheit beitragen. In schweren Nutzfahrzeugen sind sie deshalb bereits vorgeschrieben. In Pkw und leichten Nutzfahrzeugen werden sie – ähnlich wie ESC und Airbag – eine große Verbreitung finden, ohne dass der Gesetzgeber nachhelfen müsste.

Es ist m. E. unwahrscheinlich, dass Systeme höherer Automatisierungsstufen die Sicherheit darüber hinaus nennenswert erhöhen. Damit fehlt dieser Hebel für deren Verbreitung im Markt. Erste einfache Systeme der Automatisierungsstufe 3 könnten von der Verbreitung der Fahrerassistenzsysteme profitieren.

Langfristig wird die Attraktivität und damit die Verbreitung komplexer hochautomatisierter Fahrfunktionen maßgeblich davon abhängen, wie schnell und wie gut es gelingt, dafür geeignete Ökosysteme zu implementieren und sich herstellerübergreifend auf Standards zu einigen, um möglichst hohen Kundennutzen zu generieren. Weniger Fahrzeuge oder weniger Fahrten lassen sich durch die Einführung von Systemen zum automatisierten Fahren in Individualfahrzeugen nicht erreichen. Für Mobilitäts- und Transportdienstleister lässt sich aus diesen Systemen kaum Nutzen ziehen.

Mit Systemen der Automatisierungsstufe 4 lassen sich Fahrer zumindest in den jeweiligen Anwendungsbereichen ersetzen.

Für Systeme der Automatisierungsstufe 5 ist derzeit weder im Individualverkehr noch im Bereich der Mobilitäts- und Transportdienstleistungen ein erfolgversprechendes Geschäftsmodell in Sicht.

6 Die nächste Dimension des automatisierten Fahrens

6.1 Digitalisierung und Konnektivität

Den Analysten von CB Insights zufolge arbeiten weltweit mehr als 40 Großunternehmen an „straßentauglichen selbstfahrenden Fahrzeugen“.⁴⁴ Um ihren Kunden maximalen Nutzen bieten zu können, müssen diese Unternehmen nicht nur die Fahrzeuge entwickeln, sondern auch die zugehörigen digitalen Mobilitätsökosysteme. Diese Ökosysteme vernetzen Fahrzeuge miteinander, mit smarten Infrastrukturelementen sowie externen Informations- und Kommunikationssystemen. Den damit verbundenen finanziellen und technologischen Aufwand sowie die technologischen Risiken kann ein Unternehmen nicht alleine stemmen. Bevor die vernetzte Mobilität Realität wird, kann man daher zunächst eine bisher kaum vorstellbare Vernetzung der an deren Entwicklung beteiligten Unternehmen beobachten. Einen Eindruck von dem Beziehungsgeflecht vermittelt Grafik 3 der Fondsgesellschaft Firstmile VC.⁴⁵

44 <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>

45 <https://medium.com/@firstmilevc/avlandscape-8a21491f1f54>

46 Kortus-Schultes, 2017, *Das Auto als weiteres ‚device‘ in der Cloud. Big Data, Geschäftsmodelle und Kooperationen in neuen/neuartigen Ökosystemen*, in: Proff, Fojcik (eds.), *Innovative Produkte und Dienstleistungen in der Mobilität*. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18613-5_7

47 Fischer, *Verkehrssituationen verstehen mit künstlicher Intelligenz*. ATZ Extra 24, 16–19, 2019. <https://doi.org/10.1007/s35778-019-0003-9>

48 Wachenfeld, *Winner: Lernen autonome Fahrzeuge?* In: Maurer (Hrsg.), *Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Verlag, Berlin 2015.

Über die Aussagekraft solcher Darstellungen lässt sich streiten. Es zeigt sich jedoch: Bedeutende Unternehmen der Technologie-, Informations- und Kommunikationsbranche, E-Commerce-Anbieter, Mobilitäts- und Transportdienstleister bündeln ihre Kräfte mit denen der klassischen Automobilhersteller, die miteinander kooperieren, obwohl sie in gegenseitigem Wettbewerb stehen. Die beteiligten Unternehmen investieren hohe Summen in diese Kooperationen. Es zeigt sich, dass die oft als verschlafen gescholtene europäische und insbesondere die deutsche Automobilindustrie als bestens vernetzt gelten dürfen.

Was Fahrzeughersteller sowie Mobilitäts- und Transportdienstleister dazu bewegt, sich für das automatisierte Fahren zu engagieren, ist relativ klar und wurde in den vorangegangenen Kapiteln untersucht. Doch was treibt die Digitalunternehmen an? Was bringt es ihnen, dass das Auto auf diesem Wege zu einem weiteren „Device“ in der Cloud wird?⁴⁶ Folgen die Digitalunternehmen ihren bisherigen Grundprinzipien, dürften sie weniger an der Herstellung von Fahrzeugen oder an Mobilitäts- und Transportdienstleistungen interessiert als vielmehr an der Zeit des Nutzers im und um das Fahrzeug sowie am Verkauf ihrer digitalen Angebote. Darüber hinaus treibt sie sicher auch die Erwartung, auf diesem Wege Daten zu gewinnen, mit denen sie ihre Angebote noch genauer auf die Kunden zuschneiden können. Es wird

spannend zu beobachten, wohin die Konnektivität im Kontext des automatisierten Fahrens tatsächlich führen wird und vor allem, welcher Mehrwert für die Kunden entstehen wird.

6.2 Künstliche Intelligenz

Bereits in Kapitel 5 wurde festgestellt, dass in den digitalen Mobilitätsökosystemen künstliche Intelligenz (KI) in Gestalt neuronaler Netze und maschinellen Lernens zum Einsatz kommen wird, um die Komplexität und die große Menge der zu verarbeitenden Daten zu beherrschen, weil dies mit deterministischen Systemen nicht mehr leistbar ist.

Aber wo liegen die Grenzen deterministischer Systeme und warum benötigen wir KI? Fischer⁴⁷ macht deutlich, dass bestehende Systeme zum automatisierten Fahren zwar akzeptable Erkennungsraten erreichen, aber noch weit weg von einem Szenenverständnis agieren. Ihr Auswertalgorithmus beschränkt sich mehr oder weniger auf simple Mustervergleiche und Plausibilitätschecks zur Erkennung bestimmter vordefinierter Objekte. Wird das Umfeld komplexer, stoßen heutige Systeme schnell an ihre Grenzen. So ist es derzeit z. B. noch nicht mit der nötigen Verlässlichkeit möglich, für ein innerstädtisches Kreuzungsszenario ein adäquates Szenenverständnis aufzubauen und dauerhaft aufrechtzuerhalten. Was KI leisten kann und für die Realisierung höherer Automatisie-

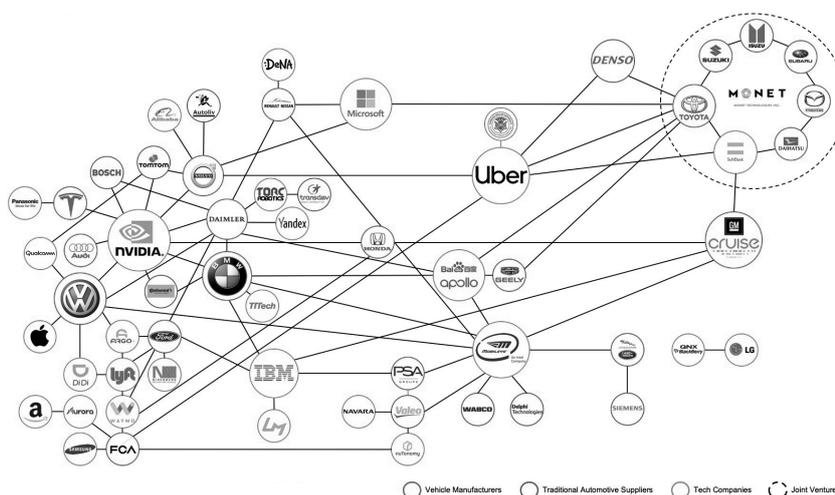
rungsstufen bis hin zum autonomen Fahren auch leisten muss, ist die Bezugnahme auf geeignet repräsentiertes semantisches Wissen, das Referenzieren auf ein episodisches Gedächtnis und die Fähigkeit, aus der Verbindung von beidem eigene logische Schlüsse zu ziehen. Es geht also darum, die Verarbeitungsprozesse am Vorbild des Menschen auszurichten und zukünftigen technischen Systeme vergleichbare Fähigkeiten zu verleihen.

Zur Bild- und Spracherkennung haben sich KI-Systeme in Fahrzeugen bereits bewährt. Solange die Systeme nur vor dem Inverkehrbringen lernen und anschließend unverändert bleiben, ähnelt ihre Absicherung der von deterministischen Systemen. Interessant wird es, wenn KI-Systeme kontinuierlich lernen und ihr Verhalten im laufenden Betrieb adaptieren. Wachenfeld und Winner⁴⁸ zeigen zwei grundsätzliche Möglichkeiten auf, um kontinuierlich lernende Systeme abzusichern.

- Online-Verifikation und -Validierung Im Gegensatz zum klassischen Vorgehen der Verifikation und Validierung während des Entwicklungsprozesses wendet das System Verifikations- und Validierungsmethoden während des Betriebs an. Wird eine Adaption des Systems erkannt, ist diese zu prüfen, bevor sie auf die ausführende Software angewandt wird. Konkret bedeutet dies, dass vor Implementation der Änderung online überprüft werden muss, ob die resultierende Fahrzeugführung zu einem unsicheren Zustand führt.

- Monitoring und Fehlertoleranz Ist eine Überprüfung der Sicherheit des Systems vor Aktualisierung der Software nicht möglich, ist das System fehlertolerant auszulegen. Ein fehlertolerantes System muss zum einen die Zustände und das Verhalten des Systems überwachen (Monitoring) und bewerten, ob ein Fehler vorliegt, der zu einem unsicheren Zustand führt. Zum anderen wird mindestens eine Rückfallebene benötigt, die im Fehlerfall die Systemfunktion übernimmt.

Grafik 3 – Notable Autonomous Driving Partnerships



Quelle: Decoding the Autonomous Driving Landscape July 2019, Firstmile, www.firstmile.de

Mit den in Kapitel 2 diskutierten Zentralrechnerarchitekturen kann die dazu erforderliche Redundanz und Diversität sowohl HW- als auch SW-seitig dargestellt werden. Die Konnektivität der Fahrzeuge erlaubt es u. U., die Absicherung oder zumindest die Konsolidierung des Erlernten auch außerhalb des Fahrzeugs durchzuführen.

6.3 Fazit zur Zukunft des automatisierten Fahrens

Digitalisierung und Konnektivität eröffnen dem automatisierten Fahren i. V. mit künstlicher Intelligenz nahezu unbegrenzte Möglichkeiten. Die Technologie hat das Potenzial, unsere Arbeits- und Lebenswelt ebenso gründlich zu verändern, wie es das Internet bereits getan hat.

Wie weit dieses Potenzial ausgeschöpft wird, ist schwer vorhersagbar, weil die Entwicklung der dazu erforderlichen digitalen Mobilitätsökosysteme noch am Anfang steht. Der Aufwand und die hohen Summen, die die daran beteiligten Unternehmen in ihre Kooperationen zum automatisierten Fahren investieren, zeigen, dass sie offensichtlich entschlossen sind, der Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Damit in Zusammenhang stehende Produkte und Dienstleistungen werden sich am Markt nur dann durchsetzen, wenn der Nutzen für Individuen oder Gesellschaft in vernünftiger Relation zu den Kosten steht.

7 Resümee

Die Einführung des automatisierten Fahrens hat sich technisch als nicht ganz so einfach erwiesen und ist auch nicht ganz so schnell verlaufen, wie es die Öffentlichkeit zu Beginn der Entwicklung erwartet hat. Ungeachtet dessen ist die Technologie heute Realität und wird in den nächsten Jahren neue Dimensionen annehmen. Für die Einführung des automatisierten Fahrens mussten bzw. müssen auch künftig die jeweiligen Zulassungsvoraussetzungen geschaffen und erforderlichenfalls weiterentwickelt werden. Für die erfolgreiche Verbreitung entsprechender Systeme ist von entscheidender Bedeutung, dass sie nicht nur Kunden-

nutzen erzeugen, sondern vor allem der Sicherheit und der Nachhaltigkeit dienen. Über dieses allgemeine Resümee hinaus lässt sich für die einzelnen Automatisierungsstufen feststellen:

Systeme der **Automatisierungsstufen 1 und 2** (Fahrerassistenzsysteme) werden heute bereits von vielen Fahrzeugherstellern angeboten und haben sich bewährt. Sie tragen erheblich zur Verkehrssicherheit bei, weil sie genau da ansetzen, wo der Mensch Unterstützung benötigt – z. B. bei der präzisen Ausführung von Routineaufgaben oder beim Bewältigen monotoner Fahraufgaben. In schweren Nutzfahrzeugen sind sie deshalb bereits vorgeschrieben. In Pkw und leichten Nutzfahrzeugen werden sie – ähnlich wie elektronische Stabilitätskontrolle und Airbag – Verbreitung finden, ohne dass der Gesetzgeber nachhelfen müsste.

Erste Systeme der **Automatisierungsstufe 3** (hochautomatisiertes Fahren) stehen unmittelbar vor ihrer Markteinführung. Mehrere Hersteller haben Autobahn- und Staupiloten für dieses und nächstes Jahr angekündigt. Die Methoden zur Absicherung entsprechender Systeme sind inzwischen entwickelt und die für ihre Zulassung erforderlichen nationalen und internationalen Regularien in Kraft. Dabei müssen die Systeme der ersten Generation den Spagat bewältigen zwischen einem durch die Verbreitung der Fahrerassistenzsysteme gewachsenen Interesse an der Technologie und zunächst noch geringem Kundennutzen.

Um komplexere hoch- oder sogar vollautomatisierte Fahrfunktionen technisch umsetzen zu können, wird die bisherige Praxis der verteilten Funktionsentwicklung, bei der jede Funktion im Fahrzeug ihr eigenes Steuergerät bekommt, Zentralrechnerarchitekturen weichen, in denen Redundanz und Diversität durch geeignete Hard- und Softwarelösungen erreicht werden. Langfristig wird die Attraktivität und damit die Verbreitung entsprechender Fahrfunktionen im Individualverkehr aber maßgeblich davon abhängen, wie gut es gelingt, dafür geeignete digitale Mobilitätsökosysteme zu implemen-

tieren, die möglichst hohen Kundennutzen generieren. Technologieunternehmen bündeln dazu gerade ihre Kräfte mit der klassischen Automobilindustrie, deren Unternehmen darüber hinaus intensiv miteinander kooperieren. Weniger Fahrzeuge oder weniger Fahrten lassen sich durch die Einführung von Systemen zum automatisierten Fahren im Individualverkehr allerdings nicht erreichen, und Mobilitäts- und Transportdienstleister können daraus kaum Nutzen ziehen, weil in Stufe 3 immer noch Fahrer erforderlich sind.

Mit Systemen der **Automatisierungsstufe 4** (vollautomatisiertes Fahren) lassen sich Fahrer zumindest in den jeweiligen Anwendungsbereichen ersetzen. Im Individualverkehr entsteht dadurch m. E. kein unmittelbarer wirtschaftlicher Nutzen. Für Mobilitäts- und Transportdienstleister liegt der wirtschaftliche Nutzen des fahrerlosen Fahrens auf der Hand. Mit seiner Hilfe können entsprechende Dienstleistungen als Alternativen zum Individualverkehr auch dort angeboten werden, wo es heute noch unwirtschaftlich ist, z. B. im ländlichen Raum und in Randzeiten. In Ballungsräumen wird es vor allem von der Attraktivität multimodaler Nahverkehrssysteme unter Einbeziehung fahrerloser Fahrzeuge im Bereich der ersten und letzten Meile abhängen, ob und in welchem Umfang dadurch Individualverkehr reduziert werden kann. In den Flotten von Mobilitäts- und Transportdienstleistern werden darüber hinaus modernere und damit umweltverträglichere Fahrzeuge zum Einsatz kommen als im Individualverkehr. Für die Verbreitung entsprechender Dienstleistungen muss über die Fahrzeuge hinausgedacht werden. Neben Automobilindustrie, Technologieunternehmen, Mobilitäts- und Transportdienstleistern und dem Gesetz- und Ordnungsgeber sind dabei z. B. auch Stadtplaner und Bauträger gefordert sowie Hersteller und Händler, die Lieferdienste einsetzen. Internationale Gremien arbeiten noch an entsprechenden Regulierungen. Deutschland ist das erste Land der Welt mit einem Gesetz für die reguläre Zulassung fahrerloser Fahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen. 2022 sollen erste Genehmigungen erteilt

werden. Dies wird zum einen die Position Deutschlands in diesem Technologiefeld stärken und zum anderen die Verbreitung der Technologie national, aber auch international befördern.

Für Systeme der **Automatisierungsstufe 5** sind derzeit weder im Individualverkehr noch im Bereich der Mobilitäts- und Transportdienstleistungen erfolgversprechende Geschäftsmodelle in Sicht. Im Individualverkehr hat der komplette Verzicht auf Fahrer kaum wirtschaftlichen Nutzen. Dass damit z. B. Kinder, Menschen mit Behinderungen oder wegen Einnahme von Medikamenten oder Alkohol zeitweise fahrunfähige individuell befördert werden könnten, motiviert aus Sicht des Autors weder Hersteller noch Kunden ausreichend, entsprechende Fahrzeuge zu entwickeln bzw. zu kaufen. Im Bereich der Mobilitäts- und Transportdienstleistungen reicht es im Wesentlichen aus, wenn die Fahrzeuge in den festgelegten Betriebsbereichen – z. B. auf der ersten und letzten Meile – fahrerlos fahren. Wie oder durch wen Fahrzeuge außerhalb dieser Betriebsbereiche operiert werden, ist eher nachrangig. Der Einsatz fahrerloser Nutzfahrzeuge im Personen- und Güterfernverkehr könnte bei einem entsprechenden Reifegrad der Technologie betriebswirtschaftlich interessant sein. Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten in diesem Bereich eher die Alternativen zum Straßenverkehr attraktiver gestaltet werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es fraglich, ob es in absehbarer Zeit gesetzlicher Regelungen für Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 5 bedarf.

In Zukunft eröffnen Digitalisierung und Konnektivität i. V. mit künstlicher Intelligenz dem automatisierten Fahren nahezu unbegrenzte technische Möglichkeiten. Fahrzeuge und die mit ihnen zu erbringenden Dienstleistungen werden Bestandteile des „Internets der Dinge“. Die ganz am Anfang dieses Beitrags abgegebene Prognose, dass das Transformationspotenzial des automatisierten Fahrens vergleichbar sei mit dem der Informations- und Kommunikationstechnologie, erscheint vor diesem Hintergrund nicht besonders gewagt. Wenn aber die techno-

logischen Möglichkeiten scheinbar unbegrenzt sind, rückt im Gegenzug die Frage nach der individuellen und gesellschaftlichen Akzeptanz in den Fokus. Eine notwendige Voraussetzung für die Zulassung von Systemen zum automatisierten Fahren sieht die *Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren* darin, dass diese im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zu einer Verminderung von Schäden i. S. einer positiven Risikobilanz führen. Bei Vorliegen einer solchen grundsätzlich positiven Risikobilanz stehen technisch unvermeidbare Restrisiken einer Einführung nicht entgegen. Ein valider statistischer Nachweis, dass automatisierte Fahrzeuge die in sie gesetzten Sicherheitserwartungen tatsächlich erfüllen und sich im realen Betrieb bewähren, lässt sich vor ihrer Markteinführung nicht erbringen. Deshalb kommt den Maßnahmen zur Produktbeobachtung und zur Marktüberwachung eine besondere Bedeutung zu. Hinsichtlich der speziellen Eigenschaften automatisierter Fahrfunktionen weisen die dazu heute angewendeten Methoden systematische Schwächen auf. Diese gilt es vor Einführung neuer Systeme zu beseitigen und darüber hinaus Konzepte zur Gewährleistung der Sicherheit im gesamten Lebenszyklus zu erarbeiten. Mit Blick auf die unmittelbar bevorstehende Markteinführung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren und die Möglichkeit der nationalen Zulassung autonomen Fahrens in festgelegten Betriebsbereichen besteht hier dringender Handlungsbedarf. Hersteller, Mobilitäts- und Transportdienstleister, Sachverständigenorganisationen und Zulassungsbehörden stehen vor der Aufgabe, eine geeignete Plattform zu schaffen, die die Einführung der Systeme hersteller- und technologieunabhängig begleitet.

Impressum

Herausgeber:

General Reinsurance AG
Theodor-Heuss-Ring 11, 50668 Köln
de.genre.com

Redaktion: RAin Nina Dahm-Loraing
(verantwortlich), Alexander Eistert,
RA Dr. Thomas Fausten, Richard Wieczorek

Anschrift der Redaktion:

Theodor-Heuss-Ring 11, 50668 Köln
Telefon (0221) 9738 650
Fax (0221) 9738 453
E-Mail rlorain@genre.com

© General Reinsurance AG 2021

Die veröffentlichten Beiträge genießen urheberrechtlichen Schutz, solche mit Angabe des Verfassers stellen nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers oder der Redaktion dar.