

## Fachinformation

### Autonomes Fahren

**Verbesserung der Verkehrssicherheit oder neue Gefahrenquelle? Steigerung von Komfort und Produktivität oder Entmündigung des Autofahrers? Fahrerlose Autos polarisieren – für Verbraucher verfügbar sind sie auch nach mehreren Jahrzehnten der Entwicklung nicht wirklich. Wie weit sind autonome, aber auch automatisierte und assistierte Fahrzeugfunktionen im Jahr 2023?**

Diese Fachinformation gibt einen Überblick zu den Themen, Anwendungen im Pkw, Potenziale für den Lkw, Einsatzmöglichkeiten im Linienverkehr sowie in nicht öffentlichen Standorten.

#### Einleitung

Die Erwartungen an das ‚Autonome Fahren‘ sind hoch. Es soll die Verkehrsprobleme der Gegenwart lösen, negative Klima- und Umweltwirkungen des Verkehrs reduzieren, Unfälle verhindern und barrierefreie, bezahlbare Mobilität für alle ermöglichen. In die Argumentation werden gerne alle Megatrends der Automobilindustrie einbezogen: die Elektrifizierung des Antriebsstrangs, die Digitalisierung und Vernetzung aller Komponenten und Fahrzeuge, sowie die zunehmende Automatisierung von Prozessen.

Diese Entwicklungen finden zeitgleich statt und stehen in der Öffentlichkeit sinnbildlich für den Fortschritt der Mobilität. Demnach muss ein modernes Auto vernetzt, autonom und elektrisch sein. Oftmals findet man tatsächlich mehrere dieser Merkmale in Konzeptfahrzeugen wie auch in neuen Serienmodellen, obgleich die tatsächlichen Abhängigkeiten begrenzt sind.

Die vorrangig aus Klimaschutzgründen vorangetriebene Elektrifizierung des Antriebsstrangs ist die größte Veränderung, welche die gesamte Fahrzeugindustrie gegenwärtig prägt. Vom Fahrrad bis zum Lkw ziehen teil- und vollelektrische Antriebe in alle Fahrzeugklassen ein. Die angestrebten Verbesserungen beim Klima- und Umweltschutz gehen nahezu vollständig auf das Konto der Elektrifizierung; der Beitrag der Vernetzung und Automatisierung ist vergleichsweise gering. Die Elektrifizierung des Antriebs ist jedoch keine Voraussetzung für die Automatisierung der Fahrzeugsteuerung.

Weniger spektakulär, aber genauso konsequent hält die Digitalisierung und Vernetzung Einzug in alle Fahrzeugkategorien. Vom eScooter bis zum

Mähdrescher haben die Fahrzeuge heute mobilen Internetzugang und können dadurch mit den Rechenzentren ihrer Hersteller oder Flottenbetreiber kommunizieren. Das ermöglicht Komfortfunktionen und Infotainment, Flottenmanagement, prädiktive Wartung und neue Mobilitätsdienstleistungen, regelmäßige Softwareupdates und – zumindest im Prinzip – Verbesserungen des Verkehrsablaufs auf der Straße. Die Vernetzung ist eine (schwache) Voraussetzung für Elektrifizierung und Automatisierung. Fahrzeuge kommen (zumindest für begrenzte Zeit) auch ohne Internetzugang zurecht.

Der Begriff der Automatisierung schließt implizit alle Formen der Prozessautomatisierung ein. Dabei wird oftmals ausgeblendet, dass Automatisierung schon seit Jahrzehnten im Auto Einzug hält; Beispiele sind die Automatikschaltung, die Kennfeld-Steuerung des Motors oder der automatische Sendersuchlauf im Radio. Heute versteht man darunter vor allem komfortorientierte, in die Fahrzeugsteuerung eingreifende Fahrerassistenzsysteme, wie den Abstandsregeltempomat und Spurhalteassistent, Einparkfunktionen, den Stau- oder AutobahnpiLOT und natürlich alle Anwendungen des fahrerlosen oder autonomen Betriebes. Auf die Verkehrssicherheit zahlen vor allem die Fahrerassistenzsysteme ein. Ob die Automatisierung die Erwartungen an barrierefreie, bezahlbare Mobilität für alle erfüllen kann, muss die Zukunft zeigen.

#### Rechtsrahmen für die Automatisierung der Fahraufgabe

##### Assistiertes Fahren (SAE Level 0, 1, 2)

Das deutsche Straßenverkehrsgesetz (StVG) und die Straßenverkehrsordnung (StVO) bauen seit

# Fachinformation Autonomes Fahren

über hundert Jahren auf der Vorstellung auf, dass jedes (Kraft-)fahrzeug, welches am Straßenverkehr teilnimmt, von einem menschlichen Fahrzeugführer gesteuert und kontrolliert wird. Der Fahrzeugführer hat die Verantwortung für alle Fahrmanöver seines Fahrzeugs und ist persönlich für die Folgen der Fahrt verantwortlich. Es obliegt ihm, alle Verkehrsregeln einzuhalten.

Seit Mitte der 1990 Jahre kamen sicherheitsorientierte Fahrerassistenzsysteme auf den Markt, die unmittelbar auf die Fahrdynamik wirken. Es stellte sich die Frage, ob der Fahrzeugführer bei einem Eingriff des Antiblockiersystems (ABS) oder der elektronischen Stabilitätskontrolle (ESC) noch die geforderte Kontrolle über sein Fahrzeug behält. Falls nicht, wäre er möglicherweise nicht mehr verantwortlich für die Folgen des Fahrmanövers bzw. des Eingriffs. Gelöst wurde die Problematik durch die Argumentation, dass sicherheitsorientierte Assistenzsysteme wie ABS oder ESC regelmäßig erst dann eingreifen, wenn der Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug bereits verloren hat und folglich gar nicht mehr auf das Fahrzeug einwirken kann. Sofern es zu einem Schaden kommt, sei der Fahrfehler bereits geschehen, bevor das Assistenzsystem eingreift.

Die Argumentation verfiel jedoch nicht mehr mit dem Aufkommen der ersten komfortorientierten Assistenzsysteme Abstandsregeltempomat (ACC) und Spurhalteassistent (LKA) um die Jahrtausendwende, die dauerhaft auf die Längs- und Quersteuerung des Fahrzeugs wirken. 2014 wurde deshalb in einer Anpassung des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr<sup>1</sup> deutlich gemacht, dass der Fahrzeugführer sich bei der Wahrnehmung der Fahraufgabe sehr weitreichend durch Fahrerassistenzsysteme unterstützen lassen darf. Es obliegt ihm, die Fahrmanöver des Fahrzeugs und das umgebende Verkehrsgeschehen zu überwachen und bei Bedarf in die Fahrzeugsteuerung einzugreifen. Fahrerassistenzsysteme entbinden den Fahrzeugführer nicht von seiner Verantwortung für den gesamten Fahrbetrieb. Er muss jederzeit damit rechnen, dass die Assistenzfunktion eine Situation nicht beherrscht, fehlerhaft agiert oder sich abschaltet. Der Fahr-

zeugführer darf während der Fahrt Nebentätigkeiten ausführen, wie z. B. rauchen, (mit Freisprecheinrichtung) telefonieren, essen oder trinken.

Die StVO musste nicht angepasst werden, um den assistierten Fahrbetrieb zu ermöglichen – die Anforderungen an den Fahrzeugführer unterscheiden nicht, ob er ein Fahrzeug persönlich steuert oder die Eingriffe eines Assistenzsystems überwacht. Auch das etablierte Prinzip der zivilrechtlichen Gefährdungs- und Verschuldenshaftung greift weiterhin.

Ausgehend von Überlegungen der Bundesanstalt für Straßenwesen hat SAE International erstmals 2014 verschiedene Ausbaustufen der komfortorientierten, dauerhaften Fahrzeugautomatisierung benannt und definiert<sup>2</sup>. Die sog. SAE Stufen beschreiben die technischen Merkmale der Fahrzeuge und die Anforderungen, die an den Fahrzeugführer gestellt werden. In dieser Nomenklatur entsprechen die folgenden SAE Level dem assistierten Fahrbetrieb:

- Level 0: informierende und warnende Systeme sowie Systeme, die nur im Notfall in die Fahrzeugsteuerung eingreifen
- Level 1: die dauerhafte Ausführung der Längs- ODER der Quersteuerung durch ein Assistenzsystem
- Level 2: die dauerhafte Ausführung der Längs- UND der Quersteuerung durch ein oder mehrere Assistenzsysteme

## Automatisiertes Fahren (SAE Level 3)

Die Erwartungen an die Automatisierung gehen jedoch weiter. Erst ein automatisierter Fahrbetrieb, bei dem der Fahrzeugführer für längere Zeit oder dauerhaft von der Durchführung der Fahraufgabe befreit wird, verspricht echte Komfort- und Produktivitätsvorteile. Schon 2015 hatte die Bundesregierung das Ziel formuliert, Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter für automatisiertes Fahren zu etablieren<sup>3</sup>. Eine Voraussetzung dafür ist der (nationale) Rechtsrahmen, der die Zulassung und den Betrieb von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen regelt.

Die wesentlichen Elemente finden sich seit 2017 in §§ 1a und 1b StVG<sup>4</sup>. Der Betrieb eines Fahrzeugs mittels automatisierten Fahrfunktionen ist

<sup>1</sup> [Gesetz zur Änderung der Artikel 8 und 39 des Übereinkommens vom 8. November 1968 über den Straßenverkehr](#) vom 7. Dezember 2016

<sup>2</sup> [Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles](#) (SAE J3016)

<sup>3</sup> [Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren](#)

<sup>4</sup> [Achstes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes](#) vom 16. Juni 2017

# Fachinformation Autonomes Fahren

zulässig, wenn diese internationalen Vorschriften entsprechen oder mit einer nationalen Typgenehmigung zugelassen sind. Wer ein Fahrzeug mittels automatisierter Fahrfunktionen steuert, bleibt Fahrzeugführer. Er darf sich dabei vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden. Jedoch muss er so wahrnehmungsbereit bleiben, dass er die Fahrzeugführung nach Aufforderung unverzüglich wieder übernehmen kann.

Die automatisierte Fahrfunktion muss alle Verkehrsvorschriften der StVO, die sich üblicherweise an den Fahrzeugführer richten, erfüllen.

Die Bereitschaft zur unverzüglichen Übernahme der Fahraufgabe erfordert, dass der Fahrzeugführer den Fahrersitz nicht verlassen und nicht schlafen darf. Deshalb kann ein Fahrzeug mit automatisierten Fahrfunktionen auch nicht ohne Insassen fahren.

Automatisierte Fahrfunktionen sind i. d. R. auf bestimmte Anwendungsfälle mit speziellen Betriebsbedingungen beschränkt. Die Kontrolle des Fahrzeugs wechselt regelmäßig zwischen dem menschlichen Fahrzeugführer und der automatisierten Steuerung. Jede Aktivierung der automatisierten Steuerung, Aufforderung zur Übernahme der Fahraufgabe und die tatsächliche Kontrolle des Fahrzeugs müssen in einem Fahrmodusspeicher<sup>5</sup> dokumentiert werden, denn während des automatisierten Fahrbetriebs ist der Fahrzeugführer nicht für das Verhalten des Fahrzeugs verantwortlich. Er kann dann nicht für einen Verkehrsverstoß (z. B. Geschwindigkeitsüberschreitung, Missachten der Vorfahrt, aber auch eine Kollision) bestraft werden.

Die Verschuldenshaftung des Fahrzeugführers scheidet aus, wenn das Fahrzeug im automatisierten Betrieb Sach- oder Personenschäden verursacht. Die Gefährdungshaftung des Fahrzeughalters besteht jedoch fort. In jedem Fall ist eine Haftpflichtversicherung erforderlich, welche die Ansprüche Geschädigter bedienen kann.

Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen entsprechen dem Level 3 nach SAE<sup>2</sup>.

## Autonomes Fahren (SAE Level 4, 5)

Erst der fahrerlose Betrieb schafft die Voraussetzung für grundsätzlich neue Mobilitätsangebote

und Geschäftsmodelle. Die rechtlichen Rahmenbedingungen dazu wurden in Deutschland 2021 mit weiteren Änderungen des StVG<sup>6</sup> sowie 2022 mit der AFGBV<sup>7</sup> geschaffen.

Fahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion können ohne physisch anwesenden Fahrzeugführer am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen – bis auf Weiteres aber nur in festgelegten und vorab genehmigten Betriebsbereichen.

Darüber hinaus sieht das Gesetz die dauerhafte Fernüberwachung des Betriebs durch eine technische Aufsicht vor. Diese muss eine natürliche Person sein, die im Einzelfall das Kraftfahrzeug mit autonomen Fahrfunktionen anhalten oder Fahrmanöver von außen freigeben kann. Um die Ansprüche potenziell Geschädigter zuverlässig erfüllen zu können, ist zusätzlich zur Haftpflichtversicherung des Kfz-Halters eine Haftpflichtversicherung für die Technische Aufsicht vorgeschrieben. Die strafrechtliche Verantwortung für Verkehrsverstöße des autonomen Fahrzeugs muss jeweils im Einzelfall ermittelt werden; neben individuellem Verschulden einzelner Akteure kommt auch Organisationsversagen, z. B. beim Hersteller oder Betreiber, in Betracht.

In Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen gibt es keinen Fahrzeugführer; mitfahrende Personen haben den Status von Passagieren. Der unbegleitete Betrieb ist möglich. Passagiere können ggf. einen Nothalt auslösen; der ‚fliegende‘ Wechsel zwischen autonomem und manuellem Fahrbetrieb ist jedoch nicht vorgesehen.

Die Genehmigung erfolgt zweistufig:

- Der Hersteller des Fahrzeugs legt den Anwendungsbereich (operational design domain ODD) fest und dokumentiert, dass das Fahrzeug alle auftretenden Verkehrssituationen selbständig bewältigen kann. Das Kraftfahrtbundesamt (KBA) erteilt nach Prüfung eine Betriebserlaubnis.
- Der Halter eines oder mehrerer baugleicher Fahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion legt den räumlich begrenzten Betriebsbereich fest und dokumentiert, dass alle Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb erfüllt sind. Die zuständige Landesbehörde erteilt nach Prüfung eine Betriebsgenehmigung.

<sup>5</sup> [Data Storage System for Automated Driving \(DSSAD\)](#)

<sup>6</sup> [Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungs-gesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren](#) vom 12. Juli 2021

<sup>7</sup> [Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen \(Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung - AFGBV\)](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

Die ‚Autonomie‘ des autonomen Fahrbetriebs beschränkt sich auf die Manöver- und Bahnführungsebene. Das Ziel der Fahrt und i. d. R. auch die Route (Navigationsebene) wird vom Betreiber extern vorgegeben. Das Fahrzeug mit autonomer Fahrfunktion muss sich buchstabengetreu an die Vorschriften der StVO halten; Regelüberschreitungen (z. B. Überfahren einer durchgezogenen Linie oder einer defekten, roten Ampel) müssen von der technischen Aufsicht freigegeben werden. Im gesamten Betriebsbereich muss die technische Kommunikation (i. d. R. mittels Mobilfunk) zwischen dem Fahrzeug und der technischen Aufsicht gewährleistet sein.

Autonomer Fahrbetrieb entspricht den SAE<sup>2</sup>

- Level 4: der Betriebsbereich ist räumlich und / oder sachlich beschränkt. Einschränkungen können z. B. durch das nutzbare Straßennetz, die maximale Fahrgeschwindigkeit, die Witterung oder die Tageszeit gegeben sein.
- Level 5: der Betriebsbereich ist räumlich und / oder sachlich nicht beschränkt. [Der Rechtsrahmen in Deutschland sieht diesen Fall aktuell nicht vor.]

## Ethikfragen

Viele Jahre wurden Ethikfragen des autonomen Fahrens diskutiert. Im Zentrum standen Dilemmasituationen, in denen ein Fahrzeugführer ein Unglück nicht verhindern kann und zwischen zwei oder mehreren ggf. tödlichen Alternativen auswählen muss. Ohne auf das üblicherweise reflexhafte Handeln menschlicher Fahrer in solchen Situationen näher einzugehen wurde regelmäßig bezweifelt, dass künstliche Intelligenz, also ein Algorithmus, eine ethisch vertretbare Entscheidung treffen könne.

Der 2017 von der *Ethikkommission automatisiertes und vernetztes Fahren* veröffentlichte Bericht<sup>8</sup> beendete diese Diskussion mit einer Reihe von Grundsätzen, die bei der Programmierung der Automatisierungsfunktionen berücksichtigt werden sollen.

Aufgegriffen werden diese Anforderungen in §1e StVG<sup>9</sup>:

*(2) Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion müssen über eine technische Ausrüstung verfügen, die in der Lage ist, [...]*

*2.selbstständig den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften zu entsprechen und die über ein System der Unfallvermeidung verfügt, das*

- a) auf Schadensvermeidung und Schadensreduzierung ausgelegt ist,*
- b) bei einer unvermeidbaren alternativen Schädigung unterschiedlicher Rechtsgüter die Bedeutung der Rechtsgüter berücksichtigt, wobei der Schutz menschlichen Lebens die höchste Priorität besitzt, und*
- c) für den Fall einer unvermeidbaren alternativen Gefährdung von Menschenleben keine weitere Gewichtung anhand persönlicher Merkmale vorsieht, [...]*

Und weiter konkretisiert in §3 AFGBV<sup>10</sup>:

*(8) Unter Beachtung der Voraussetzungen nach Anlage 1 muss ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion zur Vermeidung von Kollisionen nach dem Stand der Technik*

- 1. andere Verkehrsteilnehmende, unbeteiligte Dritte, Tiere und Sachen im Umfeld des Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion erkennen,*
- 2. eine Risikoabwägung aufgrund der Erkennung nach Nummer 1 und hinsichtlich aller betroffenen Rechtsgüter vornehmen und dabei unter Zugrundelegung der Vorgaben des § 1e Absatz 2 Nummer 2 des Straßenverkehrsgesetzes das Verhalten der erkannten anderen Verkehrsteilnehmenden, der unbeteiligten Dritten, der Tiere und der Bewegungen der Sachen bewerten und aufgrund dieser Bewertung eine Voraussage über das weitere Verhalten und die weiteren Bewegungen treffen, wobei angenommen wird, dass sich bewegende Fahrzeuge mit maximal zehn Meter pro Sekunde-Quadrat verzögern können und*
- 3. ein dem Ergebnis der Risikoabwägung nach Nummer 2 und den Vorgaben des § 1e Absatz 2 Nummer 2 des Straßenverkehrsgesetzes entsprechendes geeignetes Fahrmanöver, insbesondere Brems- oder Ausweichmanöver, durchführen.*

Vor einer drohenden Kollision wird ein Fahrzeug mit einer automatisierten oder autonomen Fahrfunktion i. d. R. eine Notbremsung durchführen, um die Unfallfolgen möglichst zu begrenzen. Das Fahrzeug darf seinen geplanten Fahrweg auch verlassen und ausweichen, sofern die Auswirkungen vorhersehbar und absehbar geringer sind als

<sup>8</sup> [Bericht der Ethik-Kommission](#)

<sup>9</sup> [§ 1e StVG: Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion; Widerspruch und Anfechtungsklage](#)

<sup>10</sup> [§ 3 AFGBV: Antrag auf Erteilung der Betriebserlaubnis durch den Hersteller](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

bei der ursprünglich drohenden Kollision. Nach dem heutigen Stand der Technik ist eine zuverlässige Unfallfolgenvorhersage nicht möglich, so dass Ausweichen nur dann in Frage kommt, wenn dadurch eine Kollision – auch mit Dritten – zuverlässig vermieden werden kann.

## Internationaler Rechtsrahmen

Die Automatisierung hat in allen drei großen Automobilmärkten Europa, Nordamerika und Asien eine hohe Bedeutung und alle Gesetzgeber und Regulierungsbehörden arbeiten an nationalen und internationalen Regelwerken. Die Automobilindustrie erhofft sich möglichst einheitliche und konsistente Vorgaben. Auch für Verbraucher wäre es wichtig, ein Fahrzeug mit automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen grenzüberschreitend nutzen zu können.

### Europa

In der Europäischen Union (EU) entscheiden die Mitgliedsstaaten über ihre jeweiligen Straßenverkehrsordnungen, d. h. die Art und Weise, wie der Straßenverkehr organisiert wird und wie Verkehrsteilnehmer am Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Das Wiener Übereinkommen<sup>11</sup>, das von der EU und den meisten Mitgliedsstaaten ratifiziert wurde, gibt einen allgemeinen Harmonisierungsrahmen vor.

Gleichzeitig werden Produkte auf europäischer Ebene sehr detailliert reguliert, um einen fairen Wettbewerb auf dem Europäischen Binnenmarkt zu gewährleisten. Seit September 2020 ist die Rahmenverordnung (EU) 2018/858 für die Typzulassung<sup>12</sup> von Kraftfahrzeugen der Klassen M, N und O maßgeblich. Die Anforderungen an Kraftfahrzeuge bauen dabei wiederum auf ECE Richtlinien<sup>15</sup> auf, gehen zum Teil auch darüber hinaus.

Kraftfahrzeuge mit automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen müssen einerseits den weltweit oder auf EU-Ebene harmonisierten Anforderungen an das Fahrzeug genügen; gleichzeitig müssen sie aber auch die jeweiligen nationalen

Verhaltensvorschriften (Straßenverkehrsordnung) zur Teilnahme am Straßenverkehr erfüllen, die sich bislang an menschliche Fahrzeugführer richten. Während die einmalig erteilte, europäische Typzulassung für ein Kraftfahrzeug grundsätzlich in allen Mitgliedsstaaten Gültigkeit erlangt, muss die Zulassung des Fahrzeugs zum Straßenverkehr aufgrund der (ggf. voneinander abweichenden) nationalen Verkehrsregeln von jedem Mitgliedsstaat separat erteilt werden.

Erste Anforderungen an die technische Ausstattung von Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen wurden bereits in der General Safety Regulation<sup>13</sup> formuliert. In 2022 hat die EU Kommission eine weitere Durchführungsverordnung zur Typgenehmigung des automatisierten Fahrsystems (ADS) vollautomatisierter Fahrzeuge<sup>14</sup> veröffentlicht, die weitgehend komplementär zum nationalen, deutschen Rechtsrahmen ist.

Bauartvorschriften für spezifische Assistenz- und Automatisierungsfunktionen finden sich darüber hinaus in verschiedenen ECE Richtlinien<sup>15</sup>. Maßgeblich sind dabei u.a.

- Nr. 79 Lenkanlagen
- Nr. 155 Cybersicherheit und Cybersicherheitssystem
- Nr. 156 Softwareaktualisierung und Softwareaktualisierungsmanagementsystem
- Nr. 157 automatisches Spurhalteassistenzsystem (ALKS)

### USA

Die USA haben das Wiener Übereinkommen<sup>11</sup> und die UNECE Richtlinien<sup>15</sup> nicht ratifiziert. Auf nationaler Ebene gibt es technische Bauartvorschriften (Federal Motor Vehicle Safety Standards), während verhaltensrechtliche Regelungen überwiegend in der Zuständigkeit der Bundesstaaten liegen. Bis heute gibt es daher keine föderale Gesetzgebung zum Betrieb automatisierter oder autonomer (fahrerloser) Fahrzeuge.

<sup>11</sup> [Convention on Road Traffic Done at Vienna on 8 November 1968](#)

<sup>12</sup> [Verordnung \(EU\) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018](#) über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge.

<sup>13</sup> [Verordnung \(EU\) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019](#) über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern.

<sup>14</sup> [Durchführungsverordnung \(EU\) 2022/1426 der Kommission vom 5. August 2022](#) mit detaillierten Regelungen zur Durchführung der Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die einheitlichen Verfahren und technischen Spezifikationen für die Typgenehmigung des automatisierten Fahrsystems (ADS) vollautomatisierter Fahrzeuge

<sup>15</sup> [Agreement concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

Solange die Bundesstaaten keine Regulierung erlassen, liegt der Betrieb weitgehend im Ermessen der Hersteller, Halter oder Betreiber – mit entsprechenden Haftungsrisiken bei Schäden.

Über die Hälfte der US-Bundesstaaten hat inzwischen Gesetze und/oder Verordnungen erlassen, die den Betrieb automatisierter oder autonomer Fahrzeuge regulieren. Die Bandbreite ist groß – von reinen Erprobungs-Genehmigungen mit Sicherheitsfahrer bis hin zu ersten Lizenzen für den fahrerlosen, kommerziellen Betrieb in festgelegten Betriebsbereichen. In einigen Staaten sind nur Personenfahrzeuge erlaubt, in anderen nur Lastkraftwagen. Manche Staaten werben um Hersteller, die autonomes Fahren erproben wollen; andere stehen der Technologie eher restriktiv gegenüber.

Nicht nur klimatisch sind die Bedingungen vor allem im sonnigen und trockenen Südwesten der USA günstig für die Erprobung von autonomen Fahrfunktionen. Am elaboriertesten ist die Gesetzgebung aktuell in Kalifornien – erste Anbieter dürfen in einigen Städten fahrerlose Taxidienste anbieten, müssen sich aber strengen Berichtspflichten (u. a. zu sicherheitskritischen Zwischenfällen und Fahrer-Eingriffen) unterwerfen.

Für ein flächendeckendes Angebot sind die heterogenen Regeln in den 50 Bundesstaaten der USA eher nachteilig. Voraussichtlich wird in den nächsten Jahren doch noch eine nationale Regulierung verabschiedet – im ersten Anlauf war dies 2017 im US-Senat gescheitert.

## Asien

Auch China, Japan und Singapur haben das Wiener Übereinkommen<sup>11</sup> und die UNECE Richtlinien<sup>15</sup> nicht unterzeichnet. Die jeweiligen nationalen Straßenverkehrssicherheitsgesetze oder Straßenverkehrsordnungen wurden angepasst, so dass die Erprobung bzw. auch der Regelbetrieb von Fahrzeugen mit automatisierten und autonomen Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr grundsätzlich möglich ist.

Fahrzeuge oder Fahrzeugflotten mit autonomen Fahrfunktionen können mit Ausnahmegenehmigungen der lokalen Gebietskörperschaften zum Verkehr zugelassen werden. Dabei können auch Auflagen, z.B. hinsichtlich des Betriebsgebiets, der Fernüberwachung oder der Versicherung erteilt werden.

## Geschäftsmodelle

Für autonomes Fahren wird regelmäßig mit den erwarteten, positiven Auswirkungen auf gesellschaftliche Ziele geworben, z. B. die Verbesserung der Verkehrssicherheit, Reduzierung der negativen Klima- und Umweltwirkungen des Verkehrs, Verbesserung des Verkehrsablaufs, Reduzierung der erforderlichen Pkw-Flotte und des Parkflächenbedarfs, Verbesserung des ÖV-Angebots und der barrierefreien Mobilität für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen. Allerdings generieren diese Erwartungen keine oder nur eine sehr geringe Nachfrage nach fahrerlosen Fahrzeugen.

Für einen erfolgreichen Markthochlauf fahrerloser Fahrzeuge sind tragfähige Geschäftsmodelle erforderlich. Potenzielle Käufer oder Nutzer fahrerloser Fahrzeuge streben einen individuellen Vorteil an, der den Aufpreis auf ein Fahrzeug ohne entsprechende Automatisierungsfunktion rechtfertigt. Potenzielle Betreiber fahrerloser Flotten müssen einen wirtschaftlichen Gewinn mit diesen Fahrzeugen erzielen können.

## Selbstfahrer

Für individuelle Nutzer eröffnet die Automatisierung der Fahraufgabe vorrangig die Möglichkeit, die Fahrzeit hinter dem Lenkrad komfortabler oder produktiver zu nutzen. Je nach Betriebsmodus kann dies der Wechsel vom Steuern des Fahrzeugs zur Überwachung der Fahrfunktionen sein, die Nutzung des Infotainments oder der Bürokommunikation während der Fahrt.

In Personenkraftfahrzeugen verspricht neben verschiedenen komfortsteigernden Assistenzsystemen wie Abstandsregeltempomat, Spurhalteassistent und Einparksystemen die Automatisierung der Fahraufgabe insbesondere auf Autobahnen gegenwärtig die größten Potenziale für erfolgreiche Geschäftsmodelle. Außendienstmitarbeiter können während der Fahrt ihre Produktivität verbessern; Privatfahrer entspannen mit dem Unterhaltungsprogramm.

Fahrzeuge mit autonomen (fahrerlosen) Fahrfunktionen erfordern die Anbindung an eine Leitstelle mit technischer Aufsicht. Zudem muss der festgelegte Betriebsbereich jeweils geprüft und genehmigt werden. Für Selbstfahrer Fahrzeuge, die nur wenige Stunden am Tage genutzt werden, ist ein attraktives Geschäftsmodell schwer vorstellbar. Dieser Betriebsmodus (SAE Level 4) ist

# Fachinformation Autonomes Fahren

absehbar Flottenfahrzeugen mit einem kommerziellen Betreiber vorbehalten.

## Flottenbetreiber

Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen (SAE Level 3) erfordern einen Fahrzeugführer im Fahrzeug. Auch wenn dieser sich von der Fahraufgabe abwenden und anderen Tätigkeiten nachgehen darf, bestehen im kommerziellen Umfeld die Personalkosten fort; die Lenk- und Ruhezeiten müssen weiterhin eingehalten werden. Für kommerzielle Flotten im Personen- und Gütertransport bieten automatisierte Fahrfunktionen nur geringe wirtschaftliche Anreize.

Die Automatisierung wird für kommerzielle Flottenbetreiber erst dann richtig interessant, wenn kein Fahrzeugführer erforderlich ist. Eingesparte Personalkosten<sup>16</sup> für Berufskraftfahrer stehen an erster Stelle. Zusätzliche Produktivitätsgewinne entstehen, wenn ein autonomes Fahrzeug weniger Pausen und Standzeiten erfordert als ein Fahrzeug mit Fahrzeugführer. Der Rückgang von Unfällen und Ausfallzeiten, sowie geringere Kraftstoffkosten und Verschleiß sind weitere Faktoren; diese werden jedoch möglicherweise durch zusätzliche Sicherheitsüberprüfungen und einen höheren Dokumentationsaufwand egalisiert.

Potenzielle Flotten sind Taxis, Sammeltaxis, öffentlicher Linienverkehr mit unterschiedlichen Gefäßgrößen sowie Güterverkehre und Liefersdienste. In vielen Fällen hat der Betreiber schon heute eine Leitstelle mit Disponenten, die er nur mehr um die Funktionen der technischen Aufsicht ergänzen muss.

Sowohl im Güter- wie auch im öffentlichen Personenverkehr muss bei den Geschäftsmodellen berücksichtigt werden, dass heute der Kraftfahrer neben der eigentlichen Fahrzeugführung häufig weitere Tätigkeiten übernimmt, die im fahrerlosen Betrieb anderweitig abgedeckt werden müssen. Im Güterverkehr betrifft dies vorrangig das Be- und Entladen des Fahrzeugs bzw. Ausliefern von Waren; im Personenverkehr z. B. den Fahrscheinvertrieb oder die Unterstützung von Fahrgästen mit Mobilitätseinschränkungen.

Absehbar lassen sich kleine, linienhafte Betriebsbereiche leichter überprüfen und genehmigen als große, flächige Bereiche. In Deutschland ist der räumlich unbeschränkte, autonome Fahrbetrieb

(SAE Level 5) durch den Rechtsrahmen nicht vorgesehen. Es gibt aktuell auch keine Geschäftsmodelle dafür.

## Personen mit Mobilitätseinschränkungen

Die Entwicklung von Assistenzsystemen, Automatisierung und autonomen Fahren wurde von der Erwartung begleitet, dass damit die selbständige Mobilität von Personen mit Mobilitätseinschränkungen und nachlassender Fahrfertigkeit verbessert werden könnte. Dies trifft nur begrenzt zu:

- Komfortorientierte Assistenz- und Automatisierungsfunktionen bis hin zum SAE Level 3 erfordern einen Fahrzeugführer im Fahrzeug, der sowohl die Fahreignung als auch situative Fahrfähigkeit aufweist. Eine gültige Fahrerlaubnis ist Voraussetzung.
- Komfortorientierte Assistenzfunktionen im Privat-Pkw können die nachlassende Fahrfertigkeit älterer Autofahrer in Teilen kompensieren. Der Fahrzeugführer muss die Assistenzfunktion jedoch überwachen und bei Bedarf eingreifen können.
- Beim Überschreiten von Systemgrenzen muss der Fahrzeugführer jederzeit in der Lage sein, die Fahraufgabe von einer Automatisierungsfunktion wieder zu übernehmen.
- Fahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion können grundsätzlich von jedem als Passagier genutzt werden. Dies kann die Mobilitätsoptionen von Personen, die aufgrund bestimmter Erkrankungen (z. B. Epilepsie, Diabetes, unzureichendes Sehvermögen) keine Fahreignung haben, erweitern. Ebenso können Personen ohne Fahrerlaubnis, wie z. B. Kinder und Jugendliche, diese Angebote selbständig nutzen.
- Für Menschen mit motorischen Mobilitätseinschränkungen ist der Zugang zu autonomer Mobilität weiterhin schwierig. Bisher vorgestellte Shuttles und Robotaxis sind nicht barrierefrei. Während in konventionellen ÖV-Fahrzeugen der Fahrzeugführer Personen mit Mobilitätseinschränkungen i. d. R. unterstützen kann, muss der Passagier in einem fahrerlosen Fahrzeug das Ein- und Aussteigen selbständig bewältigen. Für mobilitätseingeschränkte Personen, die auf einen Rollstuhl

<sup>16</sup> Der eklatante Mangel an Lkw- und Busfahrern wird das Interesse am fahrerlosen Fahren auch ohne explizite Kosteneinsparungen stärken.

# Fachinformation Autonomes Fahren

oder Rollator angewiesen sind oder mit Gepäck reisen, kann die Nutzungsmöglichkeit dadurch eingeschränkt sein. Die folgenden Punkte müssen gelöst werden:

- Barrierefreier Zugang (Rampe)
- Rollstuhlstellplatz im Fahrzeug
- Sicherung des Rollstuhls im Fahrzeug
- Sicherung eines Passagiers im Sitz
- Verstauen und sichern von Gepäck / Gehhilfen

## Stand der Entwicklung

### Grundlagen

Die Vision selbstfahrender Autos gibt es mindestens seit dem zweiten Weltkrieg. Voraussetzung für den Beginn ernsthafter Entwicklungen war die entstehende Mikroprozessortechnologie in den 1970er Jahren. Im Rahmen des PROMETHEUS-Forschungsprogramms<sup>17</sup> (1986 – 1994) begann die europäische Automobilindustrie, Grundlagen für elektronische Fahrerassistenzsysteme zu schaffen. Die einzelnen Funktionen (Spurhaltung, Kollisionsvermeidung, Geschwindigkeitsregelung) sind auch die Grundbausteine automatisierter bzw. autonomer Fahrfunktionen.

Die größte Herausforderung war anfangs die Sensorik, wobei IR-Sensoren und Kameras für die Spurhaltung (optische Erkennung der Fahrbahnmarkierungen) und Radar bzw. Lidar für die Abstandsmessung eingesetzt werden. 1998 führte Toyota erstmals ACC in einem Serienfahrzeug ein, Mercedes folgte 1999. Nissan bot 2001 erstmals ein Fahrzeug mit Spurhalteassistent an. 2002 bot Toyota erstmals ein Notbremssystem an, Mercedes folgte 2006. Die wesentlichen Funktionsbestandteile für die Automatisierung standen damit zur Verfügung.

### Pkw

Die (Pkw-) Automobilindustrie setzte auf die kontinuierliche Entwicklung und Verbesserung von Fahrerassistenzsystemen. Strategische Roadmaps gingen stets davon aus, dass die Evolution der Fahrerassistenzsysteme langfristig zur Automatisierung der Fahraufgabe bis hin zum fahrerlosen Betrieb (von Pkw) führen würde. Prämisse war, dass die Fahrzeuge keine spezielle Infrastruktur

benötigen, sondern im allgemeinen Verkehr, gemeinsam mit nicht automatisierten Fahrzeugen und ggf. nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern bestehen.

In dieser Phase der kontinuierlichen Verbesserung der Assistenzsysteme ergaben sich zunächst zwei Herausforderungen für die angestrebte Automatisierung:

- Systeme für die Längs- und die Quersteuerung wurden unabhängig voneinander entwickelt, mit eigener Sensorik, Aktorik und Steuerung. Die Modularisierung erleichterte zwar die Entwicklung und erlaubte differenzierte Ausstattungsvarianten, verhinderte aber komplexe Reaktionen, wie z. B. einem Hindernis ausweichen (statt bremsen). Es konnte dazu kommen, dass ein Spurhalteassistent bei Unaufmerksamkeit des Fahrers abschaltet, die automatische Geschwindigkeitsregelung das Fahrzeug jedoch weiterfahren ließ.
- Assistenzfunktionen sollen möglichst oft richtig reagieren, aber sie müssen es nicht immer können, da der Fahrer als Rückfallebene zur Verfügung steht. Für Assistenzsysteme ist oftmals ein einziger, ausgereifter Sensor ausreichend. Automatisierungsfunktionen ohne Fahrer als Rückfallebene benötigen i. d. R. mindestens einen zweiten Sensor mit einem anderen Messprinzip als Rückfallebene.

Für ein umfassendes Situationsverständnis ist ein dreidimensionales, dynamisches Lagebild erforderlich, in dem statische und dynamische Objekte unterschieden und klassiert werden. Die meisten Entwickler setzen dazu auf mehrere Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien. Die Validierung, Auswertung, Bewertung und Fusion der resultierenden Datenflut stellte und stellt bis heute eine große Herausforderung dar. Die traditionelle elektrisch/elektronische Architektur im Automobilbau, mit einer Vielzahl verteilter und spezialisierter Steuergeräte erwies sich als nachteilig gegenüber einem oder wenigen, leistungsfähigen Zentralrechnern. Tesla konnte ab ca. 2010 einen Vorsprung durch eine zentrale Systemarchitektur erlangen.

Noch um 2012 gab es sehr große Erwartungen, dass schon in wenigen Jahren Pkw mit automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen auf den Markt kommen würden. In Forschungsprojekten

höchster Effizienz und beispielloser Sicherheit“ im Rahmen der [EU-REKA](#) Forschungsinitiative für anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung in internationalen Projektkooperationen:

<sup>17</sup> [PROgräMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety](#), deutsch „Programm für europäischen Verkehr



# Fachinformation Autonomes Fahren

konnten im Detail immer wieder beeindruckende Leistungen demonstriert werden. Das Zusammenfügen dieser Funktionen zu einem marktfähigen Anwendungsfall und die vollständige Absicherung auf einem Niveau, mit dem ein Fahrzeug auch in Kundenhand übergeben werden könnte, erwiesen sich jedoch als ausgesprochen aufwändig und kostspielig.

Weltweit kam es zu Entwicklungspartnerschaften zwischen Automobilunternehmen, z. T. auch mit großen Digitalunternehmen. Die traditionellen Automobilhersteller standen dabei immer im Zielkonflikt, die gigantischen Entwicklungskosten zu bewältigen, ohne den Zugriff auf vermeintlich lukrative, digital skalierbare Geschäftsmodelle an andere Akteure zu verlieren.

Als erstes Unternehmen hat Mercedes 2022 die Zulassung für ein Level 3 System (Drive Pilot) für den deutschen Markt erhalten. Der Anwendungsbereich des Autobahn-Staupiloten ist eng begrenzt<sup>18</sup> und der Preis (auch aufgrund des aktuell angebotenen Basisfahrzeugs S-Klasse bzw. EQS) ist hoch. Ein vergleichbares System wird 2024 von BMW zunächst für die 7-er Reihe angeboten.

## Unterstützung durch das Backoffice

Auch wenn ein Fahrzeug mit automatisierten Fahrfunktionen nicht von einer Leitstelle überwacht werden muss, gerät der Hersteller de facto in eine Betreiberrolle. Bei Autobahngeschwindigkeit ist es nicht möglich, alle Systemgrenzen eines Anwendungsszenarios mit der bordeigenen Sensorik so rechtzeitig zu erkennen, dass der Fahrzeugführer mit ausreichendem Vorlauf zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert werden könnte. Das Fahrzeug müsste dann regelmäßig den sicheren Systemzustand (Anhalten am Fahrbahnrand) anstreben.

Viele Systemgrenzen (Topologie der Strecke, Tunnel, Anschlussstellen, Autobahnkreuze) ändern sich nur sehr selten. Kurzfristig auftretende Gefahren (z. B. Gegenstände auf der Fahrbahn, Stauende) muss das Fahrzeug mit eigener Sensorik erkennen und bewältigen können. Selbständiges Abbremsen und Anhalten verschafft dem Fahrzeugführer dann ausreichend Zeit, um im Anschluss die Fahraufgabe zu übernehmen. Probleme

atisch sind Situationen (z. B. Baustellen, Niederschläge, fehlende Fahrbahnmarkierungen), die das Fahrzeug selbständig nicht bewältigen kann, in denen Abbremsen und Anhalten jedoch keine angemessenen Reaktionen sind.

Der Hersteller oder Betreiber des Fahrzeugs mit der automatisierten Fahrfunktion muss deshalb regelmäßig die Systemgrenzen auf der Strecke übermitteln, damit das Fahrzeug rechtzeitig den Fahrzeugführer zur Übernahme auffordern kann. Dazu muss im Back Office eine aktuelle Karte des grundsätzlich nutzbaren Netzes gepflegt werden. Die dynamischen Informationen über Systemgrenzen stammen aus verschiedenen Quellen – eine wichtige Rolle haben die vernetzten Fahrzeuge mit Assistenz- und Automatisierungsfunktionen selbst.

Die Aufwände für den Betrieb dieses Back Office müssen in das Geschäftsmodell der automatisierten Fahrfunktion eingepreist werden.

Viele Hersteller, u. a. Volkswagen und BMW haben ihre Aktivitäten im Bereich des automatisierten und autonomen Fahrens für Pkw neu bewertet und priorisiert. Dabei wurden Budgets spürbar gekürzt und Partnerschaften beendet<sup>19</sup>. Auch international ist große Ernüchterung in Bezug auf vollständig abgesicherte Automatisierungsfunktionen (SAE Level 3) eingetreten – einzig Tesla scheint dieses Ziel weiter zu verfolgen.

Der Fokus bei der Markteinführung liegt in nächster Zeit vermutlich auf sogenannten Level 2+ Assistenzsystemen<sup>20</sup>, bei denen der Fahrzeugführer zwar die Hände vom Lenkrad und die Füße von den Pedalen nehmen darf, den Fahrbetrieb und das Verkehrsgeschehen aber weiterhin überwachen muss und letztverantwortlich für das (Fehl-)verhalten des Fahrzeugs bleibt. Tesla Autopilot, GM Super Cruise oder Ford BlueCruise sind in den USA bereits verfügbar. Sowohl BMW (Autobahnassistent) als auch Ford (BlueCruise) haben vom KBA Ausnahmegenehmigungen für Deutschland erhalten. Eine allgemeine Zulassung in der EU ist noch nicht möglich, da in der UNECE R157 Bauartvorschriften für den freihändigen Betrieb (noch) nicht enthalten sind.

<sup>18</sup> Der Drive Pilot arbeitet auf freigegebenen, zweibahnigen Straßen (i. d. R. Autobahnen) im gebundenen Verkehr (i. d. R. Stau) bis 60 km/h. Er steht nicht zur Verfügung in Baustellen, Tunneln, bei Dunkelheit, fehlenden Fahrbahnmarkierungen, Schnee und Regen.

<sup>19</sup> Ende 2022 zogen sich Volkswagen und Ford aus dem Start-Up ArgoAI zurück, in dem beide Konzerne ihre Aktivitäten zum autonomen Fahren gebündelt hatten. Bereits 2020 hatten BMW und Mercedes ihre Kooperation beendet.

<sup>20</sup> [Level 2+<sup>+</sup>: Making automated driving profitable, mainstream \(sae.org\)](https://www.sae.org/level-2-plus/)

# Fachinformation Autonomes Fahren

## Nutzfahrzeuge

Weniger im Licht der Öffentlichkeit steht die Entwicklung automatisierter und autonomer Fahrfunktionen für Nutzfahrzeuge. Im Gegensatz zum Personenverkehr gibt es zahlreiche Anwendungsszenarien außerhalb des Straßenraums, die sich unabhängig von einem spezifischen Rechtsrahmen für fahrerlose Fahrzeuge umsetzen lassen und bereits kommerziell verfügbar sind:

- Fräsen, Grader, Walzen, Fertiger und andere Straßenbaumaschinen. [Höhere Präzision im Arbeitsprozess]
- Mähdrescher, Schlepper und andere landwirtschaftliche Fahrzeuge [Höhere Präzision und Effizienz im Arbeitsprozess]
- Transportfahrzeuge in der Rohstoffgewinnung, in Steinbrüchen, Minen und im Tunnelbau. [Einsparung von Personal, Betriebssicherheit]
- Militärische Transport- und Versorgungsfahrzeuge, teleoperiert oder fahrerlos im Konvoi [Sicherheit für das Fahrpersonal unter Feindeinwirkung]

Niedrige Fahrgeschwindigkeiten sind ein Merkmal dieser Anwendungsszenarien; ein unmittelbarer Nothalt bei Störungen nahezu immer möglich. Die Technologien lassen sich z. T. auf Anwendungen für den Straßenverkehr übertragen. Anwendungen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich auf befestigten Flächen sind z. B.

- Fahrerloses Nachführen eines Fahrzeugs in Verbindung mit Fußgängern, z. B. Müllsammelfahrzeug, Lieferfahrzeug.
- Containerumschlag und Rangierfahrten in Häfen, Umschlagzentren, Fahrzeugdepots, Industrieanlagen.
- 2018 hat ein Konsortium um MAN, WABCO und ZF ein fahrerloses Absicherungsfahrzeug<sup>21</sup> für Wanderbaustellen auf Autobahnen demonstriert.
- Ebenfalls 2018 demonstrierte Daimler Truck die automatisierte Schneeräumung auf dem Flughafen Frankfurt in einem Konvoi aus vier Actros Zugmaschinen mit nur einem Fahrzeugführer.
- 2022 wurden am Flughafen Stuttgart ein autonomes Räumgerät und Gepäckschlepper vorgeführt.

<sup>21</sup> [Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen](#)

Langfristig streben mehrere Lkw-Hersteller den fahrerlosen Gütertransport im Mischverkehr an. Höhere Fahrgeschwindigkeiten und die ständige Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern erfordern vollständige Redundanz aller kritischen Systemkomponenten (Bremsen, Lenkung, Energieversorgung, Sensorik und Steuerungseinrichtungen). Im Gegensatz zu Lösungen für den Personenverkehr (s. u.) liegt der Fokus autonomer Fahrfunktionen im Güterverkehr gegenwärtig nicht auf dem innerstädtischen Straßennetz, sondern auf Autobahnen und dem Fernverkehr.

Daimler Truck kooperiert in den USA mit Waymo Via und der eigenen Tochter Torc Robotics, um fahrerlose Sattelzugmaschinen für den Fernverkehr zu entwickeln.

IVECO hat die Zusammenarbeit mit PLUS angekündigt, um Lkw mit automatisierten (SAE Level 3) und autonomen (SAE Level 4) Fahrfunktionen auf den europäischen und chinesischen Markt zu bringen.

Während die vorstehenden Unternehmen oder auch MAN die Automatisierungsfunktionen in bestehende Lkw-Baureihen integrieren, hat Volvo Trucks mit der Sattelzugmaschine Vera und Traton mit dem Scania AXL Fahrzeuge vorgestellt, die ohne Fahrerkabine gestaltet wurden. Diese zielen gegenwärtig noch auf Einsatzbereiche außerhalb des öffentlichen Straßenverkehrs.

Neben den technischen Herausforderungen wird der Rechtsrahmen maßgeblich die Anwendungsfälle für autonome Nutzfahrzeuge prägen. Die deutsche AFGBV<sup>7</sup> hat stärker den Personenverkehr in einem begrenzten, urbanen Umfeld im Blick, als den Güterverkehr auf der Autobahn. Es ist zu erwarten, dass Lkw mit autonomen Fahrfunktionen für den Fernverkehr zuerst in Nordamerika, Australien und China auf den Markt kommen werden.

In den 2010er Jahren wurde von allen europäischen Lkw-Herstellern Platooning verfolgt, d.h. die Kopplung mehrerer Lkw mittels einer elektronischen Deichsel (s. a. Seite 14). Dieser semi-autonome Betrieb sollte Betriebskosten und langfristig auch Fahrzeugführer einsparen. Ein dafür erforderlicher Rechtsrahmen wurde jedoch nie geschaffen, die angestrebten Einsparungen konnten in der Praxis nicht erzielt werden und wichtige Entwicklungsschritte, wie die herstellerüber-

(aFAS)

# Fachinformation Autonomes Fahren

greifende Standardisierung der Kopplungstechnologie, wurden nicht vollzogen. Nach heutigem Stand wird das Konzept für Anwendungen im Straßenverkehr nicht weiterverfolgt.

## Öffentlicher Verkehr

Die Entwicklung des autonomen (fahrerlosen) Betriebs für den öffentlichen Verkehr unterscheidet sich in wichtigen Aspekten vom Privat-Pkw:

- Auch wenn in der Erprobungsphase regelmäßig ein Sicherheitsfahrer im Fahrzeug anwesend ist, erfordern die Anwendungsfälle für den öffentlichen Verkehr zwingend autonome Fahrfunktionen (SAE Level 4). Ein hybrider Regelbetrieb wird nicht angestrebt. Die Fahrzeuge können deshalb ohne Fahrerarbeitsplatz konstruiert werden.
- Die Fahrzeuge operieren häufig auf einem vorab bekannten Linienweg, bzw. in einer einzigen Stadt. Dies erleichtert die Unterstützung des fahrerlosen Betriebs durch spezifische Infrastruktur (Insellösungen).
- Die erreichbare Höchstgeschwindigkeit kann in urbanen Szenarien niedrig gehalten werden.

Bereits Ende der 1990-Jahre wurde in den Niederlanden erstmals ein fahrerloses Straßenfahrzeug in Betrieb genommen. Das ParkShuttle<sup>22</sup> (von ZF) fährt noch heute im Regelbetrieb auf einer baulich getrennten Fahrspur, aber es gibt mehrere höhengleiche Kreuzungen mit Straßen, Rad- und Fußwegen. Zur Orientierung bzw. Steuerung ist das Fahrzeug auf Magnete angewiesen, die in die Fahrbahn eingelassen wurden.

Zwanzig Jahre später baut die aktuelle Generation des ZF Shuttle noch auf der gleichen Technologie auf: Die operative Steuerung erfolgt zwar mittels GNSS-Technologie<sup>23</sup>, aber zur (redundanten) Absicherung sind weiterhin Magnete in der Fahrbahn erforderlich und der separate Fahrweg erleichtert die Kollisionsvermeidung. Auch die Shuttles von Navya und Easymile folgen strikt einem vorab festgelegten Streckenverlauf. Erklärtes Ziel aller Shuttle-Hersteller ist es jedoch, mit ihren Fahrzeugen unabhängig von einem vorab festgelegten Fahrweg zu fahren. Das erfordert – neben der Satellitennavigation – die Orientierung mittels Kamera, Radar und Lidar auf Grundlage

von Fahrspurmarkierungen und markanten Landmarken im Straßenraum. Für alle fahrwegunabhängigen Robotaxi Konzepte gilt dies ohnehin.

Im Gegensatz zu automatisierten Fahrfunktionen für Pkw, bei denen der Fahrzeughersteller (OEM) der zentrale Akteur ist, steht bei Anwendungen für den öffentlichen Verkehr oftmals der Entwickler von Hard- und Software für die autonome Fahrfunktion (automated driving system ADS) im Mittelpunkt. Anfangs waren dies häufig Startups, inzwischen die Töchter großer Technologiekonzerne. Diese kooperieren mit dem Hersteller eines Basisfahrzeugs; entweder einem Automobil-OEM oder großen Zulieferer. Als dritter Partner ist häufig ein lokaler Flottenbetreiber für den Vertrieb der Mobilitätsdienstleistung, die Einsatz- und Routenplanung und den gesamten betrieblichen Ablauf zuständig. Einzelne Akteure können auch mehrere Rollen übernehmen.

Technologisch führend sind heute ADS Entwickler aus den USA und China:

- Waymo (Alphabet)
- Cruise (GM, Honda)
- Apollo (Baidu)
- autoX (SAIC Motor)
- WeRide

Sie haben mit Abstand die meisten Test-Kilometer absolviert und für eingeschränkte Bedienbereiche in Kalifornien, Nevada und Arizona bzw. chinesische Großstädte Lizenzen für den fahrerlosen Regelbetrieb ihrer Robo-Taxen erhalten. Allerdings muss man festhalten, dass auch die Fahrzeuge dieser Anbieter bei starken Niederschlägen oder Schnee den Betrieb aus Sicherheitsgründen einstellen. Und das amerikanische Straßennetz ist – aus europäischer Sicht – ausgesprochen großzügig und übersichtlich. Weitere ADS-Entwickler aus den USA und Asien sind zoox (Amazon), Motional (Hyundai), Aurora (Uber), pony.ai (Toyota) oder Momento.

In Europa kooperieren verschiedene Fahrzeughersteller und Betreiber, wie z. B. Holon (Benteler Group), Moia (Volkswagen), ioki (DB), MAN oder Sixt mit dem israelischen Unternehmen Mobileye (Intel). Anders als in den USA scheint in Europa nicht der ADS-Entwickler Treiber der Entwicklung zu sein.

Die etablierten Fahrzeughersteller und Zulieferer haben allesamt ihre Ambitionen begraben, eine

<sup>22</sup> [Parkshuttle Rivium](#), bzw. [Wikipedia](#)

<sup>23</sup> [Global Navigation Satellite System](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

autonome Fahrfunktion (SAE Level 4) selbst zu entwickeln. Sie liefern nur mehr die Fahrzeugplattform; entweder angepasste Großraum-Pkw (OEM) oder spezielle Shuttle (Zulieferer). Ein eigenes ADS entwickelt nur mehr das französische Startup EasyMile.

In Deutschland wurden in den vergangenen fünf Jahren zahlreiche fahrerlose Shuttle-Anwendungen (Linienbetrieb) im öffentlichen Straßenraum demonstriert<sup>24</sup>. Die Fahrzeuge stammten überwiegend von den französischen Herstellern Navya und Easymile. Zulassungsrechtlich handelte es sich jeweils um assistierten Fahrbetrieb mit einem aufmerksamen Sicherheitsfahrer im Fahrzeug, der bei Bedarf eingreifen konnte (und musste).

In anderen Projekten wurde das Konzept der Sammeltaxis als Ergänzung zum bestehenden, öffentlichen Verkehr erprobt<sup>25</sup>. Zum Einsatz kamen Kleinbusse mit menschlichen Fahrern. Die Erprobung zielte primär auf die Bündelung von Fahrtwünschen, die dynamische Routenplanung und die Akzeptanz des Konzepts bei den Kunden. Im Gegensatz zu den Aktivitäten in den USA und China wurden in keinem Projekt autonome Fahrfunktionen für Robotaxis im öffentlichen Straßenraum demonstriert.

Gegenwärtig fördert das BMDV Projekte zur Einführung des autonomen Fahrens im Regelbetrieb. Bislang gibt es jedoch noch kein Fahrzeugmodell mit einer autonomen Fahrfunktion, die nach AFZBV<sup>7</sup> vom KBA zugelassen wurde. Einige Shuttle-Hersteller (Holon, Easymile) haben angekündigt, in den nächsten zwei Jahren einen Zulassungsantrag stellen zu wollen.

Bei den Robotaxis hat Mobileye offensichtlich einen Rückzieher gemacht, in nächster Zeit die Zulassung für den autonomen Fahrbetrieb seiner Nio ES8 Flotte in Hessen zu beantragen<sup>26</sup>. Es ist offen, wie sich diese Entscheidung auf andere Kooperationen von Mobileye auswirken wird – die meisten deutschen Implementierungsprojekte setzen auf die ADS der Israelis.

Problematisch sind nach Aussage einiger Hersteller Anforderungen der StVO<sup>27</sup> und der BO-Kraft<sup>28</sup>, die nichts mit der eigentlichen Fahraufgabe zu tun haben, die aber ohne Fahrpersonal im Fahrzeug nicht einfach zu lösen seien.

## Fazit

Im Bereich der Pkw scheinen sich viele Hersteller auf das freihändige Fahren mittels komfortorientierter Fahrerassistenzsysteme<sup>20</sup> (SAE Level 2+) zu konzentrieren. Der Fahrzeugführer muss die Fahrzeugsteuerung dann nicht mehr aktiv durchführen, den Fahrbetrieb jedoch dauerhaft überwachen und bei Bedarf eingreifen. Die Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers wird mittels Innenraumüberwachung sichergestellt. In Europa sind diese Assistenzsysteme noch nicht regulär zulassungsfähig.

Auch wenn Mercedes und BMW die Machbarkeit grundsätzlich nachgewiesen haben: ob und wann Fahrzeugautomatisierung nach SAE Level 3 den Massenmarkt der Pkw noch erreicht, ist gegenwärtig nicht absehbar. Vergleichbares gilt für autonome Fahrfunktionen. Mercedes / Bosch haben eine Betriebserlaubnis für Valet Parking erhalten – eine zügige Einführung im Massenmarkt ist jedoch nicht absehbar. In beiden Fällen besteht das Hemmnis eher im Geschäftsmodell als in der technischen Machbarkeit.

Amerikanische und chinesische Hersteller haben unter günstigen Rahmenbedingungen die technische Reife von autonomen Fahrfunktionen (ADS) für Robotaxis und Shuttles gezeigt. Aber auch sie sind noch weit von einem skalierbaren, gewinnbringenden Geschäftsmodell entfernt. Viele Fragen der Akzeptanz, der verkehrlichen Wirkungen und der Auswirkungen auf den urbanen Stadt- raum sind noch ungeklärt.

Europa und insbesondere Deutschland sind beim autonomen Fahren technologisch ins Hintertreffen geraten hinterher. Es gibt kein deutsches Unternehmen, das eine eigene autonome Fahrfunktion (ADS) entwickelt. Holon (Benteler Group) will ein Shuttle bauen; Volkswagen erwägt den Bau eines kleinen Spezialfahrzeugs als Basis für Robotaxi Anwendungen. Beide setzen auf das ADS von Mobileye. Daimler Truck beabsichtigt, auf dem US Markt seine Freightliner Lkw mit einer autonomen Fahrfunktion (Kooperation mit Waymo) anzubieten. Continental, ZF und Bosch bieten AD-Komponenten, aber kein (prototypisches) fahrerloses Fahrzeug. Zuletzt hat Continental seine Shuttle-Aktivitäten (ARAIV) eingestellt.

<sup>24</sup> [Autonome Busse in Deutschland: Liste & Details der Projekte](#)

<sup>25</sup> [Liste ÖV-Ridepooling](#) bzw. [Liste Ridepooling](#)

<sup>26</sup> [Autonomes Fahren: Rückschlag fürs selbstfahrende Auto \(handelsblatt.com\)](#)

<sup>27</sup> [Straßenverkehrs-Ordnung](#)

<sup>28</sup> [Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

## Anwendungsfälle

### Autobahnpilot

Trotz der hohen Fahrgeschwindigkeiten bieten Autobahnen und vergleichbare zweibahnige Schnellstraßen (Kraftfahrstraßen) gute Rahmenbedingungen für automatisierten bzw. fahrerlosen Betrieb:

- Richtungsfahrbahnen ohne Gegenverkehr,
- i.d.R. richtlinienkonforme Trassierung mit breiten Fahrspuren und großen Radien,
- i.d.R. Fahrbahnmarkierungen in hoher Qualität,
- planfreie Anschlussstellen (Ausfädeln und Einfädeln) mit wenigen Konfliktpunkten,
- kein Rad- und Fußverkehr.

Insbesondere auf langen Autobahnstrecken bietet sich ein hohes ökonomisches Potenzial für Automatisierungsfunktionen. Dies gilt gleichermaßen für den Pkw- wie für den Güterverkehr. Der Fahrzeugführer kann über einen längeren Zeitraum von der Fahraufgabe entlastet werden und kann sich ggf. anderen (produktiven) Aufgaben zuwenden. Im fahrerlosen Betrieb können ggf. Personalkosten eingespart werden. Ein Fahrzeug mit automatisierten Fahrfunktionen sollte:

- im Verkehr mitschwimmen und übliche Autobahngeschwindigkeiten (in Deutschland ca. 130 km/h für Pkw und 80 km/h für Lkw) erreichen. Das erfordert eine technische Voraussicht von mehreren hundert Metern.
- selbständig ein langsames Fahrzeug überholen können, mit Spurwechseln. Dazu müssen hohe Differenzgeschwindigkeiten zu anderen Fahrzeugen beherrscht werden.
- weitgehend alle Betriebszustände einer Autobahn bewältigen, u. a. Dunkelheit, Regen, Schnee, Wind, Tunnel, Baustellen, fehlende Fahrbahnmarkierungen, Autobahnkreuze und -dreiecke mit Rampen und Verteilerfahrbahnen.

Der aktuell von Mercedes angebotene Drive Pilot erfüllt viele dieser Anforderungen noch nicht.

Konzepte für den fahrerlosen Betrieb (insbesondere Lkw) müssen darüber hinaus:

<sup>29</sup> Nach einer technischen Funktionsstörung wird das Fahrzeug einen sicheren Betriebszustand zu erreichen suchen, i.d.R. Anhalten auf dem Seitenstreifen oder in der Fahrspur. Gleiches gilt nach dem situativen Verlassen des festgelegten Betriebsbereichs, z.B. aufgrund widriger Witterungsbedingungen oder Ausleitung auf eine U-Strecke bei Vollsperrung der Richtungsfahrbahn.

- den Übergang ins nachgeordnete Netz, in dem nicht mehr fahrerlos gefahren werden kann, lösen. Ein Fahrzeugführer muss an geeigneter Stelle aus- und zusteigen können.
- die Bergung aus dem sicheren Betriebszustand<sup>29</sup> lösen. Ein Fahrzeugführer muss in akzeptabler Zeit das Fahrzeug erreichen können.
- Als Alternative zu einem Fahrzeugführer in der Kabine wird über teleoperierten Betrieb diskutiert. Ein Lkw-Fahrer würde dazu das Fahrzeug bedarfsweise über eine Funkstrecke fernsteuern. Im öffentlichen Straßenraum ist teleoperierter Betrieb aus Sicherheitsgründen heute noch nicht zulässig.

Aufgrund der weit weniger strukturierten Rahmenbedingungen sind vergleichbare Anwendungen (Piloten) für den Stadtverkehr oder die Landstraße noch herausfordernder. Aufgrund der hohen Fahr- und Differenzgeschwindigkeit und geringem Abstand zum Gegenverkehr gilt der Landstraßenverkehr gemeinhin als die schwierigste Anwendung.

### Automated Valet Parking

Schon sehr früh wurde das selbständige Anfahren eines Parkstandes als potenzieller Anwendungsfall des fahrerlosen Fahrens identifiziert. Aktuelle Konzepte fokussieren auf Parkstände in einer Parkieranlage<sup>30</sup> (Parkhaus oder Tiefgarage) außerhalb des Straßenraums. Die fahrerlose Fahrt zum Parkstand erfolgt mit niedriger Geschwindigkeit. Ein wesentliches Merkmal von Valet Parking ist der hybride Betrieb, d. h. das Fahrzeug wird im Straßenverkehr regulär von einem Fahrzeugführer gesteuert.

Abzugrenzen ist Valet Parking von Park-Assistenten, die vom Fahrzeugführer entweder aus dem Fahrzeug oder unmittelbar neben dem Fahrzeug überwacht werden.

Herausforderungen für Valet Parking:

- Bei Valet Parking handelt es sich um autonomen (fahrerlosen) Betrieb<sup>31</sup>, d. h. bei Störungen steht ein Fahrzeugführer als Rückfallebene nicht zur Verfügung. Es ist ein Störfallkonzept erforderlich, um ggf. ein Fahrzeug aus dem sicheren Betriebszustand (Stillstand) bergen zu

<sup>30</sup> Ende 2022 haben Mercedes und Bosch die KBA-Freigabe für den Level 4 Intelligent Park Pilot erhalten. In entsprechend ausgerüsteten Parkhäusern kann das Fahrzeug fahrerlos manövrieren und selbständig auf einen freien Stellplatz fahren.

<sup>31</sup> S.a. [Technischer Anforderungskatalog für die autonome Fahrfunktion „Automated Valet Parking \(AVP\)“](#) (11.10.2022)

# Fachinformation Autonomes Fahren

- können. Dazu muss i. d. R. Personal vor Ort vorgehalten werden.
- Nach deutschem Rechtsrahmen muss der Betriebsbereich für den autonomen Betrieb des konkreten Fahrzeug(typ)s vorab festgelegt und genehmigt werden. Das ist für einzelne Parkierungsanlagen vorstellbar; für den Straßenraum eher nicht.
  - Auch wenn das Fahrzeug mit Valet Parking Funktion i. d. R. von einem Fahrzeugführer gesteuert wird, sind zusätzliche Anforderungen für Fahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen hinsichtlich Wartung, Prüfung und Dokumentation der Betriebssicherheit einzuhalten.
  - Die Verortung und Orientierung des Fahrzeugs in einer mehrgeschossigen Parkierungsanlage sind anspruchsvoll. Satellitennavigation funktioniert in Gebäuden nicht zuverlässig. Das Fahrzeug benötigt ein aktuelles, dreidimensionales Modell der Parkierungsanlage mit geeigneten visuellen oder elektronischen Landmarken zur Orientierung. Idealerweise wird ihm von der Infrastruktur ein geeigneter, freier Parkstand zugewiesen. In Summe bedeutet dies, dass die Parkierungsanlage kartiert und mit technischer Infrastruktur ausgestattet werden muss. Der Betreiber der Parkierungsanlage sollte auch die Rolle der technischen Aufsicht übernehmen.
  - Sofern die Valet Parking Funktion im öffentlichen Straßenraum zur Anwendung kommen soll, muss das Fahrzeug alle Anforderungen des Stadtverkehrs erfüllen. Es muss im fließenden Verkehr mitschwimmen und mit anderen, auch nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern umgehen können.

Die betrieblichen Anforderungen an Valet Parking führen dazu, dass diese Komfortfunktion vermutlich nur zu einem hohen Kostenpunkt angeboten werden kann – eine große Herausforderung für ein erfolgreiches Geschäftsmodell.

Eng verwandt ist das fahrerlose Fahren auf Betriebshöfen, z. B. das Umsetzen von Linienbussen zwischen Tankstelle, Waschhalle, Werkstatthalle und Abstellfläche im Depot. Gegenüber Valet Parking für Pkw sind die Voraussetzungen in einigen Punkten geringer:

- Es muss i. d. R. nur ein einziger Betriebshof für den fahrerlosen Betrieb ertüchtigt und als festgelegter Betriebsbereich genehmigt werden (Insellösung). Auf dem Betriebshof steht geeignetes Personal für das Störfallmanagement zur Verfügung.
- Der Flottenbetreiber hat i. d. R. bereits eine Leitstelle mit Disponenten, die als technische Aufsicht dienen können.
- Die eingesparten Personalkosten für Kraftfahrer sind betriebswirtschaftlich wirksam, so dass klare Kosten-Nutzen-Rechnungen angestellt werden können.

## Platooning

Bis etwa 2020 wurde das Konzept des Lkw-Platooning intensiv verfolgt. Mehrere Lkw fahren in einem geschlossenen Verband, wobei nur das erste Fahrzeug von einem Fahrzeugführer gesteuert wird. Die weiteren (zwei oder drei) Lkw sind digital gekoppelt, d. h. sie bremsen und beschleunigen synchron und folgen dem ersten Lkw in der Fahrspur. Einsparungen wurden unmittelbar durch geringeren Kraftstoffverbrauch aufgrund des reduzierten Luftwiderstands und langfristig durch eingesparte Personalkosten erwartet. Lkw Platooning erreichte mit der European Truck Platooning Challenge unter der niederländischen Ratspräsidentschaft 2016 seinen medialen Höhepunkt. Bis Ende des Jahrzehnts wurden mehrere Evaluierungsprojekte durchgeführt, auch in Deutschland. Die Ergebnisse waren jedoch ernüchternd<sup>32</sup>:

- In den Betriebsgenehmigungen für die Tests wurde aus Sicherheitsgründen ein Mindestabstand von 25 Metern<sup>33</sup> eingefordert. Das führte dazu, dass immer wieder Pkw (vereinzelt sogar Lkw) zwischen den verbundenen Fahrzeugen einscherten.
- Auf hoch belasteten, europäischen Autobahnen mit kurzen Abständen zwischen Anschlussstellen mussten die Platoons sehr häufig aufgelöst werden, um anderen Fahrzeugen das Aus- und Einfahren auf die Autobahn zu ermöglichen.
- Die realen Kraftstoffeinsparungen waren in der Folge weitaus geringer als erhofft.
- Die elektronisch angehängten Lkw fahren nur während der Folgefahrt automatisiert. In

<sup>32</sup> [DVZ \(03.02.2020\) \(K\)eine Chance für das Truck-Platooning?](#)

<sup>33</sup> Der reguläre Mindestabstand für Lkw auf deutschen Autobahnen beträgt 50 m.

# Fachinformation Autonomes Fahren

jedem Lkw ist ein Fahrzeugführer erforderlich, der auch als Rückfallebene bei Störungen zur Verfügung stehen muss. Die Arbeitszeit im fahrenden Fahrzeug ist deshalb weder Ruhepause noch Ruhezeit<sup>34</sup>.

Einsparungen bei den Personalkosten sind so kurzfristig nicht zu erreichen.

- In den meisten europäischen Ländern war die Bereitschaft der nationalen Ministerien bzw. Straßenverkehrsbehörden gering, die rechtlichen Voraussetzungen für Platooning in den Straßenverkehrsordnungen zu schaffen.

Ein tragfähiges Geschäftsmodell für Truck-Platooning ist derzeit nicht absehbar. Die Transportbranche setzt perspektivisch auf autonome Fahrzeuge (SAE Level 4), die ganz ohne Fahrpersonal unterwegs sind (s. Autobahn-pilot).

## Fahrerloser Linienverkehr

Aktuelle Entwicklungen zum autonomen Fahren im Personenverkehr haben primär den städtischen Verkehr im Blick. In Europa dominieren bislang Anwendungen mit einer vorab festgelegten Fahrstrecke und festen Haltestellen. Bei den Versuchsträgern ohne Fahrerarbeitsplatz handelt es sich überwiegend um kleine bis mittlere Fahrzeuge (ca. acht bis 20 Passagiere) mit elektrischem Antrieb (Shuttle). Ein Sicherheitsfahrer kann das Fahrzeug bei Bedarf stoppen und über eine Hilfssteuerung rangieren. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt typischerweise bis zu 40 km/h. Einsatzbereiche der Versuchsträger sind zumeist große Privatgelände, wie Universitäts- oder Klinikstandorte, Firmengelände, Messen, Flughäfen sowie Innenstadtlagen. Eine betriebliche oder tarifliche Integration in das bestehende ÖV-Angebot hat bislang nicht stattgefunden.

Der innerstädtische Linienverkehr bietet einige besondere Herausforderungen aber auch Vereinfachungen:

- Gerade in Innenstadtlagen ist die Nutzungsdichte hoch und der Verkehrsraum ständigen Veränderungen unterworfen. Das autonome Fahrzeug wird häufig mit regelwidrigem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, auch im ruhenden Verkehr, konfrontiert. Der Fahrweg

muss kurzfristig (z. B. Falschparker, Ladevorgang) und mittelfristig (z. B. Baustelle) häufig angepasst werden.

- In Innenstadtlagen und Campus-Verkehren trifft ein autonomes Fahrzeug regelmäßig auf nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer.
- Autonomes Fahren auf einem festgelegten Fahrweg kann durch die Infrastruktur unterstützt werden. Unterstützung reicht von exklusiven Fahrspuren, magnetischen Markern, GNSS<sup>35</sup>-Sendern und optischen Landmarken zur Orientierung bis zu vernetzten Lichtsignalanlagen. Abbiegemanöver können ggf. unter vollem Signalschutz (analog zu Straßenbahnen) stattfinden.
- Ein linearer, ggf. auch verzweigter Fahrweg kann voraussichtlich einfacher geprüft und als festgelegter Betriebsbereich genehmigt werden, als ein flächenhaftes Bediengebiet (Stadt, Stadtviertel).
- Im dichten Innenstadtverkehr sind niedrige Fahrgeschwindigkeiten (um 30 km/h) im ÖPNV akzeptabel. Der Brems- und Anhalteweg sind kurz und die elektronische Sicht muss nicht allzu weit voraus reichen.

Fahrerlose Shuttles oder People Mover werden häufig als Ergänzung des bestehenden ÖPNV in Zeiten und Räumen mit schwacher Nachfrage dargestellt. Es ist offen, ob Linienverkehr das richtige Betriebskonzept für solche Zubringer ist. Für den Einsatz auf Hauptlinien, die für den Linienbetrieb prädestiniert sind, sind die heute getesteten Shuttles zu klein. Grundsätzlich ist der fahrerlose Linienverkehr auch auf große Gefäße, wie Standardlinienbusse oder Gelenkbusse übertragbar. Bei großen Haltestellenabständen und zur Anbindung von ländlichen Räumen ist eine höhere Fahrgeschwindigkeit erforderlich. Gegenwärtig zeichnet sich noch nicht ab, welche Rolle autonome Shuttles im ÖPNV einnehmen können.

## On-Demand Services

Die Alternative zum fahrerlosen Linienverkehr ist bedarfsgesteuerter öffentlicher Verkehr ohne feste Route. Dabei unterscheidet man zwischen Tür-zu-Tür Verkehr (Taxi) und Angeboten mit einer beschränkten Zahl optionaler Haltepunkte. Entsprechend enthält der Betriebsbereich (na-

<sup>34</sup> [Verordnung \(EG\) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006](#) zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr

<sup>35</sup> [Global Navigation Satellite System](#)

# Fachinformation Autonomes Fahren

hezu) alle Straßen eines Bediengebiets oder beschränkt sich auf das Hauptstraßennetz. Die Nutzung kann exklusiv (ride hailing) oder als Sammeltaxi (ride sharing) erfolgen.

Zur Erprobung bedarfsgesteuerter öffentlicher Verkehre werden heute große Pkw (SUV, Van, Mini Bus) mit vier bis sieben Sitzplätzen, ohne Stehplätze, genutzt. Ein Fahrerarbeitsplatz ist vorhanden und wird heute noch von einem Sicherheitsfahrer besetzt.

Die Fahrzeuge müssen mit allen Anforderungen des Stadtverkehrs in ihrem Bedienbereich zu recht kommen; die operative Höchstgeschwindigkeit beträgt typischerweise 60 bis 80 km/h. Im Gegensatz zum liniengebundenen Verkehr ist eine Infrastrukturunterstützung i. d. R. nicht möglich, d. h. das Fahrzeug muss sich ausschließlich mit seiner eigenen Sensorik im Straßennetz orientieren können. Der Passagierwechsel erfolgt – mangels dedizierter Haltestelleninfrastruktur – auf der Fahrbahn und birgt besondere Gefahren durch und für andere Verkehrsteilnehmer, z. B. Radfahrer.

Die besondere Herausforderung des bedarfs-gesteuerten Verkehrs besteht in der umfassenden Abdeckung eines Bediengebiets mit höchst unterschiedlich gestalteten Straßen. Noch mehr als im Linienverkehr muss ein fahrerloses Fahrzeug in der Lage sein, mit nicht regelkonformen Verkehrssituationen und vielfältigen Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, umzugehen.

Technologisch führend sind aktuell amerikanische und chinesische Anbieter, die ihre Fahrzeuge in Kalifornien (USA) und mehreren chinesischen Metropolen erproben. In Deutschland arbeiten unter anderem Moja, Sixt und Ioki an autonomen, bedarfsgesteuerten Verkehrsangeboten.

## Assistenzsysteme

Unter dem Oberbegriff der Assistenzsysteme wird eine Vielzahl von Fahrzeugfunktionen zusammengefasst, die den Fahrzeugführer bei der Fahraufgabe unterstützen.

### Kategorie A: Informierende Systeme

Informierende Systeme sind am weitesten verbreitet. Kontextabhängig informieren oder warnen sie den Fahrzeugführer in oder vor besonderen Risiken; der Fahrer bleibt aber in Verantwortung, die Information zu prüfen, zu bewerten und

entsprechend zu handeln. Da informierende Systeme nicht in sicherheitskritische Fahrfunktionen (Lenkung, Bremse) eingreifen, lassen sie sich oftmals auch nachrüsten. Beispiele sind:

- Geschwindigkeitsassistent warnt beim Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.
- Abstandswarner warnt beim Unterschreiten des Sicherheitsabstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug.
- Spurwechselassistent (Totwinkelwarner) warnt vor einem Fahrzeug im toten Winkel
- Müdigkeitswarner warnt bei unkonzentriertem Lenkverhalten
- Rückfahrkamera oder Birds View verbessert die Übersicht beim Rangieren

Diese Assistenzsysteme sind i. d. R. bei Fahrtritt aktiv. Sie lassen sich ggf. einmalig oder dauerhaft deaktivieren.

### Kategorie B: Dauerhaft eingreifende Systeme

Nur hier finden sich komfortorientierte Assistenzsysteme im Sinne der oben diskutierten Fahrzeugautomatisierung. Im Gegensatz zu den beiden anderen Kategorien ist das Ziel weniger die Verbesserung der Verkehrssicherheit als die Steigerung des Komforts. Es besteht das Risiko, dass Fahrer sich zu sehr auf komfortorientierte Assistenzsysteme verlassen und verzögert oder gar nicht eingreifen, wenn das Assistenzsystem an seine Grenzen kommt oder fehlerhaft arbeitet. Beispiele sind:

- Tempomat, Abstandsregeltempomat, auch mit automatischem Anhalten und Anfahren oder automatischer Anpassung der Zielgeschwindigkeit an Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Streckenverlauf.
- Spurhalteassistenten
- Einparkfunktionen

Dauerhaft eingreifende Systeme sind bei Fahrtbeginn ausgeschaltet und werden vom Fahrzeugführer aktiviert. Das Assistenzsystem prüft i. d. R. ob der Anwendungsbereich (operational design domain ODD) eingehalten wird.

### Kategorie C: Notfall Systeme

Beiträge zur Verkehrssicherheit werden überwiegend von dieser Gruppe der Assistenzsysteme erbracht. Beispiele:



# Fachinformation Autonomes Fahren

- Das Antiblockiersystem optimiert die Bremsleistung auf glattem und ungleichmäßigem Untergrund
- Die elektronische Stabilitätskontrolle verhindert durch gezielte Brems- und ggf. Lenkeingriffe, dass das Fahrzeug um seine Hochachse schleudert.
- Notbremssysteme leiten vor einer drohenden Kollision selbständig eine Bremsung ein. Je nach Ausführung werden andere Fahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer und stehende Hindernisse erkannt.
- Die Notfallspurhaltung greift nur dann in die Lenkung ein, wenn das Fahrzeug im Begriff ist, die Fahrspur, bzw. die Fahrbahn zu verlassen. (Die Grenze zum komfortorientierten Spurhalteassistenten ist unscharf.)

Diese Assistenzsysteme sind bei Fahrtantritt immer aktiv (default on) und können ggf. vom Fahrzeugführer einmalig deaktiviert werden. Die Eingriffsschwelle ist hoch, so dass Fahrzeugführer sich dieser Systeme i. d. R. gar nicht bewusst sind.

Herausgeber  
ADAC e. V.  
Ressort VEK  
Hansastraße 19  
80686 München