

2. Teil: Selbstfahrende Fahrzeuge

Ausgangspunkt dieser Arbeit sind selbstfahrende Fahrzeuge. Daher ist es zunächst notwendig, die damit verbundenen Begriffe terminologisch zu erfassen. Anschließend werden die technischen Grundlagen sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen erläutert und auf die Potenziale und Risiken des autonomen Fahrens eingegangen.

A. Begriffsdefinitionen

In der juristischen Debatte über die Haftung im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen besteht die Notwendigkeit klarer Begriffsdefinitionen. Im Folgenden sollen deshalb zunächst die grundlegenden Begrifflichkeiten für die Untersuchung in dieser Arbeit definiert werden.

I. Notwendigkeit von klaren Begriffsdefinitionen

Häufig wird in Schrifttum und in der Öffentlichkeit der Begriff „autonomes Fahrzeug“ verwendet, um Fahrzeuge, die Fahraufgaben (teilweise) selbstständig übernehmen können, allgemein zu beschreiben. Das Wort Autonomie kommt aus dem Griechischen und kann mit „Selbstgesetzlichkeit“ übersetzt werden. Im allgemeinen Sprachgebrauch hat sich als Übersetzung jedoch Unabhängigkeit bzw. Selbstständigkeit durchgesetzt.³³ Ein *autonomes* Fahrzeug ist also im Gegensatz zu einem konventionellen Fahrzeug ein Fahrzeug, das selbstständig fahren kann und nicht auf einen Fahrer angewiesen ist. Eine solche allgemeine Definition hilft jedoch nicht zu bestimmen, welche qualitativen Anforderungen an die Autonomie zu stellen sind. Gilt also ein Fahrzeug bereits als autonom, wenn es selbstständig auf der Autobahn die Spur halten und den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug regeln kann, so dass der Fahrer sogar den Fuß vom Gas und die Hände vom Lenkrad nehmen könnte? Wann ist also ein ausreichender Grad an

³³ Brockhaus Enzyklopädie Online, Stand 1.6.2023, <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/autonomie-allgemein>.

Autonomie erreicht, um von einem *selbstfahrenden* Fahrzeug sprechen zu können?

Zum autonomen Fahren als vergleichsweise jungem und interdisziplinärem Forschungsfeld gibt es eine unüberschaubare Vielzahl von Publikationen, deren Zahl exponentiell wächst.³⁴ Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, dass ein Großteil der Terminologie weder disziplinär noch interdisziplinär einheitlich verwendet wird, zumal das autonome Fahren eine Reihe weiterer Forschungsfelder, wie Robotik oder KI, berührt, in denen ebenfalls Unklarheit über die Bedeutung zentraler Begriffe besteht.³⁵

Hinzu kommt, dass sich auch im allgemeinen und medialen Sprachgebrauch undifferenzierte Begrifflichkeiten etabliert haben.³⁶ So wird *automatisiertes* Fahren häufig begrifflich mit *autonomem* Fahren gleichgesetzt.³⁷ Für den durchschnittlichen Rezipienten mag dies zur Veranschaulichung ausreichen. Schließlich genügt im Alltag in der Regel das Verständnis, dass Fahrzeuge in bestimmten Fahrsituationen eigenständig Fahraufgaben übernehmen können. Technisch macht es aber einen signifikanten Unterschied, ob ein Fahrzeug jede Verkehrssituation fahrerlos meistern kann oder nur in eingeschränkten Anwendungsszenarien und währenddessen permanent von einem Menschen überwacht werden muss.

Die Unschärfe der Definitionen liegt auch in der Verantwortung der Hersteller und sie kann sogar reale Gefahren bergen. So kommt es immer wieder zu Unfällen bei der Nutzung der früher als „full-self-driving“ be-

34 Die Zahl der Veröffentlichungen in diesem Forschungsfeld steigt exponentiell an, *Fan u. a.*, Key Ingredients of Self-Driving Cars, 2019, S. 1ff.

35 Günther, Robotor und rechtliche Verantwortung, 2016, S. 17 ff.

36 Vgl. *Wolfers*, der gar von „Begriffsverwirrung“ spricht: „Es ist die Rede von ‚selbstfahrend‘, ‚automatisiert‘, ‚assistiert‘, ‚autonom‘, ‚fahrerlos‘, ‚automatisch‘, ‚hochautomatisiert‘, ‚vollautomatisiert‘, ‚teil- und vollständig autonom‘, ‚Level 2, 3, 4 oder 5‘.“ *Wolfers*, RAW 2017, S. 2 (3).

37 Exemplarisch: „Es geht um die gesetzliche Regelung von Stufe 4 des autonomen Fahrens („vollautomatisiert“)“ (...), *Daun*, Missing Link: Autonomes Fahren – ja, wo fahren sie denn? (Teil 1), heise online v. 13.12.2021, https://www.heise.de/hintergrund/Missing-Link-Autonomes-Fahren-Deutschland-will-weltweit-fuehrend-sein-Teil-1-498_6653.html?seite=all; vgl. auch Autonomes Fahren nach Level 3: VW und Bosch schicken erste Fahrzeuge auf die Straße, 2023, <https://t3n.de/news/autonomes-fahren-level-3-vw-bosch-1544827/>; *Gropp/Schäfers*, Vorfahrt für autonome Autos, FAZ v. 11.2.2021, S. 15, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/vorfahrt-fuer-autonome-autos-17191322.html>; *Wüst*, Autonome Sonntags-fahrer, Der SPIEGEL 13/2018 v. 24.3.2018, S. 118, <https://www.spiegel.de/wissenschaft/autonome-sonntagsfahrer-a-28c0326a-0002-0001-0000-000156458065>.

zeichneten Funktion von Tesla,³⁸ weil die Nutzer darauf vertraut waren, dass sie bei Verwendung dieses Fahrmodus nicht mehr auf das Verkehrsgeschehen achten müssten.³⁹ Technisch gesehen handelte es sich bei der von Tesla beworbenen Steuerungsfunktion jedoch keineswegs um eine hoch- oder vollautomatisierte oder gar autonome Fahrfunktion, sondern lediglich um ein erweitertes Fahrerassistenzsystem, bei dessen Nutzung der Fahrer weiterhin zur ständigen Überwachung der Fahrzeugsteuerung verpflichtet ist.⁴⁰ Das *LG München I* untersagte daher die Werbung mit Aussagen wie „Volles Potential für autonomes Fahren“ oder die Verwendung der Bezeichnung „Autopilot“, da der Eindruck erweckt werde, das Fahrzeug sei tatsächlich zum autonomen Fahren fähig, obwohl dies weder technisch noch rechtlich möglich sei.⁴¹ In einem anderen Fall hat das *LG München I* einen Sachmangel bejaht, wenn ein mit einer „Autopilotfunktion“ beworbener Tesla verkauft wird, dessen Software aber nicht einmal in der Lage ist, kleine Schilder oder Hindernisse auf der Autobahn oder im Stadtverkehr zu erkennen.⁴²

Zur „Begriffsverwirrung“⁴³ trägt auch der Gesetzgeber selbst bei, der im Gesetz zum autonomen Fahren aus dem Jahr 2021 erstmals Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen begrifflich einführt, die aber terminologisch in die Gruppe der vollautomatisierten Fahrzeuge fallen.⁴⁴ Da

38 *Allen*, There's been a whopping 736 Tesla crashes involving Autopilot mode and 17 deaths since 2019, report finds, *Business Insider* v. 10.6.2023, <https://www.businessinsider.com/tesla-crashes-involving-autopilot-mode-soar-since-2019-report-finds-2023-6>; nachdem Tesla nach der Häufung derartiger Unfälle auf die Bezeichnung verzichtete, wird mittlerweile wieder mit „full-driving-capabilities“ geworben, *Hawkins*, Tesla's controversial 'full self-driving' version of Autopilot is back, *The Verge* v. 28.2.2019, <https://www.theverge.com/2019/2/28/18245370/tesla-autopilot-full-self-driving-musk-2019>.

39 *Heilweil*, Tesla needs to fix its deadly Autopilot problem, *Vox* v. 26.2.2020, <https://www.vox.com/recode/2020/2/26/21154502/tesla-autopilot-fatal-crashes>; s.a. *Wolfers*, *RAW* 2017, S. 2.

40 Die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) stufte die Autopilot-Funktion lediglich als teilweise automatisierte Fahrfunktion ein, was bedeutet, dass der Fahrer weiterhin verpflichtet ist dauerhaft aufmerksam zu sein und das Fahrzeug in jeder Fahrsituation selbst zu kontrollieren, *NHTSA*, Automatic vehicle control systems – investigation of Tesla accident, 2017, S. 5.

41 *LG München I*, Urt. v. 14.7.2020 – 33 O 14041/19, Rn. 63 (MMR 2020, 874).

42 *LG München I*, Urt. v. 17.6.2022 – 4 O 3834/19, Rn. 55 ff. (DAR 2022, 509).

43 *Wolfers*, *RAW* 2017, S. 2 (3); *Hartmann*, *PHi* 2016, S. 114 f.; vgl. auch *Kleemann/Arzt*, *RAW* 2021, S. 99 (100 f.).

44 Dieser Umstand wird erst in der Gesetzesbegründung klargestellt: Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrs-

gerade in Haftungsfragen ein einheitliches Verständnis der verwendeten Begriffe notwendig ist, bedarf es konsistenter Kriterien, anhand derer sich einordnen lässt, ab wann ein Fahrzeug als *automatisiert*, *autonom* oder *selbstfahrend* im Sinne dieser Arbeit angesehen werden kann.

II. Taxonomie

An erster Stelle kann zunächst ein Blick auf bestehende Klassifizierungen geworfen werden. Grundsätzlich ist allen Taxonomien gemeinsam, dass der Grad der Automatisierung bzw. Autonomisierung eines Fahrzeugs dadurch bestimmt wird, inwieweit der Fahrer bei der Längs- bzw. Querführung des Fahrzeugs unterstützt bzw. ersetzt wird. Die Längsführung umfasst das Bremsen und Beschleunigen des Fahrzeugs, die Querführung dagegen das Lenkverhalten.⁴⁵ Je größer der Anteil der Fahraufgaben ist, der vom Steuerungssystem übernommen wird, desto höher ist der Automatisierungsgrad.

In der internationalen Automobilindustrie hat sich das Stufenmodell der SAE International vom Januar 2014 bewährt,⁴⁶ auf das sich inzwischen auch viele Forschungsgruppen international verständigt haben.⁴⁷ Die SAE-Taxonomie geht in ihrer Logik auf die Arbeiten des Runden Tisches „Automatisiertes Fahren“⁴⁸ zurück, die sich wiederum auf ein Projektpapier der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)⁴⁹ beziehen.⁵⁰ Es werden fünf Stufen: Stufe 0 „Driver only“, Stufe 1 „Assistiert“, Stufe 2 „Teilautomatisiert“, Stufe 3 „hochautomatisiert“ und Stufe 4 „Vollautomatisiert“ unterschieden. Die Automatisierungsstufen ähneln denen der SAE in weiten Teilen, be-

gesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren v. 9.3.21, BT-Drs. 19/27439, S. 16.

45 Gasser u. a., Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, 2012, S. 9.

46 Die SAE International ist eine gemeinnützige, internationale Organisation für Technik und Wissenschaft, die sich unter anderem für die Schaffung von Normungen und Standards in der Automobilindustrie einsetzt.

47 So z.B. auch das European Transport Research Advisory Council (ERTAC), welches auf EU-Ebene Interessenvertreter zusammenbringt, um strategische Visionen im Transportsektor zu entwerfen, *ERTAC Working Group „Connectivity and Automated Driving“*, Connected Automated Driving Roadmap, 2019, S. 5; s.a. Winkle, in: Mauer/Gerdes/Lenz, Autonomes Fahren, 2015, S. 351 (353).

48 Gesetzesentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes v. 20.2.2017, BT-Drs. 18/I1300, S. 12 f.; *Runder Tisch Automatisiertes Fahren*, Bericht zum Forschungsbedarf, S. 3 u. Anh. 5, S.11 f.

49 Gasser u. a., Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, 2012, S. 8 ff.

50 Leonhardt, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 11.

ziehen sich aber auf die Aufgabenverteilung zwischen Steuerungssystem und Fahrer. Je höher der Automatisierungsgrad, desto weniger Aufgaben verbleiben beim Fahrer. Die Klassifizierungen der SAE sind wesentlich differenzierter und damit aussagekräftiger. Nach der Norm SAE J3016 werden 6 Stufen unterschieden, um den Automatisierungsgrad eines Fahrzeugs zu beschreiben.⁵¹

- Stufe 0: „No Driving Automation“

Auf Stufe 0 hat der Fahrzeugführer die alleinige Kontrolle über das Fahrzeug. Allenfalls werden nicht kontinuierliche Assistenzsysteme wie automatische Notbremssysteme oder Informations- und Warnsysteme eingesetzt.

- Stufe 1: „Driver Assistance“

Auf der nächsten Stufe wird der Fahrer entweder bei der Quer- oder Längsführung des Fahrzeugs unterstützt, muss aber den Rest der Fahraufgabe weiterhin selbst übernehmen. Beispiele sind Abstandsregeltempomat (sog. „*Adaptive Cruise Control*“ oder ACC) oder Spurhalteassistenten.

- Stufe 2: „Partial Automation“

Erst ab Stufe 2 kann von einer Teilautomatisierung des Fahrzeugs gesprochen werden. Auf dieser Stufe wird der Fahrer sowohl bei der Längs- als auch bei der Querführung unterstützt, muss aber die restlichen Fahraufgaben weiterhin selbst übernehmen und die Assistenzsysteme dauerhaft überwachen und jederzeit eingreifen können. Dies sind kombinierte Längs- und Querführungssysteme, z.B. ein Autobahnassistent, der gleichzeitig Spur und Abstand halten kann, oder teilautomatisierte Einparksysteme, bei denen der Fahrer nur noch den Einparkvorgang überwachen muss.

- Stufe 3: „Conditional Driving Automation“

Ab Stufe 3 kann sich der Fahrer unter bestimmten Betriebsbedingungen (sog. *Operational Design Domain* oder ODD) auch vom Verkehrsgeschehen abwenden. Das Fahrzeug übernimmt die komplette dynamische Fahraufgabe (sog. *Dynamic Driving Task* oder DDT), muss aber immer als Rückfallebene (sog. *DDT Fallback*) zur Verfügung ste-

51 Vgl. für die folgenden Ausführungen SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2018, S. 19; Leonhardt, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 11 ff.

hen und die Steuerung bei Bedarf übernehmen. Hierzu zählt etwa der 2022 eingeführte Autobahnchauffeur von Daimler, der es dem Fahrer ermöglicht, im Stau oder bei stockendem Verkehr auf der Autobahn bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h die Steuerung an das Fahrzeug abzugeben und sich anderen Dingen zuzuwenden.⁵²

- Stufe 4: „High Driving Automation“

Ab Stufe 4 übernimmt das Fahrzeug unter bestimmten Betriebsbedingungen die kombinierte Längs- und Querführung. Das System übernimmt dauerhaft die Fahrzeugsteuerung einschließlich der Systemüberwachung. Der Fahrer kann sich vollständig vom Verkehrsgeschehen abwenden. Es wird nicht erwartet, dass der Fahrer während dieser Zeit bereit ist, die Fahrzeugsteuerung zu übernehmen. Sofern das Fahrzeug seine eigenen Systemgrenzen erkennt, kann es sich selbstständig in einen risikominimierenden Zustand versetzen (sog. *Minimal Risk Condition* oder MRC). Beispiele hierfür sind das fahrerlose *Valet Parking*, bei dem das Fahrzeug selbstständig und fahrerlos einen Parkplatz in einem Parkhaus sucht und bei Bedarf wieder ausparkt und an zu einem definierten Haltepunkt fährt.⁵³ Als weitere Beispiele können fahrerlose Personen- und Gütertransportsysteme genannt werden.⁵⁴

- Stufe 5: „Full Driving Automation“

In der letzten Stufe übernimmt das Steuerungssystem in allen Verkehrssituationen die Fahraufgabe. Ein solches Fahrzeug benötigt keinen Fahrer mehr. Selbst auf Lenkrad und Gaspedal kann verzichtet werden.⁵⁵

Daneben gibt es noch weitere Klassifizierungen, die sich jedoch nicht wesentlich von denen der SAE unterscheiden.⁵⁶ Darüber hinaus haben auch die Hersteller Klassifizierungen gefunden, um verschiedene Automa-

52 Hubik, A-Klasse, EQB oder CLA Coupé – Daimler rüstet Massenmodelle für hochautomatisiertes Fahren auf, Handelsblatt (online) v. 21.1.2022, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/autoindustrie-a-klasse-eqb-oder-cla-coupe-daimler-ruestet-massenmodelle-fuer-hochautomatisiertes-fahren-auf/27992528.html?tm=login>.

53 Leonhardt, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 38; Wachenfeld u. a., in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 10 (14 ff.).

54 Leonhardt, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 38.

55 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 21.

56 Ebenda, Rn. 20.

tisierungsgrade voneinander abzugrenzen.⁵⁷ Aufgrund der geringen Bedeutung dieser Taxonomien, insbesondere für die rechtliche Beurteilung von Haftungsfragen, wird hierauf jedoch nicht weiter eingegangen.⁵⁸

III. Begriffsverwendung im StVG

Im Jahr 2017 hat der deutsche Gesetzgeber zunächst in den §§ 1a bis 1d StVG den rechtlichen Rahmen für sog. „Fahrzeuge mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen“ geschaffen.⁵⁹ Im Jahr 2021 folgte das Gesetz zum autonomen Fahren, das auch die Zulassung von sog. „Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen“ nach § 1d StVG ermöglicht.⁶⁰ Der deutsche Gesetzgeber greift also hinsichtlich der Fahrzeuge mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen die Klassifizierung der BASt auf, schafft jedoch mit den „Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen“ eine neue Kategorie, die weder BASt noch SAE vorsehen. Zudem wird in § 1a StVG definitorisch nicht zwischen hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen differenziert, sondern für beide Stufen eine gemeinsame Funktionsbeschreibung gegeben.⁶¹ Da der Gesetzgeber in § 1b StVG klarstellt, dass für Fahrzeuge mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen stets ein Fahrzeugführer als Rückfallebene zur Verfügung stehen muss, ist nicht einmal klar, ob die Stufe 4 der SAE-Taxonomie begrifflich überhaupt umfasst ist.

Fahrzeuge mit *autonomen* Fahrfunktionen entsprechen somit den *hoch-automatisierten* Fahrzeugen der Stufe 4 nach SAE-Kriterien. Sie sind daher keineswegs als autonome Fahrzeuge in diesem Sinne anzusehen, da der Betriebsbereich solcher Fahrzeuge weiterhin begrenzt ist.⁶² Das „Gesetz zum autonomen Fahren“ führt insofern nicht das autonome Fahren auf deutschen Straßen ein, zumindest sofern man die Definitionen der gängigen Taxonomien zugrunde legt. Die eigenwillige Verwendung der Begriffe

57 Ebenda, Rn. 22.

58 Sofern im Folgenden Fahrzeugstufen ohne weiteren Kontext benannt werden, ist deshalb auch davon auszugehen, dass auf die Taxonomie der SAE, Bezug genommen wird, da diese auch international die geläufigste und anerkannteste Klassifizierung darstellt.

59 Achtes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrs vom 16.6.2017, BGBl. I, S. 1648.

60 Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren v. 12.7.2021, BGBl. I, S. 3108.

61 Vgl. auch Wagner, Das neue Mobilitätsrecht, 2021, S. 20 f.

62 Kleemann/Arzt, RAW 2021, S. 99 (100).

hoch- und vollautomatisiert sowie autonom wurde daher in der Literatur mit einiger Verwunderung und Kritik zur Kenntnis genommen.⁶³ Insofern sind die gesetzlichen Begrifflichkeiten zur Abgrenzung der verschiedenen Stufen der Fahrzeugautomatisierung nur bedingt geeignet.

IV. Begriffsdefinitionen im Rahmen dieser Arbeit

Da in dieser Arbeit nur die Haftungsfrage untersucht werden soll, die sich stellt, wenn Fahrzeuge Schäden verursachen, die bestimmungsgemäß nicht mehr von einem Menschen gesteuert werden, kommt es auf die in § 1a und 1d StVG verwendeten Begrifflichkeiten nur bedingt an. Entscheidend ist vielmehr, ob in technischer Hinsicht ein gewisser Grad an Autonomie erreicht ist. Die Taxonomie der SAE erscheint daher zur Klassifizierung der jeweiligen Automatisierungsstufe wesentlich besser geeignet.

Insofern bleiben Fahrzeuge der Stufe 2 im Rahmen der nachfolgenden Untersuchung unberücksichtigt. Zweifelsohne können auch diese bis zu einem gewissen Grad einen Großteil der Fahraufgaben eigenständig übernehmen; jedoch erfordert die bestimmungsgemäße Verwendung solcher Funktionen die ständige Überwachung des Systems durch einen Menschen. Solange der Mensch die Verantwortung für das Handeln der Software behält, entsteht auch kein besonderes Autonomierisiko,⁶⁴ das neuartige Haftungsprobleme auslöst.⁶⁵ Der Fahrer bleibt in derartigen Fahrzeugen für die Fahrzeugsteuerung verantwortlich. Nur unter der Prämisse, dass ein Mensch im Falle eines Verkehrsunfalls als unmittelbar Verantwortlicher nicht in Betracht kommt, lässt sich die Frage beantworten, inwieweit das bestehende Haftungsrecht in der Lage ist, die entstehende Verantwortungslücke zu schließen, welche selbstfahrende Fahrzeuge hervorrufen. Die Schwelle wird dabei ab den Stufen 3 (hochautomatisiert) und 4 (vollautomatisiert) der SAE-Taxonomie überschritten. Ab hier wird die Überwachungsaufgabe während der Ausführung der automatisierten bzw. autonomen Fahrfunktion vom System übernommen und die eigenen Limi-

⁶³ *Hilgendorf*, JZ 2021, S. 444 (445); *Steege*, SVR 2021, S. 128 (130); *Kleemann/Arzt*, RAW 2021, S. 99 (100); *Wagner*, Das neue Mobilitätsrecht, 2021, S. 20 f.; *Bodungen*, SVR 2022, S. 1 (2); allgemein zu den Begrifflichkeiten *Hartmann*, PHi 2016, S. 114 (114 f.).

⁶⁴ Zum Begriff des Autonomierisikos siehe 2. Teil: E. II. 4.

⁶⁵ Etwa Teslas Autopilot, der eine andauernde Überwachung durch den Fahrzeugführer erfordert, *Wolfers*, RAW 2017, S. 2.

tierungen müssen vom System erkannt werden. Während der Ausführung solcher Stufe-3/4-Funktionen fährt ein Fahrzeug also eigenständig, ohne menschliche Überwachung. Insofern werden in dieser Arbeit Fahrzeuge der Stufe 3 und 4 untersucht, solange hoch- bzw. vollautomatisierte oder autonome Fahrfunktionen bestimmungsgemäß verwendet werden, für den Fahrzeugführer kein Anlass zur Übernahme der Fahraufgabe bestand und dadurch ein Schaden verursacht wird. Ab Stufe 5 (autonome Fahrzeuge) erfolgt jede Fahrt zwangsläufig fahrerlos, so dass hier nicht auf den situativen Kontext abzustellen ist.

Um für die verschiedenen hier untersuchten Fahrzeugtypen abgrenzbare Begriffe zu verwenden, die gleichzeitig – soweit möglich – mit den gesetzlichen Definitionen übereinstimmen, werden folgende Begriffe verwendet:

- Oberbegriff für Fahrzeuge nach §§ 1a ff. StVG und §§ 1d ff. StVG bzw. der SAE-Stufen 3 und 4: „automatisierte Fahrzeuge“
- Fahrzeuge der SAE-Stufe 5: „autonome Fahrzeuge“
- Oberbegriff für 1. und 2.: „selbstfahrende Fahrzeuge“

Um das Phänomen selbstfahrender Fahrzeuge allgemein zu beschreiben, wird der Begriff „autonomes Fahren“ verwendet. Erst wenn es darauf ankommt, die einzelnen Stufen der Fahrzeugautomatisierung im gesetzlichen Sinne voneinander abzugrenzen, werden diese als Fahrzeuge mit „hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrfunktionen“, oder Fahrzeuge mit „autonomen Fahrfunktionen“ i.S.d. § 1a bzw. § 1d StVG bezeichnet.

B. Technische Voraussetzungen für das autonome Fahren

Nachdem geklärt ist, ab wann von einem selbstfahrenden bzw. von einem automatisierten oder autonomen Fahrzeug gesprochen werden kann, soll nun erläutert werden, wie die Fahrzeugautonomie technisch zu verstehen ist. Die Klassifizierungen der SAE oder der BASt geben lediglich einen Überblick über den Umfang der eingesetzten (teil-)autonomen Fahrfunktionen. Die Taxonomien treffen jedoch keine Aussagen darüber, wie die technischen Anforderungen umgesetzt werden, und vor allem auch nicht, welche konkreten Konsequenzen sich hieraus ergeben. Ein Verständnis der technischen Voraussetzungen, welche die Autonomie eines Fahrzeugs ermöglichen, ist jedoch für die Bestimmung der haftungsrechtlichen Implikationen unerlässlich.

I. Systemisches Verständnis von selbstfahrenden Fahrzeugen

Um die besonderen haftungsrechtlichen Herausforderungen im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen zu erfassen, ist zunächst ein Blick auf deren technische Besonderheiten erforderlich. Konventionelle Fahrzeuge bestehen aus vielen Einzelteilen, die zusammengenommen das Fahrzeug bilden. Es handelt sich gleichwohl um eine körperlich abgrenzbare Sache.

Bei selbstfahrenden Fahrzeugen steht dagegen nicht allein das physisch vorhandene Fahrzeug im Vordergrund, sondern die Software, die das autonome Fahren erst ermöglicht. Zwar sind auch Fahrwerk, Motor, Karosserie oder Innenraum für den Betrieb unerlässlich, das Herzstück eines selbstfahrenden Fahrzeugs ist jedoch das Zusammenspiel von Software, Sensorik und Aktorik.

Durch die Verknüpfung von Hard- und Software – insbesondere durch den Einsatz von KI-Systemen und die Möglichkeit der Fahrzeugvernetzung – ist das autonome Fahrzeug nicht mehr nur ein physisches Objekt, sondern ein eigenständiges, physisch und virtuell existierendes System, das sich bei Bedarf flexibel an veränderte Umweltbedingungen anpassen kann. Da selbstfahrende Fahrzeuge – je nach Automatisierungsgrad – auch in der Lage sind, mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Verkehrsinfrastruktur zu kommunizieren und zu kooperieren sowie kontinuierlich Daten mit dem Hersteller auszutauschen, ist nicht mehr klar, wo die Systemgrenzen solcher Fahrzeuge verlaufen. Gerade bei der Vernetzung vieler unterschiedlicher Akteure sind Verantwortlichkeiten schwer zuzuordnen und Kausalitäten kaum zu bestimmen.⁶⁶ Nicht wenige Autoren verwenden daher auch in diesem Zusammenhang den Begriff „autonome Systeme“, um selbstfahrende Fahrzeuge, aber auch andere selbstständig agierende Softwaresysteme zu beschreiben.⁶⁷

Ebenso umstritten wie die Definition von automatisierten und autonomen Fahrzeugen ist der Begriff des autonomen Systems. Weder wird

⁶⁶ *Hilgendorf*, in: BMUV/Rostalski, Künstliche Intelligenz, 2022, S. 71 (75); *Sommer*, Haftung für autonome Systeme, 2020, S. 45 f.

⁶⁷ So etwa: *Borges*, NJW 2018, S. 977 ff.; *Wagner*, AcP 2017, S. 707 ff.; *Schirmer*, JZ 2019, S. 711 ff.; *Böhringer*, RAW 2019, S. 13 ff.; *Kluge/Müller*, in: *Taeger*, Smart World – Smart Law?, 2016, S. 989 ff.; *Grützmacher*, CR 2016, S. 695 ff.; *Horner/Kaulartz*, CR 2016, S. 7 ff.; *Zech*, Entscheidungen digitaler autonomer Systeme, 2020; *Thöne*, Autonome Systeme und deliktische Haftung, 2020; *Kirn/Müller-Hengstenberg*, Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme, 2016.

eine einheitliche Terminologie verwendet,⁶⁸ noch sind sich Praxis und Forschung über einheitliche Abgrenzungskriterien einig.⁶⁹

Für die Zwecke dieser Arbeit wird jedoch der Oberbegriff autonome Systeme verwendet, um informationstechnische Systeme zu beschreiben, die in der Lage sind, die reale Welt zu beeinflussen, indem sie eigenständig Entscheidungen treffen, ihr Verhalten planen, Vorhersagen treffen oder Handlungen ausführen, ohne dass sie von Menschen überwacht werden müssen.⁷⁰ Ein autonomes System kann rein virtuell existieren, man spricht dann z.B. von (intelligenten) Softwareagenten,⁷¹ oder es kann mit realen (physischen) Objekten verbunden sein. Solche verkörperten Systeme sind in der Lage, sich mit Hilfe von Sensoren, Steuerelementen und/oder Akto-

68 So existieren eine Vielzahl von Bezeichnungen, die sich teilweise überschneiden, um virtuelle wie verkörperte Systeme zu beschreiben, die einen gewissen Autonomiegrad besitzen: „autonom agierende Systeme“ (Schulz, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015); Hanisch, in: Hilgendorf/Beck, Robotik im Kontext von Recht und Moral, 2014, S. 27; „autonome“ bzw. „digitale Softwareagenten“ (Teubner, AcP 2018, S. 155; Grapentin, Vertragsschluss und vertragliches Verschulden beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Softwareagenten, 2018; Kirn/Müller-Hengstenberg (2015) 29 KI 59); „Roboter“ (Europäisches Parlament 2014–2019, P8_TA-PROV(2017)0051, Zivilrechtliche Regelungen im Bereich Robotik, Entschließung des Europäischen Parlaments v. 16.2.2017 mit Empfehlungen an die Kommission zu zivilrechtlichen Regelungen im Bereich Robotik (2015/2103(INL)); Beck, JR 2009, S. 225; „autonome Systeme“ (Thöne, Autonome Systeme und deliktische Haftung, 2020); Spindler, in: Hilgendorf/Beck, Robotik im Kontext von Recht und Moral, 2014, S. 63.; Kluge/Müller, in: Taeger, Smart World – Smart Law?, 2016, S. 989; Zech, in: Gless/Seelmann, Intelligente Agenten und das Recht, 2016, S. 163); „embodied Robots“ (Günther, in: Gruber/Bung/Ziemann, Autonome Automaten, 2015, S. 155); „autonome Automaten“ (Gruber/Bung/Ziemann (Hrsg.), Autonome Automaten, 2015); „(autonome) cyber-physische Systeme“ (Reichwald/Pfisterer, CR 2016, S. 208); Taeger, NJW 2016, S. 3764 (3764)).

69 Vgl. etwa zu Softwareagenten: „It has not yet been possible to agree on a generally accepted, comprehensive, definition of an intelligent Agent“, Brenner/Zarnekow/Wittig, Intelligent Software Agents, 1998, S. 19; zu Definitionsschwierigkeiten in der Robotik: Günther, Robotor und rechtliche Verantwortung, 2016, S. 17 ff.; im rechtswissenschaftlichen Diskurs: Borges, NJW 2018, S. 977 (978); Thöne, Autonome Systeme und deliktische Haftung, 2020, S. 5.

70 Russell/Norvig, Artificial Intelligence, 2021, S. 42; Kirn/Müller-Hengstenberg, Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme, 2016, S. 102; Thöne, Autonome Systeme und deliktische Haftung, 2020, S. 6.

71 Brenner/Zarnekow/Wittig, Intelligent Software Agents, 1998, S. 19; Christaller/Wehner, in: Christaller/Wehner, Autonome Maschinen, 2003, S. 9 (18); Jennings/Wooldridge, in: Jennings/Wooldridge, Agent Technology, 1998, S. 3 (4).

ren⁷² in der physischen Welt zu bewegen oder diese zu verändern. Dies umfasst den Bereich der Robotik⁷³ bzw. der cyberphysischen Systeme.⁷⁴ Je nach technischer Ausstattung können automatisierte und vor allem autonome Fahrzeuge also ebenfalls als cyberphysische Systeme bezeichnet werden. Die Verknüpfung von Hard- und Software ermöglicht es ihnen, autonom am Straßenverkehr teilzunehmen, Routen zu planen, diese bei veränderter Verkehrssituation anzupassen, eine freie Parklücke zu suchen, bei Hindernissen auszuweichen, auf das Fahrerhalten anderer Verkehrsteilnehmer zu reagieren, mit anderen vernetzten Fahrzeugen, Infrastruktursystemen oder anderen Verkehrsteilnehmern zu kommunizieren etc. Je höher der Grad der Autonomie solcher Fahrzeuge ist, desto weniger Eingriffe durch den Fahrer, den Nutzer, den Betreiber oder den Hersteller sind während der Fahrt erforderlich.

Je stärker also Parameter wie Adaptivität, Reaktivität, Interaktionsfähigkeit, Kontextsensitivität, Lernfähigkeit und Mobilität bei einem System ausgeprägt sind, desto autonomer ist es im technischen Sinne.⁷⁵ Technische Autonomie ist also nur bedingt mit dem Verständnis von menschlicher Autonomie vergleichbar.⁷⁶ Vielmehr handelt es sich um eine graduelle Eigenschaft, die bestimmt, inwieweit ein System innerhalb eines bestimmten Aufgabenbereichs ohne äußere Steuerung sein Ziel erreichen kann.⁷⁷

72 Sensoren nehmen die Informationen ihrer Umgebung auf und verarbeiten diese als elektrische Signale, Aktoren (auch Aktuatoren) hingegen führen aufgrund von elektrischen Signalen physische Zustandsänderungen herbei, *Konertz/Schönhof*, Das technische Phänomen „Künstliche Intelligenz“ im allgemeinen Zivilrecht, 2020, S. 74; *Russell/Norvig*, Artificial Intelligence, 2021, S. 36.

73 Einen Definitionsversuch unternimmt *Günther*, Robotor und rechtliche Verantwortung, 2016, S. 17 ff.; s.a. *Zech*, in: *Gless/Seelmann*, Intelligente Agenten und das Recht, 2016, S. 163 (168); *Stiemerling*, CR 2015, S. 762 (765).

74 *Geisberger/Broy* (Hrsg.), agendaCPS, 2012; *Becker*, in: *Liggieri/Müller*, Mensch-Maschine-Interaktion, 2019, S. 247.

75 Dies sind die Voraussetzungen die *Schulz* für autonom agierende Systeme bestimmt, *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 47; mit ähnlichen Charakteristika: *Brenner/Zarnekow/Wittig*, Intelligent Software Agents, 1998, S. 23; *John*, Haftung für KI, 2007, S. 19.

76 „Innerhalb menschlicher Autonomie wird für gewöhnlich unterschieden zwischen personaler Autonomie, moralischer Autonomie und politischer Autonomie. Diese drei Formen setzen ein normativ gehaltvolles, d. h. Achtung, Respekt und Rücksicht verlangendes ›Selbst< voraus.“ *Gottschalk-Mazouz*, in: *Liggieri/Müller*, Mensch-Maschine-Interaktion, 2019, S. 238.; s.a. *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 50 ff.

77 Vgl. etwa die Taxonomien von *Ball/Callaghan*, 8th International Conference on Intelligent Environments 2012, S. 114 (115); *Sheridan/Verplank*, Human and Computer

Entscheidend ist dabei auch die Kenntnis, welche der kontrollierende Akteur über die inneren Zustände des Systems besitzen kann. Je weniger er über die Gesetzmäßigkeiten und Bedingungen wissen kann, nach denen ein System handelt, desto autonomer ist es.⁷⁸ So kann es ein Merkmal von autonomen Systemen sein, dass algorithmische Entscheidungen nicht einem klassischen Wenn-Dann-Schema folgen. Dies würde bedeuten, dass, sobald ein äußerer Umstand X eintritt, das System stets mit der prä-determinierten Handlung Y reagiert.⁷⁹ In der Folge ist das Entscheidungsverhalten vorhersehbar und erklärbar.⁸⁰ Der zugrundeliegende Algorithmus legt im Vorhinein fest, nach welchem Reaktionsschema sich ein deterministisches System verhält. Bei autonomen Systemen ist dies nicht immer der Fall.⁸¹ Je autonomer ein System arbeitet, desto weniger lässt sich im Vorhinein vorhersagen, wie und auf welcher Grundlage das System handeln wird, und desto weniger lässt sich im Nachhinein nachvollziehen werden, nach welchen Kriterien das System entschieden hat.⁸²

Bei selbstfahrenden Fahrzeugen sind die Voraussetzungen autonomer Systeme in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden. Die jeweiligen Fähigkeiten selbstfahrender Fahrzeuge unterscheiden sich je nach Automatisierungsstufe und festgelegtem Betriebsbereich. So sind nicht alle selbstfahrenden Fahrzeuge darauf ausgelegt, sich umfassend mit anderen Verkehrsteilnehmern oder einer digitalen Infrastruktur zu vernetzen. Auch die Fähigkeit, eigenständige Entscheidungen zu treffen, hängt davon ab, in welchen Verkehrssituationen das Fahrzeug eingesetzt werden soll. Aufgrund der Vielzahl der zu erfüllenden Aufgaben ist die Autonomie bei vollautonomen Fahrzeugen stärker ausgeprägt als bei Fahrzeugen mit hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrzeugen, die lediglich über einen Staupiloten verfügen, der es erlaubt, bei stockendem Verkehr bis 60 km/h auf der Autobahn selbstständig zu fahren. Bei den derzeit zugelassenen automatisierten Fahr-

Control of Undersea Teleoperators, 1978; s.a. Schulz, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, Kap. 44 f.; Reichwald/Pfisterer, CR 2016, S. 208 (210); Kirn/Müller-Hengstenberg, Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme, 2016, S. 2; Zech, in: Gless/Seelmann, Intelligente Agenten und das Recht, 2016, S. 163 (171).

78 Pfeifer, in: Christaller/Wehner, Autonome Maschinen, 2003, S. 137 (143 f.).

79 Müller-Hengstenberg/Kirn, CR 2018, S. 682 (683); Reichwald/Pfisterer, CR 2016, S. 208 (209 f.); Sosnitza, CR 2016, S. 764 (765).

80 Zech, in: Gless/Seelmann, Intelligente Agenten und das Recht, 2016, S. 163 (168).

81 Burkhard, in: Christaller/Wehner, Autonome Maschinen, 2003, S. 160 (182); Wagner, VersR 2020, S. 717 (720).

82 Müller-Hengstenberg/Kirn, CR 2018, S. 682 (683).

zeugen sind die Anwendungsszenarien noch auf den jeweilig festgelegten Betriebsbereich begrenzt. Hier ist der Grad der Autonomie innerhalb der jeweiligen Betriebsbereiche zwar hoch; außerhalb der zugelassenen Fahrfunktionen ist jedoch die ständige Überwachung durch einen Fahrzeugführer bzw. die Technische Aufsicht erforderlich. So können auch Fahrzeuge mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen die Fahraufgabe mit Hilfe von KI-Systemen bewältigen und dabei auf eine umfassende Fahrzeugvernetzung zurückgreifen, wenn dies für den jeweiligen definierten Einsatzbereich erforderlich ist. Insofern ist eine ganzheitliche Betrachtung selbstfahrender Fahrzeuge erforderlich. Insgesamt vollzieht sich der Weg von automatisierten zu autonomen Fahrzeugen insofern in Phasen, also schrittweise, partiell und graduell.⁸³

Soweit sich aus dem Autonomiegrad jedoch haftungsrechtliche Implikationen ergeben, ist zu unterscheiden, inwieweit die verschiedenen Ausprägungen technischer Autonomie in selbstfahrenden Fahrzeugen realisiert sind. Nur dort, wo ein hoher Grad an Autonomie erreicht wird, entstehen auch neuartige Rechtsprobleme, die eine Neubewertung des geltenden Rechts erfordern.⁸⁴ Die Besonderheit selbstfahrender Fahrzeuge zeigt sich also erst dann, wenn tatsächlich Funktionen verwendet werden, die das Fahrzeug in die Lage versetzen, eigenständige Fahrentscheidungen zu treffen und in diesem Sinne autonom am Straßenverkehr teilzunehmen. Dies ist bei der Nutzung von hoch- und vollautomatisierten sowie autonomen Fahrfunktionen der Fall. Vollständig autonome Fahrzeuge werden sogar dauerhaft selbstständig durch eine Software gesteuert. Hierbei handelt es sich auch unzweifelhaft um hochgradig autonome Systeme.

II. Nutzung von KI beim autonomen Fahren

Möglich wird fortgeschrittene Autonomie erst durch den Einsatz von KI. Es handelt sich um die Schlüsseltechnologie, welche autonomes Fahren erst möglich macht.⁸⁵ Der Begriff Künstliche Intelligenz (aus dem Englischen:

⁸³ Sommer, Haftung für autonome Systeme, 2020, S. 36.

⁸⁴ Reichwald/Pfisterer, CR 2016, S. 208 (212).

⁸⁵ Etwa Stephan Scholz, Leiter der Unterabteilung Architektur und KI-Technologien bei Volkswagen in einem Vortrag einer Veranstaltung des BMWi und des VDA „Durch Kooperation an die Spitze. Die Automobilbranche gestaltet den digitalen Wandel“ am 2.3.2021, <https://www.youtube.com/watch?v=U0BqcWeI2YY&list=PL4C2CBB4D47796122&index=3>, (abgerufen am 30.3.2022), 1:38:46; ebenso Döbel

artificial intelligence) geht auf *John McCarthy* zurück, der ihn erstmals im Titel der „Darthmouth Conference on Artificial Intelligence“ verwendete.⁸⁶ Nach der Hochrangingen Expertengruppe für künstliche Intelligenz der Europäischen Kommission ist KI wie folgt zu definieren:⁸⁷

„Künstliche-Intelligenz-(KI)-Systeme sind vom Menschen entwickelte Software- (und möglicherweise auch Hardware-) Systeme, die in Bezug auf ein komplexes Ziel auf physischer oder digitaler Ebene agieren, indem sie ihre Umgebung durch Datenerfassung wahrnehmen, die gesammelten strukturierten oder unstrukturierten Daten interpretieren, Schlussfolgerungen daraus ziehen oder die aus diesen Daten abgeleiteten Informationen verarbeiten und über die geeignete(n) Maßnahme(n) zur Erreichung des vorgegebenen Ziels entscheiden.“

Diese Definition zeigt, dass die Begriffe autonome Systeme und KI eng miteinander verknüpft sind. Ein autonomes System kann nur dann autonom handeln, wenn es durch Methoden der KI dazu befähigt wird. In der KI-Forschung werden verschiedene Methoden eingesetzt, um ein System zu autonomem Handeln zu befähigen. Dabei kann auf Methoden des maschinellen Lernens (ML) zurückgegriffen werden. Dazu gehören Supervised Learning, Unsupervised Learning oder Reinforcement Learning.⁸⁸ Dabei handelt es sich um Methoden, die Computer in die Lage versetzen, aus Daten zu lernen und Vorhersagen und Entscheidungen zu treffen, ohne dass das gewünschte Verhalten explizit programmiert werden muss.⁸⁹ Beim Supervised Learning (überwachtes Lernen) wird dem System eine Aufgabe gestellt. Es erhält eine Reihe von Daten, deren korrekte Interpretation bekannt ist. Die Software soll dann die Aufgabe bearbeiten. Trifft sie eine falsche Entscheidung, erhält sie sofort eine Rückmeldung, so dass sich der Algorithmus nach und nach anpasst, bis keine oder nur noch wenige

u. a., *Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf*, 2018, S. 137; *Beck*, in: *IT-Recht*, Teil 9.2 Rn. 40.

86 *Russell/Norvig*, *Artificial Intelligence*, 2021, S. 18.

87 *Hochrangige Expertengruppe für künstliche Intelligenz*, *Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI*, 2019, S. 43.

88 Die Auswahl ist keineswegs abschließend. Es kommen stetig neue Ansätze hinzu. Zudem ist eine Klassifizierung der einzelnen Methoden nicht immer trennscharf möglich. Dennoch lassen sich grundsätzlich diese drei Ansätze unterscheiden, *Pek*, in: *Chibanguza/Kuß/Steege*, *Künstliche Intelligenz*, 2022, § 3 B. Rn. 3 ff.; *Russell/Norvig*, *Artificial Intelligence*, 2021, S. 653.

89 *Herold*, in: *Taeger*, *Rechtsfragen digitaler Transformationen – Gestaltung digitaler Veränderungsprozesse durch Recht*, 2018, S. 453 (456 f.).

2. Teil: Selbstfahrende Fahrzeuge

Fehler auftreten.⁹⁰ Beim Unsupervised Learning (Unüberwachtes Lernen) erhält die Software keine zuvor gelabelten Datenpakete mehr. Das System muss selbstständig Muster und Strukturen erkennen. Eine unmittelbare Überwachung durch einen Trainer findet nicht mehr statt.⁹¹ Reinforcement Learning (Bestärkendes Lernen) ist ein Verfahren, bei dem der Agent ebenfalls selbstständig eine Strategie lernt. Dabei erhält er von Zeit zu Zeit Belohnungen, wodurch erwünschtes Verhalten bestärkt wird bzw. negatives Verhalten vermindert wird.⁹² Die einzelnen Ansätze können dabei auf (künstlichen) neuronalen Netzen basieren, die sich an der Grundstruktur des menschlichen Gehirns und dessen Aufbau aus Knoten, Dendriten und Axonen orientieren. In neuronalen Netzen werden diese Strukturen nachgebildet, nur dass im Gegensatz zum Gehirn alle Knoten miteinander verbunden sind. Durch die Aktivierung bestimmter Knoten werden diese stärker gewichtet. Je mehr Daten neuronale Netze zum Lernen haben, desto wahrscheinlicher ist ein richtiges Ergebnis. Werden dabei mehrschichtige Netze verwendet, spricht man von sog. Deep Learning (Mehrschichtiges Lernen).⁹³

Die Komplexität der neuronalen Netze und der damit verbundenen Rechenoperationen führt jedoch auch dazu, dass einzelne Ergebnisse der KI im Einzelnen nicht mehr erklärbar sind (Intransparenz bzw. Opazität). Dies wird auch als *Blackbox*-Effekt bezeichnet, da das Zustandekommen einer Entscheidung dem Menschen verborgen bleibt.⁹⁴ Darüber hinaus ergeben sich eine ganze Reihe weiterer sicherheitskritischer Probleme beim Einsatz von KI. Zu nennen sind hier die Verteilung und die Qualität der Daten, mit denen das System trainiert wird. So sind von seltenen oder unbekannten Ereignissen wie Unfallsituationen naturgemäß kaum reale

⁹⁰ Russell/Norvig, Artificial Intelligence, 2021, S. 653; *Sachverständigenrat für Verbraucherfragen – Fachgruppe Rechtsinformatik*, Technische und rechtliche Betrachtungen algorithmischer Entscheidungsverfahren, 2018, S. 33.

⁹¹ Russell/Norvig, Artificial Intelligence, 2021, S. 776; Pek, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 B. Rn. 7 ff.

⁹² Russell/Norvig, Artificial Intelligence, 2021, S. 789.

⁹³ Ebenda, S. 750.

⁹⁴ Europäische Kommission, Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz, 2020, S. 14; *Sachverständigenrat für Verbraucherfragen – Fachgruppe Rechtsinformatik*, Technische und rechtliche Betrachtungen algorithmischer Entscheidungsverfahren, 2018, S. 30; Wilfers u. a., in: Casiro u. a., SAFECOMP 2020 Workshops, 2020, S. 336 (340); Pek, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 B. Rn. 16.

Datensätze verfügbar.⁹⁵ Schließlich kann ein Verkehrsunfall oder Beinaheunfall nicht in gleicher Weise trainiert werden wie das Einfahren in eine Kreuzung, ohne das Testfahrzeug und/oder den Testfahrer zu gefährden. Gleichzeitig wird gerade in diesen Situationen die höchste Leistungsfähigkeit von selbstfahrenden Fahrzeugen erwartet.

Dennoch bieten solche KI-Systeme die Möglichkeit, vor allem komplexe Aufgaben wesentlich besser zu lösen, als ein Mensch es jeweils könnte. Aufsehen erregten vor allem die Erfolge der KI-Forschung, als es mit Hilfe neuronaler Netze möglich wurde, die Spiele Schach und Go zu beherrschen und amtierende menschliche Großmeister mühelos zu schlagen.⁹⁶ In jüngster Zeit ist mit dem *Large Language Model* (LLM) *ChatGPT 4* ein Durchbruch im Bereich der für jedermann zugänglichen KI-Anwendungen gelungen. Dabei handelt es sich um ein leistungsfähiges Sprachmodell, das darauf trainiert wurde, menschenähnliche Textantworten auf Eingabeanforderungen zu generieren.⁹⁷ Im Bereich der Entwicklung von automatisierten und autonomen Fahrzeugen kommen KI-Methoden vor allem in den Bereichen Perzeption, Prädiktion und der Bewegungsplanung zum Einsatz.⁹⁸

KI-Systeme können deshalb dazu beitragen, dass selbstfahrende Fahrzeuge im Straßenverkehr je nach Betriebsbereich selbstständig agieren können. Die damit verbundene technische Autonomie hat jedoch den Preis, dass Fahrer, Nutzer und Hersteller die Kontrolle über das Fahrsystem abgeben und aufgrund der Komplexität vieler KI-Systeme nicht immer nachvollziehbar ist, auf welcher Grundlage die Steuerungssoftware einzelne Fahrentscheidungen trifft.

95 Gleichzeitig kann eine künstliche Überbetonung von seltenen Ereignissen wiederum zu negativen Fahreigenschaften führen, da hierdurch eine unrealistische Datenverteilung erreicht wird, Willers u. a., in: Casiiro u. a., SAFECOMP 2020 Workshops, 2020, S. 336 (340).

96 Für eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung von maschinellem Lernen in den Bereichen Schach und Go s. Stöcker, Das Experiment sind wir, 2020, S. 27–58.

97 Übersichtshalber: Wulfers, Die Mensch-Maschine, FAZ (online) v. 13.12.2022, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/die-kuenstliche-intelligenz-chatgpt-im-test-das-kann-der-bot-18522759.html>.

98 Pek, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 B. Rn. 12 ff.

1. Selbstlernende KI

Ohne die Anwendung von KI-Methoden ist daher die Weiterentwicklung selbstfahrender Fahrzeuge in Zukunft nicht denkbar.⁹⁹ Der Betrieb von vollständig autonomen Fahrzeugen wird ohne derartige Anwendungen nicht möglich sein, da der Straßenverkehr aus unendlich vielen Einzelsituationen besteht, für die nicht im Voraus jeweils ein Lösungsschema programmiert werden kann.¹⁰⁰

Gleichzeitig folgt aus der Verwendung KI-basierter Methoden in selbstfahrenden Fahrzeugen nicht, dass sich sicherheitsrelevante Algorithmen im regulären Fahrbetrieb ständig anpassen (sog. *offene Systeme*¹⁰¹ oder selbstlernende KI). Dies wird insbesondere in der juristischen Literatur vielfach proklamiert,¹⁰² obwohl die großen Hersteller und Softwarezulieferer derzeit nicht auf den Einsatz von im Feld lernenden Algorithmen setzen.¹⁰³ So geht Wagner davon aus, dass die Software autonomer Fahrzeuge mit einem „lernfähigen, sich ständig weiterentwickelnden Algorithmus ausgestattet“ sei.¹⁰⁴ Schirmer setzt voraus: „Innerhalb des programmierten Regelrahmens trifft die Steuerungssoftware eigenständige Entscheidungen; gleichzeitig lernt sie mit jeder Fahrsituation hinzu, passt also ihre Entschei-

99 Ebenda, Rn. 1.

100 „However, there will always be unexpected situations never seen and learned about before, which the vehicle nevertheless has to cope with.“, *Luettel/Himmelsbach/Wuensche* (2012) 100 Proceedings of the IEEE 1831, 1837; s.a. *Russell/Norvig, Artificial Intelligence*, 2021, S. 917 ff.; *Kendall u. a.* (2019) May Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation 8248, 1; *Ma u. a.* (2020) 7 IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica 315 ff.

101 Zum Begriff *Haagen*, Verantwortung für KI, 2022, S. 282 f.

102 *Xylander*, Die Verantwortlichkeit des Herstellers automatisierter PKW nach Deliktsrecht sowie dem Produkthaftungsgesetz, 2021, S. 108; *Hey*, Haftung des Herstellers autonomer Fahrzeuge, 2019, S. 63; *Ringlage*, Haftungskonzepte für autonomes Fahren, 2021, S. 93 ff.; *Hinze*, Haftungsrisiken des automatisierten und autonomeren Fahrens, 2021, S. 138 ff.; *Lohmann/Müller-Chen*, SZW 2017, S. 48 (50); *Schirmer*, RW 2018, S. 453 (455).

103 Vgl. etwa *Eckard Steiger*, Director für Kooperationsthemen einschließlich strategische Verbund- und Innovationsprojekte im Feld des automatisierten Fahrens bei Bosch, Interview in einer Veranstaltung des BMWi und des VDA „Durch Kooperation an die Spitze. Die Automobilbranche gestaltet den digitalen Wandel“ am 2.3.2021, <https://www.youtube.com/watch?v=U0BqcWeI2YY&list=PL4C2CBB4D47796122&index=3>, (abgerufen am 30.3.2022), 1:59:40; *Steege*, SVR 2021, S. 1 (4); *Borges*, in: *Lohsse/Schulze/Staudenmayer*, Smart Products, 2022, S. 181 (194 f.).

104 *Wagner*, AcP 2017, S. 707 (710).

dungsparameter auf Basis des Erlernten an.¹⁰⁵ Auch *Hey* behauptet: „Das Fahrzeug lernt und verändert sich nämlich durchgehend.“¹⁰⁶ Ähnlich meint *Xylander*, „dass [die Steuerungssoftware] sich nach dem Inverkehrbringen durch den Hersteller durch maschinelles Lernen weiterentwickelt.“¹⁰⁷ Eine solches dauerhaft adaptives Steuerungssystem würde bislang derart so viele Folgeprobleme mit sich bringen, dass diese in der von *Wagner*, *Schirmer*, *Hey* und *Xylander* beschriebenen Form nicht zeitnah zum Einsatz kommen werden.¹⁰⁸

Derzeit werden vor allem Offline-Lernverfahren eingesetzt, bei denen dem KI-System gezielt anwendungsrelevante Trainingsdaten zur Ableitung entsprechender (intransparenter) Regeln zur Verfügung gestellt werden. Nach der Validierung des Lernfortschritts durch den Hersteller verändert sich der Algorithmus ab der Marktreife nicht mehr selbstständig.¹⁰⁹ Dennoch ist es das strategische Ziel der Hersteller, in Zukunft auch dauerhaft selbstlernende KI-Systeme einzusetzen. Diese sollen in Zukunft auch die Fähigkeit besitzen, sich adaptiv zu verändern, d.h. flexibel auf veränderte Umweltbedingungen zu reagieren und daraus selbstständig zu lernen. Hierzu gibt es bereits einige vielversprechende Ansätze, die jedoch noch nicht im regulären Fahrbetrieb eingesetzt werden. Jeder gefahrene Kilometer wird unmittelbar ausgewertet und die gewonnenen Erfahrungen in Form von Daten direkt zur Anpassung der eigenen Fahrweise genutzt. Dabei muss sich der Lernerfolg nicht einmal auf das Fahrzeug selbst beschränken, vielmehr können die Trainingsdaten für die gesamte Fahrzeugflotte genutzt werden, um ein lernendes Kollektiv zu erhalten. Insofern würden alle Fahrzeuge von den Erfahrungen anderer Regelsysteme profitieren und am Ende die gleichen Fähigkeiten aufweisen.¹¹⁰

Für eine solche selbstlernende KI, die ein lebenslanges Lernen während des Fahrbetriebs ermöglicht, gibt es zwar bereits gut funktionierende Ansätze, allerdings nur, wenn es sich bei den Änderungen um kleine Anpas-

105 *Schirmer*, RW 2018, S. 453 (455).

106 *Hey*, Haftung des Herstellers autonomer Fahrzeuge, 2019, S. 65.

107 *Xylander*, Die Verantwortlichkeit des Herstellers automatisierter PKW nach Deliktsrecht sowie dem Produkthaftungsgesetz, 2021, S. 109 f.

108 *Wachenfeld/Winner*, in: *Maurer u. a.*, Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (476); *Borges*, in: *Lohsse/Schulze/Staudenmayer*, Smart Products, 2022, S. 181 (194 f.).

109 *Wachenfeld/Winner*, in: *Maurer u. a.*, Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (475).

110 Ebenda, S. 483.

sungen handelt.¹¹¹ Das Kernproblem ist die effektive Absicherung solcher Systeme. Denn sobald sich die Aufgabenstellung – wie beim autonomen Fahren – zu stark ändert, kann es beispielsweise passieren, dass das System beim Erlernen neuer Fähigkeiten die alten vergisst (sog. „catastrophic forgetting“).¹¹² Zudem kann aufgrund des bereits beschriebenen Black-Box-Effekts nicht sichergestellt werden, dass sich die Algorithmen nicht in eine vom Hersteller nicht gewünschte Richtung verändern. Bei kollektiv lernenden Systemen kommt hinzu, dass das erlernte Fehlverhalten nicht auf ein einzelnes Fahrzeug beschränkt bliebe, sondern sich auf die gesamte Flotte ausweiten würde.¹¹³

Bei Systemen, die in Bereichen agieren, in denen keine oder weniger schwerwiegende Rechtsgutverletzungen drohen, kann auch akzeptiert werden, dass sich KI mit größtmöglicher Freiheit entwickeln kann, um ihr Potenzial auszuschöpfen. Dass das Lernen im Feld unter realen Bedingungen ohne Absicherung jedoch zu unerwünschten Nebeneffekten führen kann, zeigt das Beispiel des Chatbots „Tay“ aus dem Jahr 2016. Dieser sollte mithilfe von KI lernen, mit Menschen über Twitter zu kommunizieren. Da menschliche Nutzer den Chatbot jedoch mit politisch unkorrekten Nachrichten manipulierten, ahmte dieser das erlernte Verhalten nach und twitterte seinerseits rassistische und sexualisierte Inhalte. Nach nur 16 Stunden als aktive Twitter-Nutzerin wurde „Tay“ schließlich vom Netz genommen.¹¹⁴

Dieses Negativbeispiel eines adaptiven KI-Systems macht deutlich, dass die Verwendung von selbstlernender KI in einem so rechtsgutsensiblen Bereich wie dem Straßenverkehr nicht in gleicher Weise erfolgen kann. Der Absicherung der KI kommt daher insbesondere beim autonomen Fahren eine wichtige Rolle zu.

111 Döbel u. a., *Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf*, 2018, S. 69; vgl. auch Etzkorn, MMR 2020, S. 360 (361).

112 Döbel u. a., *Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf*, 2018, S. 69.

113 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., *Autonomes Fahren*, 2015, S. 465 (483).

114 Beuth, Twitter Nutzer machen Chatbot zur Rassistin, DIE ZEIT (online) v. 24.3.2016, <https://www.zeit.de/digital/internet/2016-03/microsoft-tay-chatbot-twitter-rassistisch>.

2. Absicherung von KI-Systemen

Der Einsatz von KI-Systemen in selbstfahrenden Fahrzeugen ist daher nur mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen möglich. Zum einen kann die Verwendung von KI durch Abschirmung abgesichert werden. Dies bedeutet, dass der Einsatzort adaptiver Algorithmen auf nicht sicherheitsrelevante Bereiche beschränkt wird, in denen die Anpassung der Software selbst keinen Schaden anrichten kann bzw. eine Validierung und Verifikation möglich bleibt, wenn die Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsparameter vorab begrenzt werden.¹¹⁵ Dies ist etwa der Fall bei der gefahrlosen Anpassung der Software an den individuellen Nutzer, also z. B. bei der adaptiven Abstimmung der Fahrweise oder des Schaltverhaltens an die Präferenzen des jeweiligen Insassen. Solche sich verändernden Algorithmen haben zwar Einfluss auf das Fahrerlebnis, sind aber von den sicherheitsrelevanten Funktionen der Fahrzeugsteuerung abgeschirmt, so dass kein Risiko entsteht.

Soll KI hingegen auch für sicherheitskritische Funktionen wie die Wahrnehmung und Klassifizierung von Objekten eingesetzt werden, wird in der Regel eine Form des zyklischen Lernens verwendet. Das heißt, der Algorithmus wird zunächst mit Daten trainiert. Unter Testbedingungen, z.B. mit einem Sicherheitsfahrer als Rückfallebene, wird die Funktion des Algorithmus verifiziert und validiert. Gegebenenfalls werden anschließend weitere Anpassungen vorgenommen und anschließend erneut getestet. Hält der Hersteller zu einem bestimmten Zeitpunkt sein Steuerungssystem für marktreif, wird der Zustand der Software „eingefroren“, so dass der Programmierzyklus zunächst abgeschlossen ist und der Algorithmus nicht selbstständig weiter lernt.¹¹⁶ Man spricht in diesem Zusammenhang auch von *geschlossenen Systemen*.¹¹⁷ Nach dem Inverkehrbringen sammeln die selbstfahrenden Fahrzeuge anschließend weiter Daten, welche wiederum vom Hersteller ausgewertet und zum Anlernen unter Testbedingungen verwendet werden. Erst danach wird die so angepasste Software über Updates den Nutzern zur Verfügung gestellt.¹¹⁸ Auf diese Weise können zwar Methoden der KI verwendet werden, jedoch ohne die Gefahr, dass sich das

115 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (476).

116 Zech, ZfPW 2019, S. 198 (209); Lutz, in: Hartmann, KI & Recht, 2020, S. 117 (118); Bodungen, SVR 2022, S. 1 (4); Taeger, in: Ehring/Taeger, Produkthaftungs- und Produktsicherheitsrecht § 3 ProdHaftG, Rn. 52.

117 Haagen, Verantwortung für KI, 2022, S. 281f.

118 Willers u. a., in: Casiiro u. a., SAFECOMP 2020 Workshops, 2020, S. 336 (346 ff.).

Softwaresystem selbstständig und ungewollt weiterentwickelt. Jedes Update stellt in diesem Zusammenhang eine Zäsur in Bezug auf den jeweiligen Stand der Software dar.

Es ist zwar auch denkbar, dass Lernen im Feld bzw. *Online-Learning* zum Einsatz kommt, d.h. dass sich das System tatsächlich während des Betriebes weiterentwickelt. Da aber auch hier die Funktionsfähigkeit der Software abgesichert werden muss, ergeben sich beim *Online-Learning* ganz neue Probleme, die bisher technisch nicht lösbar sind. Beim Lernen während des regulären Betriebs muss in Echtzeit verifiziert und validiert werden (*Runtime Verification und Validation*), ohne dass eine menschliche Rückfallebene zur Verfügung steht und obwohl die Rechenleistung einzelner Fahrzeuge begrenzt ist.¹¹⁹ Derartige Methoden stehen jedoch noch am Anfang ihrer Entwicklung. So ist es derzeit kaum möglich zu berechnen, ob geplante Fahrzeugbewegungen auch dann noch sicher sind, wenn die Prädiktion anderer Verkehrsteilnehmer fehlerhaft ist oder die Objekterkennung ungenau war.¹²⁰

Alternativ könnte ein Ansatz gewählt werden, bei dem die Validierung und Verifizierung durch Überwachung und Fehlertoleranz sichergestellt wird. Dies bedeutet, dass, wenn eine Überprüfung der Sicherheit des Systems vor dem Inverkehrbringen nicht umfassend möglich ist, der Ausfall von Teilen des Systems dadurch sichergestellt wird, dass im Notfall eine Redundanz implementiert wird, die den Fehler kompensieren kann. Das System muss in der Lage sein, sich selbst zu überwachen, um den Fehler zu identifizieren (Monitoring). Die Akzeptanz von Fehlern in sicherheitskritischen Bereichen sollte jedoch auf ein Minimum beschränkt werden, um eine Gefährdung von Menschenleben auszuschließen.¹²¹

Die höchste Stufe adaptiver Algorithmen wäre es, die selbstfahrenden Fahrzeuge einer Herstellerflotte als lernendes Kollektiv zu betrachten, in dem die Daten aller Fahrzeuge eines Herstellers in Echtzeit aggregiert und verarbeitet werden, so dass sich der Steuerungsalgorithmus für die gesamte Fahrzeugflotte kontinuierlich verbessert.¹²² Es liegt jedoch auf der Hand, dass, wenn schon Methoden der *Runtime Verification und Validation* an der Rechenkapazität der jeweiligen Fahrzeuge scheitern, dies erst recht für

119 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (477); Willers u. a., in: Casiiro u. a., SAFECOMP 2020 Workshops, 2020, S. 336 (348).

120 Pek, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 B. Rn. 16.

121 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (477 f.).

122 Ebenda, S. 483 f.

das Echtzeit-Lernen einer gesamten Fahrzeugflotte gelten muss. Zudem ist unklar, wie mit der Heterogenität der Datensätze umzugehen ist, die die Fahrzeuge aufgrund ihrer Bauart oder der eingesetzten KI-Methoden verarbeiten müssen. Diese Form des lernenden Kollektivs rückt damit hinsichtlich der technischen Realisierbarkeit in die ferne Zukunft.¹²³

Prognostisch ist der Einsatz selbstlernender KI-Systeme in naher Zukunft auf Herstellerseite nicht zu erwarten, da die damit verbundenen Risiken sich derzeit technisch nicht absichern lassen. Vielmehr dürfte das zyklische Lernen in *geschlossenen Systemen* der Regelfall des aktuellen Standes der Technik sein. Insofern handelt es sich bei den eingesetzten KI-Systemen um durch maschinelles Lernen erzeugte Software und nicht um selbstlernende KI, die sich nach dem Inverkehrbringen unkontrolliert verändern kann.¹²⁴ Solange es also keine zufriedenstellenden Sicherheitsmechanismen für adaptive KI-Systeme in selbstfahrenden Fahrzeugen gibt, ist daher nicht davon auszugehen, dass diese hier zum Einsatz kommen.¹²⁵

III. Funktionale Anforderungen an das autonome Fahren

Um ein Fahrzeug autonom steuern zu können, müssen Sensoren vorhanden sein, mit deren Hilfe die Umgebung wahrgenommen werden kann, sowie Aktoren, mit deren Hilfe die jeweilige Steuerungsentscheidung ausgeführt werden kann.¹²⁶ Die dazu notwendigen Rechenprozesse werden von einem oder mehreren Bordrechnern durchgeführt. Ein Großteil der Informationen muss in Echtzeit ausgewertet werden, so dass die effiziente Nutzung der verfügbaren Rechenleistung, die durch Kosten, Größe und Energieverfügbarkeit begrenzt ist, eine Herausforderung des autonomen Fahrens darstellt.¹²⁷

Neben den Komponenten im Fahrzeug können bestimmte Prozesse wie z.B. die Routenplanung auch virtualisiert werden, d.h. ausgelagert werden,

123 Rueß/Burton, White Paper: Safe AI – How is this possible?, 2022, S. 26.

124 Etzkorn, MMR 2020, S. 360 (361).

125 Pek, in: Chibanguza/Kuß/Steege, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 B. Rn. 17.

126 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 25.

127 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 29; Luettel/Himmelsbach/Wuensche (2012) 100 Proceedings of the IEEE 1831, 1832.

um Rechenleistung zu sparen.¹²⁸ Dies kann auf sogenannten Backend-Systemen geschehen.¹²⁹ Außerdem können Infrastruktursysteme erforderlich sein, welche die Steuerungssysteme selbstfahrender Fahrzeuge unterstützen. Hierzu zählt z.B. eine leistungsfähige Mobilfunkinfrastruktur, die maßgeblich für die Möglichkeit der Fahrzeugvernetzung ist.¹³⁰ Daneben kann auch eine digital vernetzte Verkehrsinfrastruktur erforderlich sein, in der z.B. fest installierte Sensoren relevante Verkehrspunkte überwachen und die gewonnenen Daten an die jeweiligen Steuerungssysteme selbstfahrender Fahrzeuge weiterleiten, um Gefahrensituationen bereits im Vorfeld zu vermeiden.¹³¹

Damit ein Fahrzeug vollständig selbstständig am Straßenverkehr teilnehmen kann, muss es unter Nutzung der vorhandenen Sensorik und Aktorik diverse Anforderungen erfüllen. Dazu gehören Umfeld- und Selbstwahrnehmung, die Missionsumsetzung, die Lokalisierung, die Nutzung von Kartendaten, die Kooperation und die funktionale Sicherheit.¹³² Diese können jeweils technisch auf unterschiedliche Weise realisiert werden.¹³³

1. Wahrnehmung

Selbstfahrende Fahrzeuge müssen über Wahrnehmungsfähigkeiten verfügen. Es ist unerlässlich, dass derartige Fahrzeuge in der Lage sind, ihre Umgebung vollständig wahrzunehmen (Umfeldwahrnehmung), aber auch die Fähigkeit besitzen, ihren eigenen Fahrzeugzustand zu erkennen (Selbstwahrnehmung).¹³⁴

128 *Kirn/Müller-Hengstenberg*, Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme, 2016, S. 37.

129 *Klanner/Ruhhammer*, in: *Winner u. a.*, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 541 (542).

130 *Leonhardt*, in: *Chibanguza/Kuß/Steege*, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 56; *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*, Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, 2015, S. 14.

131 Sowie weitere Beispiele in *Geisberger/Broy (Hrsg.)*, agendaCPS, 2012, S. 32 ff.

132 *Matthaei u. a.*, in: *Winner u. a.*, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. II39 (II44).

133 Da die technischen Fortschritte in den einzelnen Anforderungsbereichen rasant sein können, erhebt dieser Abschnitt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es soll lediglich ein technisches Grundverständnis gebildet werden, mit welchem sich die nachfolgend erörterten haftungsrechtlichen Probleme erläutern lassen.

134 *Matthaei u. a.*, in: *Winner u. a.*, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. II39 (II44); *Geisberger, Broy (Hrsg.)*, agendaCPS, 2012, S. 219.

Die Umfeldwahrnehmung stellt nach wie vor eine der größten Herausforderungen beim autonomen Fahren dar.¹³⁵ Sie ist die entscheidende Fähigkeit, die ein selbstfahrendes Fahrzeug beherrschen muss, um Gefahren im Straßenverkehr zu vermeiden. Zur Umfeldwahrnehmung kann eine Vielzahl von Sensoren eingesetzt werden. Dazu gehören digitale Kamerasysteme, Lidar, Radarsensoren, Ultraschallsensoren und GPS (*Global Positioning System*).¹³⁶ Für die Wahrnehmung statischer Objekte können Lidar¹³⁷ und Stereokameras verwendet werden.¹³⁸ Ultraschallsensoren werden vor allem im Nahbereich wie beim Einparken eingesetzt werden, sind jedoch wegen ihrer geringen Reichweite und vergleichsweise ungenauen Messwerte für den fließenden Verkehr ungeeignet.¹³⁹

Dynamische Objekte können sensorisch ebenfalls mithilfe von Radarsensoren und Stereokameras erfasst werden. Außerdem eignen sich Radarsensoren zur Erfassung von Bewegungen, da anhand der gewonnenen Daten die Geschwindigkeiten der detektierten Objekte ermittelt werden können.¹⁴⁰

Im Rahmen der Selbstwahrnehmung muss das Fahrzeug auch die Funktionsfähigkeit der genannten Sensoren und Aktoren sowie der Software überwachen, da hiervon die sichere Durchführung eines Fahrmanövers abhängen kann.¹⁴¹ Selbstfahrende Fahrzeuge sollen zur *Predictive Maintenance* bzw. *Predictive Diagnosis* in der Lage sein, selbstständig und voraus-

135 Matthaei u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1145); Luettel/Himmelsbach/Wuensche (2012) 100 Proceedings of the IEEE 1831, 1832.

136 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 1.1 Rn. 26.

137 Lidar ist eine laserbasiertes Entfernungsmesser, mit dessen Hilfe sich zentimetergenaue zwei- oder dreidimensionale Umgebungsmodelle (sog. Punktfolken) erstellen lassen, Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 1.1 Rn. 26.

138 Matthaei u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1846 f.); Luettel/Himmelsbach/Wuensche (2012) 100 Proceedings of the IEEE 1831, 1833.

139 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 1.1 Rn. 26.

140 Luettel/Himmelsbach/Wuensche (2012) 100 Proceedings of the IEEE 1831, 1833 f.; Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 1.1 Rn. 26.

141 Matthaei u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1147).

schauend Wartungen durchzuführen oder anzufordern.¹⁴² Die bereits heute nach § 1a sowie § 1d StVG zugelassenen automatisierten Fahrzeuge müssen in der Lage sein, ihre eigenen Systemgrenzen zu erkennen und bei deren Erreichen entweder die Fahraufgabe an den Fahrzeugführer zurückzugeben (§ 1a Abs. 2 Nr. 4 und 5 StVG) oder sich selbst in einen risikominimalen Zustand zu versetzen (§ 1d Abs. 4 sowie § 1e Abs. 2 Nr. 3 StVG).

Die sensorisch erfassten Daten werden vom Steuerungssystem fusioniert ausgewertet und interpretiert.¹⁴³ Je mehr Daten von unterschiedlichen Sensoren zur Verfügung stehen und je ausgereifter der Algorithmus ist, der diese Daten interpretiert, desto besser können Defizite einzelner sensorischer Informationen kompensiert werden.¹⁴⁴ Es reicht also nicht aus, die Umwelt zu vermesssen, vielmehr muss das Steuerungssystem auch über eine Art Wissen über die Bedeutung der erfassten Objekte verfügen. Schließlich ist es für die Situationsbewertung bzw. -prädiktion relevant, ob es sich bei einem erkannten Hindernis um einen Poller, einen Fußgänger, einen Fahrradfahrer oder einen Motorradfahrer handelt. Denn je nach Objekt-klassifizierung ändern sich auch die Entscheidungsparameter. So ist bei einem Fußgänger eine andere Bewegungsdynamik und ein anderer Bewegungsradius zu erwarten als bei einem Motorradfahrer.¹⁴⁵

Wie ein selbstfahrendes Fahrzeug die eigene Umgebung wahrnehmen kann, hängt nicht nur von der Qualität und Quantität der verfügbaren Sensorik ab, sondern vor allem von der Fähigkeit der Steuerungssoftware, die gewonnenen Daten semantisch zu verknüpfen. Messfehler können zu Unsicherheiten über Größe, Position und Geschwindigkeit des erfassten Objekts führen (Zustandsunsicherheiten). Signalverarbeitungsfehler können zu Unsicherheiten über die Existenz eines Objekts führen (Existenzunsicherheiten) und unzureichende Messdaten können Unsicherheiten über die semantische Zuordnung eines Objekts verursachen (Klassenunsicherheiten).¹⁴⁶ Entscheidend ist daher, wie effektiv ein Steuerungssystem trotz dieser Unsicherheiten in der Lage ist, die Umgebung zuverlässig zu erkennen.

142 Unterrichtung der Enquête-Kommission Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale v. 28.10.2020, BT-Drs. 19/23700, S. 395; *Raith*, in: Roßnagel/Hornung, Grundrechts-schutz im Smart Car, 2019, S. 89 (102).

143 *Dietmayer*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 419 (422).

144 *Kleinschmidt/Wagner*, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 1.1 Rn. 28.

145 *Dietmayer*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 419 (423).

146 Ebenda, S. 425 f.

Zur Überwindung von Zustandsunsicherheiten werden z.B. sogenannte probabilistische Verfahren eingesetzt, d.h. mit Hilfe stochastischer Methoden und wiederholter Messungen werden Wahrscheinlichkeiten ermittelt, mit denen sichergestellt werden kann, dass sich eine Interpretation der Umgebung als richtig erweist.¹⁴⁷ Heuristische Verfahren, bei denen Sensordaten einen bestimmten Schwellenwert überschreiten müssen, helfen neben Wahrscheinlichkeitsfunktionen, Existenzunsicherheiten zu begegnen. Ein Objekt gilt hiernach erst dann als existent, wenn die Sensordaten ein gewisses Qualitätsniveau erreicht haben.¹⁴⁸ Zur Überwindung von Klassenunsicherheiten sind bildbasierte Verfahren erforderlich. So können z.B. algorithmische Vorgaben gemacht werden, mit deren Hilfe ein Objekt der einen oder anderen Klasse zugeordnet werden kann.¹⁴⁹

Aufgrund der Vielzahl möglicher Objekte im Straßenverkehr kann ein vollständig autonomes Fahrzeug nur mit KI-basierten Verfahren trainiert werden. Hierzu können Verfahren des maschinellen Lernens eingesetzt werden. Hierfür können Maschine-Learning-Verfahren verwendet werden.¹⁵⁰ Hierfür stehen die bereits beschriebenen KI-Methoden¹⁵¹ zur Verfügung.¹⁵²

2. Nutzung von Kartendaten und Lokalisierung

Der Lokalisierung und der Nutzung von Kartendaten kommt eine signifikante Rolle zu. So ist die Lokalisierung zum einen für die Navigation des Fahrzeugs unerlässlich, zum anderen ist sie für die Unterstützung der Umgebungswahrnehmung entscheidend.

Zwar sind Kartendaten isoliert betrachtet für die Umfeldwahrnehmung ungeeignet, da sie nicht in Echtzeit erstellt werden und z.B. Baumaßnahmen, Straßensperrungen etc. nur zeitverzögert berücksichtigt werden kön-

147 Ebenda, S. 426 ff.

148 Ebenda, S. 429 ff.

149 Ebenda, S. 431.

150 *Wachenfeld/Winner*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (472); *Fan u. a.*, Key Ingredients of Self-Driving Cars, 2019, S. 1 ff.; *Chiaroni u. a.*, IEEE Signal Processing Magazine – Special Issue on Autonomous Driving 2020, S. 1 ff.

151 Vgl. 2. Teil: B. II.

152 *Wachenfeld/Winner*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (469 f.); *Chiaroni u. a.*, IEEE Signal Processing Magazine – Special Issue on Autonomous Driving 2020, S. 1 ff.

nen. Sie können jedoch unterstützend eingesetzt werden, um das stationäre Umfeld zu bewerten oder Schwächen der Sensorik und der Lokalisierung auszugleichen.¹⁵³ Da mithilfe von GPS beispielsweise nur eine metergenaue Lokalisierung möglich ist, können Kartendaten dazu beitragen, die Position genauer zu bestimmen, indem bspw. Fahrbahnmarkierungen hinterlegt werden und so spurgenaues Fahren ermöglicht wird.¹⁵⁴ Dabei wird das Kartenmaterial mit dem von der Kamera erfassten Bild abgeglichen und daraus die genaue Position des Fahrzeugs ermittelt.¹⁵⁵ Auch die Position von Verkehrszeichen kann über Kartendaten abgerufen werden, um so Defizite bei der sensorischen Verkehrszeichenerkennung auszugleichen.¹⁵⁶

3. Kommunikation und Kooperation

Ein selbstfahrendes Fahrzeug kann in der Lage sein, mit anderen Verkehrsteilnehmern (*Car2Car*, *Car to Car* oder *C2C*) oder mit der Verkehrsinfrastruktur (*Car2I*, *Car to Infrastructure*, *C2I*) zu kommunizieren und zu kooperieren (Oberbegriff: *Car2X*, *Car to X*, *C2X*). Als Basistechnologie stehen z.B. C-ITS (*Cooperative Intelligent Transportation Systems*) zur Verfügung, die auf dem WLAN-Standard basieren. C-ITS Subsysteme können in Fahrzeugen bspw. mit Zugriff auf die Fahrzeugsensorik oder infrastrukturseitig an Verkehrszeichenbrücken, Lichtsignalanlagen oder Verkehrszentralen vorhanden sein. Ebenso kommen auch Smartphones als Kommunikationssysteme in Betracht.¹⁵⁷ Mit Hilfe von Car2X-Kommunikation können selbstfahrende Fahrzeuge bspw. an einer Kreuzung ermitteln, wer als erstes einfährt¹⁵⁸ oder eine Einfädelungssituation auf einer Autobahnauffahrt lösen.¹⁵⁹ Darüber hinaus unterstützt die Car2Car-Kommunikation die Wahrnehmung erheblich, da bspw. Kursraten zwischen den Fahrzeugen ausge-

153 *Matthaei u. a.*, in: Winner u. a., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. II139 (II148).

154 *Kleinschmidt/Wagner*, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, *Autonomes Fahren*, 2020, Kap. 1.1 Rn. 30.

155 *Matthaei u. a.*, in: Winner u. a., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. II139 (II153).

156 Ebenda, S. II148.

157 *Fuchs u. a.*, in: Winner u. a., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. 525 (527 f.).

158 *Kirn/Müller-Hengstenberg*, *Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme*, 2016, S. 109 ff.

159 *Matthaei u. a.*, in: Winner u. a., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. II139 (II151).

tauscht werden können und so ansonsten unberechenbares Fahrverhalten für andere Fahrzeuge vorhersehbar wird.¹⁶⁰ Car2X-Kommunikation soll auch einen Straßenverkehr ermöglichen, in dem der Verkehrsfluss optimal gesteuert wird, indem alle relevanten Informationen ausgetauscht und zur Kooperation genutzt werden.¹⁶¹

Schließlich muss ein selbstfahrendes Fahrzeug die Kommunikation mit dem jeweiligen Nutzer ermöglichen. Hierfür sind *Human-Machine Interfaces* (HMIs) erforderlich, die als Informationsschnittstelle zwischen Nutzer und Fahrzeug dienen.¹⁶² Während der Fahrer beim hoch- bzw. vollautomatisierten Fahren in einem ständigen Dialog mit der Steuerungssoftware steht, da diese ihn jederzeit dazu auffordern kann, die Steuerung an den Menschen zu übergeben,¹⁶³ beschränkt sich die notwendige Kommunikation in Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen und autonomen Fahrzeugen auf die Eingabe des Fahrtziels und ggf. dessen Änderung während der Fahrt oder den Abbruch der Fahrt. Außerdem muss ein Fahrzeug über eine eCall-Schnittstelle¹⁶⁴ verfügen und ggf. über Systemfehler informieren, wenn diese Auswirkungen auf die Fahrt haben. Insofern ist davon auszugehen, dass vor allem Schnittstellen für die Unterhaltungselektronik zunehmen werden, während ansonsten die Prozesse des Steuerungssystems für den Fahrgast im Verborgenen bleiben.¹⁶⁵

Neben der Kommunikation mit anderen Systemen und den Nutzern spielt auch die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern eine Rolle. Im konventionellen Straßenverkehr treten immer wieder Situationen auf, die nur dadurch gelöst werden können, dass ein Verkehrsteilnehmer zugunsten eines anderen Verkehrsteilnehmers auf ein Recht verzichtet, um z.B. den Verkehrsfluss zu beschleunigen. So kann es sinnvoll sein, einem anderen Fahrzeug entgegen dem eigenen Vorfahrtsrecht die Einfahrt auf eine Vorfahrtsstraße zu gewähren, wenn sich abzeichnet, dass der Verkehr

160 Dietmayer, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 419 (422).

161 Fuchs u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 525 (539).

162 Flad u. a., in: Meixner, Smart Automotive Mobility, 2020, S. 1 (22 ff.).

163 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 31.

164 Vorgeschrieben nach Verordnung (EU) 2015/758 des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen für die Typgenehmigung zur Einführung des auf dem 112-Notruf basierenden bordeigenen eCall-Systems in Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG (eCall-VO), ABl. 2015, Nr. L 123/77, S. 77.

165 Pander, CES 2021: Neue Technik fürs Auto – bitte ablenken lassen!, SPIEGEL (online) v. 11.1.2021, <https://www.spiegel.de/auto/ces-2021-neue-technik-fuers-auto-bitte-ablenken-lassen-a-fda7fffl-0951-4705-b6af-dd226d447d23>.

kurz hinter der Einmündung ohnehin zum Stehen kommt. Dies kann z.B. durch Betätigen der sogenannten Lichthupe, also dem kurzen Aufblenden des Fernlichts, signalisiert werden. Ebenso ist es üblich, Fußgängern durch ein einfaches Handzeichen zu signalisieren, dass sie die Straße gefahrlos überqueren können.¹⁶⁶ Insofern gibt es Ansätze, auch selbstfahrenden Fahrzeugen solche informellen Kommunikationskanäle zu ermöglichen. Über solche *external human-machine interfaces* (eHMIs) soll die Kommunikation mit menschlichen Verkehrsteilnehmern ermöglicht werden.¹⁶⁷ Die Bandbreite der getesteten Kommunikationskonzepte ist groß. So gibt es anthropomorphe Ansätze, bei denen die Fahrzeugfront menschliche „Gesichtszüge“ erhält und mimisch mit anderen Verkehrsteilnehmern in Kontakt treten kann.¹⁶⁸ Andere Konzepte versuchen beispielsweise, mit Hilfe eines Lasers eine Art Zebrastreifen auf die Straße zu projizieren, um Fußgängern das gefahrlose Überqueren der Straße zu signalisieren.¹⁶⁹ Wieder andere Hersteller verwenden Displays, auf denen Symbole oder explizite Texte wie „Please Cross“ oder „Driving“ erscheinen.¹⁷⁰ Auch akustische Signale oder eine direkte Kommunikation über das Smartphone des adressierten Verkehrsteilnehmers werden erprobt.¹⁷¹

4. Missionsumsetzung

Die Missionsumsetzung umfasst die Planung, Durchführung und Stabilisierung der Fahraufgabe.¹⁷² Auf der Planungsebene erhält das Fahrzeug vom Benutzer den jeweiligen Auftrag, wie etwa das Fahrtziel, woraus

166 Ausführlich zur Kommunikation menschlicher Verkehrsteilnehmer und kulturellen Unterschieden: *Färber*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 127 (129–142).

167 *Dey u. a.*, Transportation Research Interdisciplinary Perspective 2020, S. 1 ff.

168 Semcon Smiling Car, <https://semcon.com/smilingcar/>; *Färber*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 127 (143 f.).

169 Jaguar and Rover lights up the road ahead for self-driving vehicles of the future, <https://www.jaguarlandrover.com/news/2019/01/jaguar-land-rover-lights-road-ahead-self-driving-vehicles-future>.

170 *MacDonald*, The self-driving car you can't miss: Drive.ai launches orange cars with screens to warn pedestrians in Texas trial, MailOnline v. 30.7.2018, <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6008793/The-self-driving-car-screens-warn-pedestrians-Drive-ai-launches-standout-cars-Texas.html>; *Dey u. a.*, Transportation Research Interdisciplinary Perspective 2020, S. 1 (6).

171 *Dey u. a.*, Transportation Research Interdisciplinary Perspective 2020, S. 1 (6).

172 *Matthaei u. a.*, in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1153 f.).

die Software die entsprechende Fahrtroute unter Berücksichtigung von Baustellen, erhöhtem Verkehrsaufkommen oder ähnlichem berechnet.¹⁷³ Führungsaufgaben betreffen taktische Entscheidungen. Hier bestimmt die Software, welche Fahrmanöver im Einzelnen notwendig sind, um das Missionsziel zu erreichen, z.B. ein Überholvorgang, ein Spurwechsel oder auch kooperative Manöver wie das Zulassen des Einscherens eines anderen Fahrzeugs oder das Einfahren in eine Kreuzung ohne Vorfahrtsregelung.¹⁷⁴ Auf der Ebene der Stabilisierung wird die Trajektorie ermittelt, d.h. die Voraussage der eigenen Position aufgrund der Geschwindigkeit, der Lenkung, aber auch der anderen Verkehrsteilnehmer (Bahnplanung). Dabei ist es erforderlich, dass das Steuerungssystem nicht nur die eigenen Bewegungsdaten berücksichtigt, sondern auch das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer antizipiert.¹⁷⁵ Da nie völlig ausgeschlossen werden kann, dass sich ein Verkehrsteilnehmer irrational verhält und bspw. ohne Grund auf die Gegenfahrbahn fährt, muss hier mit stochastischen Methoden vorhergesagt werden, ob ein Fahrmanöver sicher erscheint.¹⁷⁶ Diese Modellannahmen müssen dann regelmäßig durch die Wahrnehmung der Umgebung bestätigt oder angepasst werden.¹⁷⁷ Da die Anzahl der möglichen und nicht vorhersehbaren Ereignisse innerhalb von kürzester Zeit exponentiell ansteigt, ist eine verlässliche Trajektorienplanung nach heutigem Stand der Technik nicht für einen längeren Zeitraum als wenige Sekunden möglich.¹⁷⁸ Für die zuverlässige Planung längerer Zeiträume sind daher optimierte stochastische Verfahren erforderlich.

5. Funktionale Sicherheit

Letztendlich muss ein selbstfahrendes Fahrzeug das erforderliche Maß an funktionaler Sicherheit und Zuverlässigkeit aufweisen. Es muss also sicher-

173 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 32.

174 Matthaei u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1154 f.).

175 Matthaei u. a., in: Winner u. a., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2015, S. 1139 (1156).

176 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (481 f.); vgl. auch Sadigh u. a. (2018) 42 Autonomous Robots 1405, 1405 ff.

177 Dietmayer, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 419 (421).

178 Nach Dietmayer ca. drei Sekunden, Dietmayer, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 419 (434 f.).

gestellt werden, dass der Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge mit möglichst geringen Risiken verbunden ist. Da eine hundertprozentige Sicherheit eines technischen Systems nie gewährleistet werden kann, kommt es darauf an, ein angemessenes Niveau festzulegen, unter dem ein Fahrzeug und sein Betrieb als sicher angesehen werden können.¹⁷⁹

Im Allgemeinen bedeutet die Einhaltung der funktionalen Sicherheit, dass das Fahrzeug in der Lage ist, die üblichen Fahraufgaben fehlerfrei zu bewältigen, aber auch in unvorhersehbaren Situationen angemessen zu reagieren. Darüber hinaus muss das Fahrzeug auch bei schlechten Witterungsbedingungen fehlerfrei funktionieren oder Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer antizipieren.¹⁸⁰ Insbesondere im Mischbetrieb ist zu erwarten, dass sich selbstfahrende Fahrzeuge defensiv verhalten müssen, um Personenschäden zu vermeiden. Gleichzeitig kann eine zu defensive Fahrweise jedoch den Verkehrsfluss stören, so dass hier ein Mittelweg gefunden werden muss.¹⁸¹ Wenn das Steuerungssystem an seine Grenzen stößt, muss es in der Lage sein, die Fahraufgabe an den menschlichen Fahrer zu übergeben oder sich in einen risikominimalen Zustand zu versetzen, ohne den übrigen Verkehr zu gefährden.¹⁸² Ferner muss es auf veränderte Situationen so reagieren, dass bestehende Risiken reduziert werden, etwa durch Reduzierung der Geschwindigkeit oder Erhöhung der Sicherheitsabstände.¹⁸³ Zur Einhaltung der funktionalen Sicherheit gehört auch die Einhaltung der Vorschriften der Straßenverkehrsordnung. Explizit müssen automatisierte Fahrzeuge den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften entsprechen (§ 1a Abs. 2 S. 1 Nr. 2 und § 1e Abs. 2 Nr. 2 StVG). Der Schutz der Insassen und anderer Verkehrsteilnehmer muss dabei oberste Priorität haben.¹⁸⁴

179 Kleinschmidt/Wagner, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, *Autonomes Fahren*, 2020, Kap. 1.1 Rn. 33 ff.; Matthei *u. a.*, in: Winner *u. a.*, *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. 1139 (1156 f.).

180 Matthei *u. a.*, in: Winner *u. a.*, *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 2015, S. 1139 (1157).

181 Gasser, in: Maurer *u. a.*, *Autonomes Fahren*, 2015, S. 543 (561).

182 Reschka, in: Maurer *u. a.*, *Autonomes Fahren*, 2015, S. 490 (503 f.).

183 Ebenda, S. 505.

184 Aus diesem Grund hat auch die Ethik-Kommission 20 Grundregeln für automatisiertes und vernetztes Fahren aufgestellt. In Nr. 2 heißt es „Der Schutz von Menschen hat Vorrang vor allen anderen Nützlichkeitserwägungen. Ziel ist die Verringerung von Schäden bis hin zur vollständigen Vermeidung.“ *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Deutschland*, Bericht der Ethik-Kommission: *Automatisiertes und vernetztes Fahren*, 2017, S. 10.

Daneben gibt es jedoch auch zahlreiche Graubereiche, in denen unklar ist, welches Niveau ein selbstfahrendes Fahrzeug erreichen muss. Wie soll die Steuerungssoftware z.B. in sogenannten Dilemma-Situationen entscheiden? Unter welchen Umständen darf oder muss die StVO missachtet werden, um übergeordnete Ziele zu erreichen? Wie lang darf die Reaktionszeit eines selbstfahrenden Fahrzeugs auf eine sich abzeichnende Gefahr sein?

Die Frage, wann im Einzelnen ein angemessenes Sicherheitsniveau erreicht ist, soll hier nicht beantwortet werden. Auf diese haftungsrechtliche Dimension der funktionalen Sicherheit wird im Rahmen dieser Arbeit noch näher eingegangen.¹⁸⁵

C. Selbstfahrende Fahrzeuge im Straßenverkehrsgesetz

Rechtlich zulässig ist der automatisierte Straßenverkehr erst seit dem Jahr 2017, nachdem der deutsche Gesetzgeber Fahrzeuge mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen für zulässig erklärte.¹⁸⁶ Im Jahr 2021 folgte das „Gesetz zum autonomen Fahren“¹⁸⁷ und im Jahr 2022 die dazu gehörige Verordnung,¹⁸⁸ welche die Zulassung von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen regelt. Vollständig autonome Fahrzeuge sind hingegen noch nicht gesetzlich zugelassen.¹⁸⁹ Im Folgenden soll ein Überblick über diejenigen Regelungen gegeben werden, die für die hier diskutierten Haftungsfragen relevant sind.

185 Vgl. 3. Teil: D. V. 4. b.

186 Achtes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes vom 16.6.2017, BGBl. I, S. 1648.

187 Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren v. 12.7.2021, BGBl. I, S. 3108.

188 Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften, v. 24.6.2022, BGBl I, S. 986.

189 Dies ist jedoch erklärtes Ziel der Bundesregierung, Gemeinsame Pressemitteilung der Bundesregierung vom 28.6.2019, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20190628-bundesregierung-bringt-mobilitaet-der-zukunft-voran.html>.

I. Achtes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes

Mit dem achten Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes vom 16.6.2017, welches am 21.6.2017 in Kraft trat, wurde erstmals der Betrieb von Fahrzeugen der SAE-Stufe 3 zugelassen. In § 1a StVG wird der Betrieb von „Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen“ für zulässig erklärt. Gemäß § 1a Abs. 1 StVG ist der Betrieb eines Kraftfahrzeugs mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion zulässig, wenn die Funktion bestimmungsgemäß verwendet wird. Zudem bestimmt § 1a Abs. 2 StVG, welche technischen Anforderungen erfüllt sein müssen, damit ein Fahrzeug als „hoch- oder vollautomatisiert“ in diesem Sinne angesehen werden kann. Mit der Klarstellung in § 1a Abs. 4 StVG macht der Gesetzgeber deutlich, dass in derartigen Fahrzeugen stets ein Fahrzeugführer als Rückfallebene zur Verfügung stehen muss und dementsprechend auch während der gesamten Fahrt als Fahrzeugführer anzusehen ist.¹⁹⁰ Darüber hinaus wird das Erfordernis einer Typengenehmigung oder Einzelgenehmigung sowie einer Betriebserlaubnis für automatisierte Fahrzeuge gemäß § 1a Abs. 3 StVG geregelt.¹⁹¹

1. Bestimmungsgemäße Verwendung, Systembeschreibung

Der Betrieb automatisierter Fahrzeuge nach § 1a StVG ist nur zulässig, sofern die jeweilige Fahrfunktion bestimmungsgemäß verwendet wird. Herzuheben ist, dass der Begriff „bestimmungsgemäß“ nicht weiter vom Gesetzgeber definiert wird, sondern vom Hersteller festzulegen ist.¹⁹² Insofern verfolgt der Gesetzgeber einen technologieoffenen und innovationsfreundlichen Ansatz, indem er es den Herstellern überlässt, in welchem Umfang hoch- und vollautomatisierte Fahrfunktionen genutzt werden können. Im Rahmen der nach § 1a Abs. 2 S. 2 StVG vorgeschriebenen Systembeschreibung legen sie dar, in welchen Betriebsbereichen ein Fahrzeug mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktionen genutzt werden kann. In-

190 Steege, Automatisierte Rechtsanwendung und ihre Grenzen, 2022, S. 72 ff.

191 Hefß, in: Burmann/Heß/Hühnermann/Jahnke, Straßenverkehrsrecht, § 1a StVG Rn. 13; König, in: Hentschel/König/Dauer, Straßenverkehrsrecht, § 1a StVG Rn. 13.

192 Auf die damit einhergehenden rechtsdogmatischen Probleme weist auch Steege hin, vgl. Steege, Automatisierte Rechtsanwendung und ihre Grenzen, 2022, S. 71 ff.

sofern kommt der herstellerseitigen Systembeschreibung auch eine Bedeutung im Rahmen der Herstellerhaftung zu.¹⁹³

2. Anforderungen an die technische Ausrüstung

Dennoch werden in § 1a Abs. 2 StVG einige technische Grundvoraussetzungen für den Betrieb von Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen festgelegt. So muss das Fahrzeug über eine technische Ausrüstung verfügen, die zur Bewältigung der Fahraufgabe – einschließlich Längs- und Querföhrung – das jeweilige Kraftfahrzeug nach Aktivierung steuern kann (Fahrzeugsteuerung, § 1a Abs. 2 S. 2 Nr. 1 StVG). Zudem muss das Fahrzeug während der hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeugsteuerung in der Lage sein, den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrs vorschriften zu entsprechen (§ 1a Abs. 2 S. 2 Nr. 2 StVG).¹⁹⁴ Nach § 1a Abs. 2 Nr. 3 StVG muss der Fahrzeugführer das System jederzeit übersteuern oder deaktivieren können. Während § 1a Abs. 2 Nr. 4 und 5 StVG festlegt, dass ein derartiges Fahrzeug einerseits erkennen muss, wann die eigenen Systemgrenzen erreicht sind, und andererseits über eine Ausstattung verfügen muss, die es dem Fahrzeugführer ermöglicht, das Erfordernis der eigenhändigen Fahrzeugsteuerung mit ausreichender Zeitreserve vor der Abgabe der Fahrzeugsteuerung an den Fahrzeugführer optisch, akustisch, taktil oder sonst wahrnehmbar anzuzeigen. Wie lang der Zeitraum der *ausreichenden Zeitreserve* herstellerseitig gestaltet sein muss, ergibt sich hingegen nicht aus dem Gesetz, so dass sich auch hieraus haftungsrechtliche Implikationen sowohl für die Fahrzeugführerhaftung als auch die Herstellerhaftung ergeben können.¹⁹⁵ Ebenso wird dem Hersteller vorgeschrieben, auf eine der Systembeschreibung zuwiderlaufende Verwendung hinzuweisen (§ 1a Abs. 2 S. 1 Nr. 6 StVG). Derartige Instruktionspflichten können auch im Rahmen der Herstellerhaftung für die Beurteilung eines Produktfehlers relevant sein.¹⁹⁶

193 Vgl. 3. Teil: D. V. 4. a. (aa) (4).

194 Wann ein Fahrzeug diesen Anforderungen entspricht, wird im Rahmen des haftungsrechtlichen Teils erörtert.

195 Hinsichtlich der Herstellerhaftung: 3. Teil: D. V. 4. a. (aa) (3).

196 3. Teil: D. V. 4. a. (aa) (5).

II. Gesetz zum autonomen Fahren

Das Gesetz zum autonomen Fahren vom 12.7.2021, das am 28.7.21 in Kraft trat, ist das nächste Puzzlestück für einen automatisierten bzw. autonomen Straßenverkehr. Die Einführung von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen ermöglicht es, dass Fahrzeuge in festgelegten Betriebsbereichen auch fahrerlos am Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass der Halter eine natürliche Person als Technische Aufsicht bestimmt, die bei Bedarf Fahrmanöver freigibt oder das Fahrzeug im Notfall komplett deaktiviert.

1. Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen

Der Gesetzgeber definiert in § 1d Abs. 1 StVG Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen als Fahrzeuge, welche die Fahraufgabe ohne eine fahrzeugführende Person selbstständig in einem festgelegten Betriebsbereich erfüllen kann. Ferner muss es über eine technische Ausrüstung verfügen, die wiederum in § 1e Abs. 2 StVG definiert ist. Es folgt ein umfangreicher Katalog von technischen Anforderungen, die erfüllt sein müssen, damit der Betrieb eines derartigen Fahrzeugs zulässig ist. Erforderlich ist insbesondere, dass innerhalb des festgelegten Betriebsbereichs die Fahraufgabe selbstständig bewältigt werden kann, dass das Fahrzeug den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften¹⁹⁷ zu entsprechen hat, dass es über ein System zur Unfallvermeidung¹⁹⁸ verfügt und dass es sich bei Erreichen der Systemgrenzen selbstständig in einen risikominimalen Zustand versetzen kann (§ 1e Abs. 2 Nr. 1 bis 7 StVG).¹⁹⁹ Zudem muss das Steuerungssystem in der Lage sein, kritische Situationen nicht nur zu erkennen, sondern diese auch der Technischen Aufsicht anzuzeigen und mögliche Fahrmanöver zur Fortsetzung der Fahrt vorzuschlagen (§ 1e Abs. 2 Nr. 4 und 6 StVG). Schließlich müssen derartige Fahrzeuge jederzeit durch die Technische Aufsicht oder die Fahrzeuginsassen deaktivierbar sein und über eine stabile und vor unautorisierten Eingriffen geschützte Funkverbindungen, insbesondere zur Technischen Aufsicht, verfügen (§ 1e Abs. 2 Nr. 8

197 3. Teil: D. V. 4. a. (aa) (1).

198 Wie dieses im Rahmen von Dilemma-Situationen reagieren muss, vgl. 3. Teil: D. V. 4. c.

199 3. Teil: D. V. 4. a. (bb) (1).

und 10 StVG). Bei sonstigen Beeinträchtigungen, die dazu führen, dass die Fahraufgabe nicht selbstständig bewältigt werden kann, genügt es, wenn die Technische Aufsicht alternative Fahrmanöver vorgibt. Zusätzlich muss die technische Ausrüstung in der Lage sein, diese alternativen Fahrmanöver selbstständig auszuführen und die Technische Aufsicht rechtzeitig zu informieren, damit diese ein Fahrmanöver vorgeben kann. (§ 1e Abs. 3 StVG). Weitere Voraussetzungen für die technische Ausrüstung finden sich auch in § 14 AFGBV.²⁰⁰

Alle diese gesetzlichen Anforderungen können insofern Einfluss auf die Herstellerhaftung haben, da sie einen technischen Mindeststandard definieren, der im Rahmen der Beurteilung eines Produktfehlers herangezogen werden kann.

2. Festgelegter Betriebsbereich

Der festgelegte Betriebsbereich bestimmt sich nach § 1d Abs. 2 StVG. Es handelt sich um den örtlich und räumlich bestimmten öffentlichen Straßenraum, in dem ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion bei Vorliegen der Voraussetzungen gemäß § 1e Abs. 1 StVG betrieben werden darf. Der Gesetzgeber geht insoweit von einem „abstrakten Begriff“ aus.²⁰¹ Aus der Gesetzesbegründung ergibt sich ferner, dass die Festlegung des Betriebsbereichs zunächst durch den Halter bestimmt und durch die nach Landesrecht zuständige Stelle genehmigt wird.²⁰² Auch die Nutzung in mehreren Betriebsbereichen ist denkbar.²⁰³ Die Festlegung des Betriebsbereichs hat auch haftungsrechtliche Implikationen, da damit festgelegt wird, was von einem derartigen Fahrzeug zu erwarten ist. Sowohl das Fehlverhalten innerhalb des festgelegten Betriebsbereichs als auch das Überschreiten des Betriebsbereichs kann daher haftungsrechtlich relevant sein.

200 Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften, v. 24.6.2022, BGBl I, S. 986; eingehend Steege, SVR 2022, S. 161 ff.; Haupt, NZV 2022, S. 166 ff.

201 Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren v. 9.3.21, BT-Drs. 19/27439, S. 20.

202 Ebenda.

203 Ebenda.

3. Technische Aufsicht

Der Halter muss außerdem sicherstellen, dass die Aufgaben der Technischen Aufsicht erfüllt werden (§ 1f Abs. 1 S. 2 Nr. 3 StVG), indem er eine natürliche Person benennt, die berechtigt ist, den Betrieb zu deaktivieren oder bestimmte Fahrmanöver freizugeben (§ 1d Abs. 3 StVG). Eine fehlerhafte Kommunikation mit der Technischen Aufsicht kann haftungsrechtliche Konsequenzen haben.²⁰⁴

4. Sonstige Pflichten für Halter und Hersteller

In § 1f StVG werden weitere Pflichten der Beteiligten von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen geregelt. Danach ist der Halter verpflichtet, die für die autonomen Fahrfunktionen erforderlichen Systeme regelmäßig zu warten. Auch hat er sicherzustellen, dass auch die sonstigen, nicht an die Fahrzeugsteuerung gerichteten Verkehrsvorschriften eingehalten werden. Insofern definiert § 1f Abs. 1 StVG eine Reihe von Halterpflichten, die sich auch im Rahmen der Halterhaftung auswirken können.

Gemäß § 1f Abs. 3 StVG hat der Hersteller sicherzustellen und gegenüber dem Kraftfahrtbundesamt nachzuweisen, dass die elektronische und elektrische Architektur des Kraftfahrzeugs und die mit dem Kraftfahrzeug in Verbindung stehende elektronische und elektrische Architektur vor Angriffen gesichert ist (§ 1f Abs. 3 Nr. 1 StVG). Zudem müssen Manipulationen am Kraftfahrzeug oder an dessen elektronischer oder elektrischer Architektur oder an der mit dem Kraftfahrzeug in Verbindung stehenden elektronischen oder elektrischen Architektur erkannt werden und unverzüglich, insbesondere bei einem unerlaubten Zugriff auf die Funkverbindungen des Kraftfahrzeugs, den zuständigen Behörden gemeldet werden (§ 1f Abs. 3 Nr. 6 StVG). Ebenfalls ist vorgeschrieben, dass eine Risikobeurteilung für jedes Fahrzeug vorzunehmen ist und anhand der Ergebnisse Gefahren abgesichert werden müssen (§ 1f Abs. 3 Nr. 2 StVG). Es muss außerdem der Nachweis einer ausreichend sicheren Funkverbindung erbracht werden (§ 1f Abs. 3 Nr. 3 StVG). Ebenfalls ist wie bei hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen eine Systembeschreibung vorzunehmen und ein Betriebshandbuch zu erstellen (§ 1f Abs. 3 Nr. 4 StVG). Es müssen herstellerseitig Schulungen für die beteiligten Personen angeboten werden (§ 1f Abs. 3 Nr. 5

204 3. Teil: D. V. 4. a. (bb) (3).

StVG). Aus diesen ausdrücklichen Herstellerpflichten ergeben sich ebenfalls Folgen für die Herstellerhaftung.

III. Mensch als Rückfallebene beim autonomen Fahren

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Halter- und Herstellerhaftung für selbstfahrende Fahrzeuge. Die verschiedenen Automatisierungsstufen sehen jedoch vor, dass der Mensch in bestimmten Konstellationen als Rückfallebene fungiert, wenn das selbstfahrende Fahrzeug innerhalb der jeweiligen automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen an seine eigenen Systemgrenzen stößt. Auch hieraus können sich haftungsrechtliche Probleme ergeben, die im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail analysiert, aber kurz angerissen werden sollen.

1. Rolle des Fahrzeugführers

Der Gesetzgeber hat klargestellt, dass bei Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen derjenige Fahrzeugführer bleibt, der die entsprechende Funktion aktiviert und zur Fahrzeugsteuerung verwendet, auch wenn er das Fahrzeug im Rahmen der bestimmungsgemäßigen Verwendung dieser Funktion nicht selbst steuert (§ 1a Abs. 4 StVG). Insofern bleibt diese Person während der gesamten Fahrt Fahrzeugführer im haftungsrechtlichen Sinne. Dementsprechend treffen ihn auch die spezifischen Fahrzeugführerpflichten, die mit der Nutzung automatisierter Fahrfunktionen einhergehen. So muss er jederzeit bereit sein, die Fahraufgabe unverzüglich zu übernehmen, sobald ihn das System dazu auffordert (§ 1b Abs. 2 Nr. 1 StVG) oder er erkennt bzw. aufgrund offensichtlicher Umstände erkennen muss, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung der hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktionen nicht mehr gegeben sind (§ 1b Abs. 2 Nr. 2 StVG). Gleichzeitig darf er sich aber auch vom Verkehrsgeschehen abwenden, solange das Fahrzeug ihn nicht dazu auffordert oder die Verkehrssituation die Übernahme von Fahraufgaben nicht erfordert (§ 1b Abs. 1 Hs. 1 StVG). Dieses offensichtliche Spannungsverhältnis zwischen ständiger Wahrnehmungsbereitschaft einerseits und dem Recht, sich vom Verkehrsgeschehen abzuwenden, andererseits betrifft jedoch in

erster Linie die Haftung des Fahrzeugführers nach § 18 Abs. 1 StVG.²⁰⁵ In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wann der Fahrzeugführer die Funktionen bestimmungsgemäß nutzt, ob er wahrnehmungsbereit ist, ob er die Fahrzeugsteuerung unverzüglich übernimmt, wenn ihn das System dazu auffordert, oder wann offensichtliche Umstände für eine Übernahme vorliegen.²⁰⁶

Im Rahmen dieser Arbeit werden diese Aspekte jedoch außer Acht gelassen, da die Verantwortung für selbstfahrende Fahrzeuge betrachtet werden soll. In dem Moment, in dem dem Fahrzeugführer die Notwendigkeit der eigenhändigen Fahrzeugsteuerung mit ausreichender Zeitreserve optisch, akustisch, taktil oder sonst wahrnehmbar angezeigt wird (§ 1a Abs. 2 Nr. 5 StVG) oder der Fahrzeugführer aus anderen Gründen die Fahrzeugsteuerung übernimmt, handelt es sich definitionsgemäß nicht mehr um ein selbstfahrendes Fahrzeug. Die Verantwortung für die Bewältigung der Fahraufgabe liegt dann beim Fahrzeugführer. Gibt es dagegen keinen Grund für den Fahrzeugführer, die Steuerung zu übernehmen, handelt das Fahrzeug eigenständig. In diesem Fall kann von einem *selbstfahrenden* Fahrzeug gesprochen werden. Zu den Anforderungen an ein selbstfahrendes Fahrzeug gehört jedoch auch, dass die Übernahmeaufforderung korrekt i.S.d. § 1a Abs. 2 StVG ausgelöst wird. Insofern können Fehler in diesem Bereich im Rahmen der Produkthaftung relevant werden.²⁰⁷

Bei Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen hat der Gesetzgeber auf einen Fahrzeugführer verzichtet. Dies ist nachvollziehbar, da bei derartigen Fahrzeugen die Fahraufgabe vom System gem. § 1d Abs. 1 Nr. 1 StVG „ohne eine fahrzeugführende Person selbstständig“ im festgelegten Betriebsbereich erfüllt werden muss. Auch in § 1f StVG, der Vorschrift, welche die Pflichten der Beteiligten beim Betrieb von Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen regelt, wird der Fahrzeugführer nicht erwähnt. Die Verantwortlichkeit des Fahrzeugführers entfällt somit bei der Nutzung autonomer Fahrfunktionen.²⁰⁸

²⁰⁵ Im Schrifttum wird diese Formulierung deswegen auch kritisiert. Ausführlich Rosenberger, *Die außervertragliche Haftung für automatisierte Fahrzeuge*, 2022, S. 234 ff.; vgl. auch Lüdemann/Sutter/Vogelpohl, *NZV* 2018, S. 411 (414 ff.); Balke, *SVR* 2018, S. 5 (7).

²⁰⁶ Hierzu etwa eingehend Rosenberger, *Die außervertragliche Haftung für automatisierte Fahrzeuge*, 2022, S. 212 ff.; Buck-Heeb/Dieckmann, *NZV* 2019, S. 113 (115 ff.).

²⁰⁷ Vgl. 3. Teil: D. V. 4. a. (aa) (3).

²⁰⁸ Steege, *PHi* 2022, S. 18 (23); Siemann, in: Chibanguza/Kuß/Steege, *Künstliche Intelligenz*, 2022, § 3 H. Rn. 93 ff.

2. Rolle der Technischen Aufsicht

Bei Fahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen tritt an die Stelle des Fahrzeugführers als Rückfallebene die neu geschaffene Technische Aufsicht. Erreicht und erkennt das Fahrzeug seine Systemgrenzen wird nicht ein Fahrzeugführer zur Übernahme aufgefordert, sondern das System versetzt sich selbst in einen risikominimalen Zustand (§ 1d Abs. 4 StVG und § 1e Abs. 2 Nr. 3 und 7 StVG).²⁰⁹ Dennoch ist vorgesehen, dass eine natürliche Person, nämlich die Technische Aufsicht, zur Verfügung steht, um in solchen Fällen dennoch den Weiterbetrieb sicherzustellen (§ 1d Abs. 3 StVG und § 1e Abs. 2 Nr. 4 und 8, Abs. 3 StVG). Die Technische Aufsicht unterliegt der zivilrechtlichen Haftung nach §§ 823 ff. BGB.²¹⁰ Ein Pflichtenkatalog ist etwa nach § 1f Abs. 2 StVG geregelt.²¹¹ Daneben bestehen allgemeine Verkehrs-pflichten.²¹² Allerdings handelt es sich auch in diesen Fällen nicht mehr um besondere Probleme, die sich aus der Eigenschaft als selbstfahrendes Fahrzeug ergeben. Bei Fehlern der Technischen Aufsicht stellen sich Fragen der menschlichen Fahrlässigkeit. Auch diese sollen hier nicht vertieft behandelt werden, da sich hier nicht die konkreten technischen Risiken des automatisierten und autonomen Fahrens realisieren. Gleichwohl ergeben sich haftungsrechtliche Implikationen aus den herstellerspezifischen Anforderungen an eine fehlerfreie Kommunikation mit der Technischen Aufsicht, auf die im weiteren Verlauf der Arbeit eingegangen wird.²¹³

3. Menschliche Kontrolle bei autonomen Fahrzeugen

Autonome Fahrzeuge der Stufe 5 benötigen weder einen Fahrer noch eine Technische Aufsicht. Rein begrifflich kann es in einem vollautonomen Fahrzeug keinen Fahrer geben. Auch konzeptionell sind autonome Fahrzeuge so ausgelegt, dass sie alle verkehrsspezifischen Aufgaben selbstständig erfüllen können und sollen. In solchen Fahrzeugen müsste es nicht einmal

209 Vgl. 3. Teil: D. V. 4. a. (bb) (1).

210 *Hilgendorf*, JZ 2021, S. 444 (452 f.); Unterrichtung durch die Bundesregierung, v. 1.4.2021 BT-Drs. 19/28178, S. 24.

211 *Hilgendorf*, JZ 2021, S. 444 (451).

212 Vgl. etwa *Schwartz*, in: *Taeger*, Im Fokus der Rechtsentwicklung, 2021, S. 305 (316).

213 Vgl. 3. Teil: D. V. 4. a. (bb) (3).

die Möglichkeit einer menschlichen Übersteuerung geben.²¹⁴ Insofern fehlt es bereits an einem Nutzer, dem die Verantwortung für die Fahrzeugsteuerung im Sinne eines Fahrzeugführers übertragen wird.²¹⁵

In der Entwurfsbegründung zum Straßenverkehrsänderungsgesetz heißt es dementsprechend, dass „bei hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen – im Gegensatz zum autonomen Fahren – auf einen Fahrzeugführer nicht ganz verzichtet werden kann“.²¹⁶ Der Nutzer eines autonomen Fahrzeugs ist also als bloßer Passagier anzusehen.²¹⁷ Den Verwender oder Benutzer autonomer Fahrzeuge treffen also für den gewöhnlichen Betriebsvorgang auch keine fahrerbezogenen Sorgfaltspflichten.²¹⁸ Beim autonomen Fahren kommt bei bestimmungsgemäßer Nutzung also nur die Haftung von Halter und Hersteller in Betracht.

D. Weitere rechtliche Rahmenbedingungen

Der Straßenverkehr ist in eine Vielzahl von Normen eingebettet. Damit autonomes Fahren in Deutschland rechtlich möglich ist, bedarf es vor allem Normen, welche die Zulässigkeit und Zulassung von automatisierten und autonomen Fahrzeugen regeln. Hinzu kommen Vorschriften, welche sich an die einzelnen Verkehrsteilnehmer richten, das sogenannte Verhaltensrecht. Da das Zulassungsrecht regelt, welche Voraussetzungen ein Fahrzeug erfüllen muss, um überhaupt für den Straßenverkehr zugelassen zu werden, und das Verhaltensrecht bestimmt, in welchem Umfang und in welcher Weise das Fahrzeug genutzt werden darf, ergeben sich hieraus

²¹⁴ *Kleinschmidt/Wagner*, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, *Autonomes Fahren*, 2020, Kap. 1.1 Rn. 21.

²¹⁵ *Kirn/Müller-Hengstenberg*, *Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme*, 2016, S. 331.

²¹⁶ Begründung zum Gesetzesentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes v. 20.2.2017, BT-Drs. 18/11300, S. 21.

²¹⁷ *Buck-Heeb/Dieckmann*, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, *Autonomes Fahren*, 2020, Kap. 3.1 Rn. 25; *Balke*, SVR 2018, S. 5 (6); *Schrader*, NJW 2015, S. 3537 (3541).

²¹⁸ Der Benutzer eines autonomen Fahrzeugs ist jedoch den allgemeinen straßenverkehrsrechtlichen Sorgfaltspflichten unterworfen, die sich aber nicht von denen eines Mitfahrers in einem konventionellen Fahrzeug unterscheiden. So hat er bspw. die Sorgfaltspflichten beim Ein- und Aussteigen i.S.d. § 14 Abs. 1 StVO zu beachten. Vgl. z.B.: OLG Hamm, Urt. v. 8.9.1999 – 13 U 45/99 (NZV 2000, 201); vgl. auch *Hinze*, *Haftungsrisiken des automatisierten und autonomen Fahrens*, 2021, S. 61; *Freise*, *VersR* 2019, S. 65 (77).

zwangsläufig haftungsrechtliche Implikationen sowohl für die Halter- als auch für die Herstellerhaftung. Zulassungsrecht und Verhaltensrecht haben insoweit eine „Scharnierfunktion“.²¹⁹

Das deutsche Zulassungs- und Verhaltensrecht ist durch internationale Abkommen geprägt. Zu nennen sind hier das das Wiener Übereinkommen von 1986 (WÜ),²²⁰ das die Vertragsstaaten verpflichtet, ihre Straßenverkehrsregeln nach den Maßgaben der WÜ zu orientieren, was wiederum die Voraussetzung für die Zulassung zum internationalen Verkehr ist. Es wird durch die Working Party on Road Traffic Safety (WP.I) bei der UNECE verwaltet und überarbeitet.²²¹ Daneben existiert das Genfer „Abkommen über den Straßenverkehr“ vom 19.9.1948 (GA 1949), das parallel zum WÜ gemeinsame Regelungen zu Straßenverkehr und Straßenverkehrszeichen beinhaltet. Beide Abkommen ermöglichen die Zulassung von Fahrzeugen der Stufe 3 und 4, also automatisiertes Fahren. Für autonomes Fahren der Stufe 5 fehlen bislang einheitliche Zulassungskriterien, so dass hier noch weiterer Verhandlungsbedarf zwischen den jeweiligen Vertragsstaaten besteht.

Auf der Grundlage der internationalen Abkommen präzisiert der deutsche Gesetzgeber die Zulassungsregeln durch nationales Recht in StVG, StVO sowie in diversen Verordnungen.²²² Nach § 1 Abs.1 StVG dürfen Kraftfahrzeuge nur in Betrieb gesetzt werden, wenn die Zulassungsbehörde die Betriebserlaubnis erteilt hat. Erforderlich für die Zulassung ist eine Betriebserlaubnis, Einzelgenehmigung oder EG-Typengenehmigung. Die Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (FZV) und die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) konkretisieren das Zulassungsrecht und regeln das Verfahren im Einzelnen.²²³ Der Marktzugang durch EG-Typengenehmigungen bestimmt sich vornehmlich

219 *Wolfers*, RAW 2017, S. 2 f.

220 Übereinkommen über den Straßenverkehr vom 8.11.1968 (BGBl. 1977 II, S. 809, 811), zuletzt geändert durch Änderung des Übereinkommens vom 26.3.2014 (BGBl. 2016 II, S. 1306).

221 Ausführlich *Ensthaler/Gollrad*, Rechtsgrundlagen des automatisierten Fahrens, 2019, S. 57 ff.

222 Bspw. StVZO, EG-FGV, FZV, vgl. *Wagner*, Das neue Mobilitätsrecht, 2021, S. 53 ff.

223 *Hühnermann*, in: *Burmann/Heß/Hühnermann/Jahnke*, Straßenverkehrsrecht, § 1 StVG Rn. 1.

2. Teil: *Selbstfahrende Fahrzeuge*

durch das EU-Recht.²²⁴ Maßgeblich ist die Richtlinie 2007/46/EG²²⁵, die durch die EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung²²⁶ vollständig in deutsches Recht umgesetzt wurde. Das Kraftfahrtbundesamt ist für die Erteilung der EG-Typengenehmigungen, die für den gesamten EU-Raum Wirkung entfaltet, in Deutschland zuständig (§ 2 Abs. 1 EG-FGV). Die in der EU geltenden Vorschriften beziehen sich wiederum zu einem großen Teil auf die Bestimmungen der UN/ECE-Regelungen.²²⁷

Die StVO, das Kernstück des Verhaltensrechts im Straßenverkehr, wurde hingegen nicht an die Anforderungen des Betriebs von Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen angepasst. Der Gesetzgeber hat hier offenbar bislang keinen Regelungsbedarf gesehen.²²⁸

E. Auswirkungen des autonomen Fahrens

Die Einführung selbstfahrender Fahrzeuge wird mit einer Vielzahl von Veränderungen einhergehen, die nicht nur den Straßenverkehr betreffen. Inwieweit die erhofften positiven Effekte tatsächlich eintreten und ob sich die befürchteten Risiken realisieren, ist heute noch unklar.

224 Das nationale Recht spielt insofern eine untergeordnete Rolle, *Arzt/Ruth-Schuhmacher*, NZV 2017, S. 57 (58).

225 Richtlinie 2007/46 des Europäischen Parlaments und Rates 2007/46/EG v. 5.9.2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeughängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie).

226 Verordnung über die EG-Genehmigung für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger sowie für Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten für diese Fahrzeuge (EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung – EG-FGV)) vom 3.2.2011, BGBl I, S. 126.

227 Generer Übereinkommen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinigten Nationen [über die Annahme harmonisierter technischer Regelungen der Vereinten Nationen für Radfahrzeuge, Ausrüstungsgegenstände und Teile, die in Radfahrzeuge(n) eingebaut und/oder verwendet werden können, und die Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen, die gemäß diesen Regelungen der Vereinten Nationen erteilt wurden] Revision 3, in englischer Sprache UNECE, Text of the 1958 Agreement, <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>.

228 Ob eine Anpassung der StVO notwendig ist, wird an späterer Stelle diskutiert, vgl. 3. Teil: A. IV. 3. c. (aa) (1) sowie 4. Teil: B. II. 3. a. (aa).

I. Potenziale

Das autonome Fahren wird von einer Vielzahl von Akteuren aus unterschiedlichen Gründen vorangetrieben.²²⁹ Unklar ist jedoch, wann die ersten vollständig autonomen Fahrzeuge serienreif sein werden.²³⁰ Die einst optimistischen Vorhersagen mussten mehrfach nach hinten korrigiert werden.²³¹ So ist man heute etwas zurückhaltender mit Prognosen.²³² Gesetzgeber und Industrie verfolgen ohnehin einen Ansatz, bei dem automatisierte und autonome Fahrfunktionen schrittweise und situationsabhängig eingeführt und erprobt werden.²³³ *Wachenfeld u.a.* gehen deshalb auch davon aus, dass das autonome Fahren über sogenannte Use-Cases eingeführt wird. Dabei handelt es sich um verschiedene begrenzte Einsatzszenarien, die als Übergangslösung dienen können, bis das vollständig autonome Fahren technisch möglich und sicher geworden ist.²³⁴ Das vollständig autono-

229 *Heinrichs*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 219 (234 f.).

230 Hintergrund sind die bereits beschriebenen Schwierigkeiten, die damit einhergehen, dass das Steuerungssystem in der Lage sein muss mit einer schier endlosen Vielzahl von Verkehrssituationen umzugehen.

231 "From 2020 you will be a permanent backseat driver", *Adams*, Self-driving cars: from 2020 you will become a permanent backseat driver, The Guardian (online) v. 13.9.2015, <https://www.theguardian.com/technology/2015/sep/13/self-driving-cars-bmw-google-2020-driving>; „10 Million Self-Driving Cars Will Hit The Road By 2020“, 10 Million Self-Driving Cars Will Hit The Road By 2020, Business Insider v. 15.6.2016, <https://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6>; s.a. *Piper*, It's 2020. Where are our self-driving cars?, Vox v. 28.2.2020, <https://www.vox.com/future-perfect/2020/2/14/21063487/self-driving-cars-autonomous-vehicles-waymo-cruise-uber>.

232 So geht *Bernhard Schölkopf*, Direktor am Max-Planck-Institut für lernende Systeme in Tübingen von einer Einführung des autonomen Fahrens in ca. 20–30 Jahren aus, *Armbruster/Knop*, Denken wie wir – Interview mit Bernhard Schölkopf, FAZ v. 21.9.2020, S. 22, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/kuenstliche-intelligenz/gespraech-mit-forscher-schoelkopf-wann-wird-ki-zur-wirklichkeit-16957706.html?premiumpaid;#void>; andere halten es sogar für technisch nicht realisierbar, *Haist*, Autonomes Fahren: Eine kritische Beurteilung der technischen Realisierbarkeit, 2016.

233 Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren v. 9.3.21, BT-Drs. 19/27439, S. 15 f.; *Kleinschmidt/Wagner*, in: *Oppermann/Stender-Vorwachs*, Autonomes Fahren, 2020, Kap. I.1 Rn. 23.

234 Hierzu zählen Autobahnpilot, autonomes Valet-Parken, Vollautomat mit Verfügbarkeitsfahrer und Vehicle-on-Demand. Allen Use-Cases ist gemein, dass sie jedenfalls extern überwacht werden und übersteuerbar sind. Es handelt sich also um noch Fahrfunktion der Stufe 4, *Wachenfeld u. a.*, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 10 (12 ff.).

me Fahrzeug ist deshalb erst dann zu erwarten, wenn sich solche Use-Cases ausreichend bewährt haben. So werden auch Fahrzeuge, die nur in eng begrenzten Anwendungsbereichen automatisierte Fahrfunktionen nutzen können, erst nach und nach auf den Markt kommen.²³⁵ Auffällig ist jedoch, dass in Ländern, die frühzeitig den Testbetrieb autonomer Fahrfunktionen zugelassen haben, heute bereits mehrere Millionen Kilometer mit selbstfahrenden Taxis zurückgelegt wurden, während es in Deutschland noch keinen Anbieter solcher Dienste gibt.²³⁶

Vorrangiges Ziel der Einführung selbstfahrender Fahrzeuge ist der erwartete Sicherheitsgewinn, der durch den Ersatz des menschlichen Fahrers erreicht werden kann.²³⁷ Der Mensch gilt nach wie vor als das größte Risiko im Straßenverkehr. Allein in Deutschland beruhen 88 % aller Verkehrsunfälle auf menschlichem Versagen und nur 1 % auf technischen Mängeln oder Wartungsmängeln.²³⁸ Autonomes Fahren soll dazu beitragen, der so genannten „Vision Zero“²³⁹ näher zu kommen, also möglichst keine tödlichen Unfälle im Straßenverkehr.²⁴⁰ Ob der Straßenverkehr durch selbstfahrende Fahrzeuge tatsächlich sicherer wird, hängt davon ab, wie gut die Technik funktioniert und in welchem Rahmen selbstfahrende Fahrzeuge eingesetzt werden. Wie beschrieben, stellt gerade die Nachbildung menschlicher Wahrnehmungsfähigkeiten in Steuerungssystemen eine immense Herausforderung dar. Gleichzeitig ist ein selbstfahrendes Fahrzeug nicht abgelenkt, alkoholisiert, unaufmerksam etc., so dass es abzuwarten bleibt, ob die prognostizierten Sicherheitspotenziale erreicht werden können.²⁴¹

235 Hubik, A-Klasse, EQB oder CLA Coupé – Daimler rüstet Massenmodelle für hoch-automatisiertes Fahren auf, Handelsblatt (online) v. 21.1.2022, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/autoindustrie/a-klasse-eqb-oder-cla-coupe-daimler-ruestet-massenmodelle-fuer-hochautomatisiertes-fahren-auf/27992528.html?tm=login>.

236 Seiwert u. a., Abgefahren – Der Traum vom autonomen Fahren, Wirtschaftswoche v. 9.6.2023, S. 14 ff., <https://www.wiwo.de/my/technologie/mobilitaet/abgefahren-der-traum-vom-autonomen-fahren/29191640.html>.

237 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, 2015, S. 9 f.

238 Statistisches Bundesamt, Verkehrsunfälle 2021, S. 50.

239 Vgl. Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen, EU-Politikrahmen für die Straßenverkehrssicherheit im Zeitraum 2021 bis 2030 – Nächste Schritte auf dem Weg zur „Vision Null Straßenverkehrstote“ v. 19.6.2019, https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/move-2019-01178-01-00-de-tra-00.pdf (zuletzt abgerufen 22.2.2021).

240 Winkle, in: Maurer/Gerdes/Lenz, Autonomes Fahren, 2015, S. 351 (366).

241 Ebenda, S. 369 ff.

Außerdem spielt insbesondere aus Sicht der Hersteller der Komfortgewinn bei der Einführung eine große Rolle. Sobald sich keiner der Insassen mehr auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren muss, kann die hierdurch gewonnene Zeit anderweitig verwendet werden.²⁴² Die Unterhaltungselektronik im Fahrzeug nimmt seit Jahren stetig zu. Wenn nicht einmal mehr ein Lenkrad im Auto benötigt wird, kann der gewonnene Platz anderweitig genutzt werden. So könnte der Innenraum des Autos der Zukunft vor allem von großen Bildschirmen und Benutzerschnittstellen geprägt sein, die es den Insassen ermöglichen, zu arbeiten oder sich einfach nur unterhalten zu lassen.²⁴³

Neben den erwarteten Sicherheits- und Komfortgewinnen treiben auch Nachhaltigkeits- und Umweltaspekte das autonome Fahren voran.²⁴⁴ Letztlich kann es als ein Puzzleteil einer umfassenden Mobilitätswende gesehen werden, in deren Rahmen die Nutzung des öffentlichen Verkehrsraums hinterfragt wird und über neue Mobilitätskonzepte nachgedacht wird.²⁴⁵ Damit einher geht ein sich wandelndes Verständnis darüber, ob es sich für den Einzelnen lohnt, bestimmte Dinge zu besitzen, anstatt sie nur zu nutzen (sog. Sharing Economy).²⁴⁶ Es wird daher nicht etwa erwartet, dass der konventionelle, privat genutzte Pkw durch ein eigens angeschafftes, selbstfahrendes Fahrzeug ersetzt wird, vielmehr erscheint es wahrscheinlich, dass diese im Rahmen von Car-Sharing-Diensten zur Verfügung gestellt werden.²⁴⁷ Dadurch könnten einerseits neue Bevölkerungsgruppen Zugang zu Mobilität erhalten, andererseits würde ein Teil der konventionellen Fahrzeuge nicht mehr benötigt. Je mehr selbstfahrende und vernetzte Fahrzeuge am Verkehr teilnehmen, desto effizienter könnte dieser gestaltet werden, so dass auf Straßen- und vor allem Parkraum eingespart werden könnte und mehr Raum für die individuellen Bedürfnisse anderer gesellschaftlicher Gruppen zur Verfügung stünde.²⁴⁸

242 Hinze, Haftungsrisiken des automatisierten und autonomen Fahrens, 2021, S. 23.

243 Pander, CES 2021: Neue Technik fürs Auto – bitte ablenken lassen!, SPIEGEL (online) v. 11.1.2021, <https://www.spiegel.de/auto/ces-2021-neue-technik-fuers-auto-bitte-ablenken-lassen-a-fda7ffff-0951-4705-b6af-dd226d447d23>.

244 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, 2015, S. 10; Hinze, Haftungsrisiken des automatisierten und autonomen Fahrens, 2021, S. 24 f.

245 Canzler/Knie, Die digitale Mobilitätsrevolution, 2016, S. 75 ff.

246 Lenz/Fraederich, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 176 (181 ff.).

247 Ebenda, S. 184 ff.

248 Vojß, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, Autonomes Fahren, 2020, Kap. 2.2 Rn. 46 ff.; Heinrichs, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 219 (228 ff.).

Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Potenzialen, die das autonome Fahren ermöglichen kann. Dabei ist nicht nur die Sicherheit ein treibender Faktor. Vielmehr ist das selbstfahrende Fahrzeug auch ein Baustein in sogenannten Smart City Konzepten, die die Vision von einer effizienten, technologisch fortschrittlichen und nachhaltigen Stadt haben, in der alles mit allem vernetzt ist.²⁴⁹

II. Risiken

Neben den Potenzialen des autonomen Fahrens gibt es – wie bei jedem technischen Fortschritt – auch Risiken. Hierzu zählen neben Sicherheitsrisiken auch negative Auswirkungen, welche das autonome Fahren auf gesellschaftliche Bereiche haben könnte. So wird seit Jahren wieder davor gewarnt, dass die Automatisierung gravierende Auswirkungen auf dem Arbeitsmarkt haben könnte.²⁵⁰ Auch könnte es beispielsweise zu sogenannten „Rebound-Effekten“ kommen, wenn der Anteil privat angeschaffter selbstfahrender Fahrzeuge und damit der Mobilitätskonsum steigt, so dass die prognostizierten Nachhaltigkeitseffekte ausbleiben.²⁵¹ Außerdem gibt es eine Reihe Datenschutzbedenken, die mit der dauerhaften Datenerhebung und umfassenden Fahrzeugvernetzung beim autonomen Fahren einhergehen.²⁵² Daneben gibt es eine Reihe schwer vorhersehbaren Nebenfolgen, wie z.B. der Verlust der Fahrkompetenz des menschlichen Fahrers, wenn man sich zunehmend auf automatisierte bzw. autonome Fahrfunktionen verlässt.²⁵³ Der Fokus dieser Arbeit soll jedoch auf den haftungsrechtlich relevanten Risiken liegen.

249 *Canzler/Knie*, Die digitale Mobilitätsrevolution, 2016, S. 75.

250 *Hinze*, Haftungsrisiken des automatisierten und autonomen Fahrens, 2021, S. 27; kritisch *Rudzio*, Mensch gegen Maschine – Automatisierung im Arbeitsmarkt, DIE ZEIT, 7/2022 v. 12.2.2022, S. 25, <https://www.zeit.de/2022/07/automatisierung-arbeitsmarkt-lkw-taxi>.

251 *Heinrichs*, in: *Maurer u. a.*, Autonomes Fahren, 2015, S. 219 (235).

252 *Jungbluth*, in: *Roßnagel/Hornung*, Grundrechtsschutz im Smart Car, 2019, S. 381 ff.; *Wendt*, ZD-Aktuell 2018, S. 06034; *Weisser/Färber*, MMR 2015, S. 506 (508 ff.); *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 77 ff.

253 *Hinze*, Haftungsrisiken des automatisierten und autonomen Fahrens, 2021, S. 25 f.; *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 74.

1. Allgemeines Betriebsrisiko

Zunächst stellt der bloße Betrieb eines selbstfahrenden Fahrzeugs ein verkehrsrelevantes Risiko dar.²⁵⁴ Immer dann, wenn ein Fahrzeug am Straßenverkehr teilnimmt, geht von ihm eine Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer aus.²⁵⁵ Dies gilt auch für selbstfahrende Fahrzeuge. Auch ohne das Hinzutreten weiterer besonderer Umstände, wie z. B. der Ausfall oder die Fehlerhaftigkeit der Steuerungssoftware, stellt der bloße Betrieb ein Risiko dar, das sich in Schäden manifestieren kann.²⁵⁶ Als Beispiel sei hier genannt, dass ein Verkehrsteilnehmer so plötzlich und unerwartet zwischen zwei am Straßenrand parkenden Fahrzeugen vor einem selbstfahrenden Fahrzeug auf die Straße tritt, dass eine Bremsung schon physikalisch nicht mehr möglich erscheint und der Fußgänger dadurch zu Schaden kommt. Auch wenn hier die Steuerung einwandfrei funktioniert, hat sich die Betriebsgefahr eines Kraftfahrzeugs verwirklicht.

2. Hardwarefehlerhaftigkeit und Verschleiß

Es besteht das Risiko, dass Teile des Fahrzeugs nicht richtig funktionieren oder verschleißt.²⁵⁷ Wie bei konventionellen Fahrzeugen können mechanische Fahrzeugteile wie Bremsen, Getriebe oder Motor fehlerhaft gefertigt sein oder verschleißt. Der komplexe Einsatz von Sensorik und Aktorik birgt bei selbstfahrenden Fahrzeugen jedoch eine zusätzliche Risikodimension, da von deren Funktionsfähigkeit die Fahrsicherheit des Fahrzeugs abhängt, während eine Übersteuerung durch den Menschen nur in besonderen Situationen zwingend vorgesehen ist. Zwar sollen die bereits beschriebenen *Predictive-Maintenance-Systeme* und die Einbeziehung verschiedener Sensordaten zur Umgebungswahrnehmung derartige Risiken minimieren,²⁵⁸ dennoch handelt es sich gerade bei den verbauten Sensoren um hochsensible Bauteile, bei denen bereits Verschmutzungen oder verän-

²⁵⁴ Das allgemeine Betriebsrisiko stellt insofern einen Sonderfall des Mobilitätsrisikos dar, *Zech*, in: Gless/Seelmann, Intelligente Agenten und das Recht, 2016, S. 163 (173); *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 75.

²⁵⁵ So etwa *Greger*, in: Greger/Zwickel, Haftung im Straßenverkehr, Rz. 3.2, Rn. 2, in Bezug auf konventionelle Kraftfahrzeuge.

²⁵⁶ *Christoph*, RAW 2018, S. 103 (104).

²⁵⁷ Ebenda, S. 104.

²⁵⁸ Vgl. 2. Teil: B. III. 1.

derte Witterungsbedingungen die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen, so dass mit Unfällen durch fehlerhafte Sensoren zu rechnen ist.²⁵⁹

3. Fehlerhaft programmierte Software

Eine nicht neue, aber zunehmend relevante Risikoquelle ist die Fahrzeugsoftware. Während die Software in hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen weiterhin der grundsätzlichen Kontrolle des Fahrers unterliegt, können Softwarefehler in selbstfahrenden Fahrzeugen unmittelbare verkehrsgefährdende Auswirkungen haben.²⁶⁰ Es ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Komplexität des Softwarecodes auch die Fehleranfälligkeit steigt, wenn nicht sogar Fehlerfreiheit unmöglich ist.²⁶¹ Dieses Komplexitätsrisiko²⁶² kann, wenn es sich an sicherheitsrelevanten Stellen realisiert, im schlimmsten Fall zum Ausfall oder zur Fehlsteuerung des Fahrzeugs und damit zu Schäden führen.

4. Autonomierisiko

a. Entscheidungsrisiken

Neu ist das sogenannte Autonomierisiko, das daraus resultiert, dass das Verhalten selbstlernender Algorithmen nicht vorhersehbar ist.²⁶³ So kann z.B. nicht ausgeschlossen werden, dass sich ein selbstfahrendes Fahrzeug aus menschlicher Sicht völlig irrational verhält und dadurch Schäden verursacht, die ein menschlicher Fahrer so nicht verursachen würde. Interpretiert das Steuerungssystem beispielsweise eine Situation trotz vorhandener Sensordaten oder aufgrund falscher probabilistischer Annahmen falsch, kann dies zu Fehlentscheidungen führen, die im schlimmsten Fall Men-

259 *Kleinschmidt/Wagner*, in: Oppermann/Stender-Vorwachs, *Autonomes Fahren*, 2020, Kap. 1.1 Rn. 28.

260 *Christoph*, RAW 2018, S. 103 (104).

261 *Taeger*, CR 1996, S. 257 (257 f.); *Grützmacher*, CR 2016, S. 695.

262 *Zech*, in: Gless/Seelmann, *Intelligente Agenten und das Recht*, 2016, S. 163 (172).

263 *Teubner*, AcP 2018, S. 155 (164); *Zech*, in: Gless/Seelmann, *Intelligente Agenten und das Recht*, 2016, S. 163 (175); *Wagner*, VersR 2020, S. 717 (724).

schenleben kosten.²⁶⁴ Auch außerhalb des autonomen Fahrens kommt es immer wieder zu unerwünschten Nebenfolgen. Beispiele hierfür sind Sprachmodelle und Chatbots. So erklärte der Chatbot, welchen die Suchmaschine Bing von Microsoft verwendet, einem Journalisten die Liebe und forderte ihn auf, seine Frau zu verlassen. In anderen Fällen wurden Nutzer in Gesprächen bedroht.²⁶⁵ Aus Sicht der Chatbot-Betreiber sollten solche Äußerungen technisch ausgeschlossen sein, dennoch entwickelte die KI in den genannten Fällen ein unvorhersehbares Eigenleben, bei dem nicht mehr nachvollziehbar war, warum der Bot aggressiv oder unhöflich agierte. Die Folgen eines außer Kontrolle geratenen Sprachmodells sind jedoch weit weniger gefährlich als eine irrational agierende Steuerungssoftware eines selbstfahrenden Fahrzeugs.²⁶⁶

Eine Folge der technischen Autonomie besteht jedoch auch in der hierdurch resultierenden Verantwortungslücke.²⁶⁷ Wenn eine Maschine autonom und ohne menschliche Anweisung entscheidet, fehlt zwangsläufig die unmittelbare Rückführbarkeit der Handlung auf einen menschlichen Willensprozess.²⁶⁸ Dieses Problem kulminiert letztlich in der viel diskutierten Frage, wie ein Steuerungssystem in einer Dilemmasituation entscheiden soll.²⁶⁹ Das Risiko der Autonomie besteht also nicht nur darin, dass ein System falsche Entscheidungen trifft, sondern auch darin, dass es sich überhaupt entscheidet und dadurch Menschen zu Schaden kommen. Zwar ist auch der menschliche Fahrer in dilemmatischen Situationen zu Entschei-

264 Zech, ZfPW 2019, S.198 (205); Zech, in: Lohsse/Schulze/Staudenmayer, Liability for AI and the IoT, 2019, S.187 (192); Thöne, Autonome Systeme und deliktische Haftung, 2020, S. 16.

265 SPIEGEL (online) v. 19.2.2023, <https://www.spiegel.de/netzwelt/wegen-uebergriffig-er-antworten-microsoft-legt-bing-chatbot-an-die-leine-a-a70246a7-0a89-475e-b353-1cf380055ac0>.

266 Weshalb der Absicherung derartiger Systeme eine große Aufmerksamkeit seitens der Hersteller geschenkt wird, vgl. 2. Teil: B. II. 2.

267 Weyer, Techniksoziologie, 2008, S. 260.

268 Schulz, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 75.

269 Jeweils stellv. für viele: in der Ethik: Lin, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 69 ff.; Goodall (2014) 2424 *Transportation Research Record* 58 ff.; Misselhorn, Grundfragen der Maschinenethik, 2018, S. 192 ff.; Nida-Rümelin/Weidenfeld, Digitaler Humanismus, 2018, S. 90 ff.; in der Politik: *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Deutschland*, Bericht der Ethik-Kommission: Automatisiertes und vernetztes Fahren, 2017, S. 16 ff.; im Verfassungsrecht: Härtel, LKV 2019, S. 49 (58 f.); im Strafrecht: Hilgendorf, in: Hilgendorf/Beck, Autonome Systeme und neue Mobilität, 2017, S. 143 ff. Feldle, Notstandsalgorithmen, 2018; im Produkthaftungsrecht: Wagner, AcP 2017, S. 707 (740 ff.).

dungen herausgefordert, doch handelt er in einer solchen plötzlichen Gefahrensituation meist reflexartig, ohne Zugang zu allen für eine sorgfältige Abwägung notwendigen Informationen,²⁷⁰ also allenfalls aus „moralischer Intuition“.²⁷¹ Das selbstfahrende Fahrzeug hingegen entscheidet auf Basis aller ihm zur Verfügung stehenden Informationen nach vorher definierten Bedingungen. Unfalloptimierungsalgorithmen sollen in der Lage sein, schon *a priori* festzulegen, wie sich das Fahrzeug in einer Dilemma-Situation entscheiden soll.²⁷² Für den Geschädigten eines solchen Dilemmas bedeutet dies, dass er Opfer einer statistischen Berechnung und nicht bloß einer Verkettung unglücklicher Zufälle geworden ist. Auch wenn es quantitativ keinen Unterschied machen mag, ob ein menschlicher Fahrer reflexartig oder ein selbstfahrendes Fahrzeug kalkulierend ein Menschenleben für ein anderes opfert, so ändert sich doch die qualitative Bewertung eines solchen Unfalls, wenn das Fahrzeug „bewusst“ einen Menschen getötet hat. Das Autonomierisiko manifestiert sich nicht nur darin, dass das selbstfahrende Fahrzeug überhaupt schadensgeneigte Entscheidungen eigenständig treffen muss, sondern vor allem darin, dass die Verletzung und Tötung von Menschen rationalisiert wird.

b. Weiterentwicklungsrisiken

Neben den skizzierten Entscheidungsrisiken wird in der rechtswissenschaftlichen Literatur auch im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI und autonomen Systemen immer wieder auf Weiterentwicklungsrisiken hingewiesen.²⁷³ Wie beschrieben, können Systeme durch den Einsatz von KI nicht nur unter unbekannten Umweltbedingungen lernen, sondern sich auch kontinuierlich anpassen. Dies hätte den Vorteil, dass die Fahrzeugsoftware im Idealfall mit jedem gefahrenen Kilometer mehr Erfahrung sammelt

270 Goodall (2014) 2424 *Transportation Research Record* 58, 60; Härtel, LKV 2019, S. 49 (58); Nida-Rümelin/Weidenfeld, *Digitaler Humanismus*, 2018, S. 92.

271 Nida-Rümelin/Weidenfeld, *Digitaler Humanismus*, 2018, S. 97.

272 Ausführlich Millar, in: Lin/Jenkins/Abney, *Robot Ethics 2.0*, 2017, S. 20 (23 ff.); s.a. Lin, in: Maurer u. a., *Autonomes Fahren*, 2015, S. 69 (73); Hilgendorf, in: Hilgendorf/Beck, *Autonome Systeme und neue Mobilität*, 2017, S. 143 (145).

273 Leupold/Wiesner, in: IT-Recht, Teil 9.6.4 Rn. 56; Bodungen, SVR 2022, S. 1 (4); Schirmer, RW 2018, S. 453 (455); Hey, *Haftung des Herstellers autonomer Fahrzeuge*, 2019, S. 65; Xylander, *Die Verantwortlichkeit des Herstellers automatisierter PKW nach Deliktsrecht sowie dem Produkthaftungsgesetz*, 2021, S. 109 f.

und sich dadurch kontinuierlich verbessert. Allerdings bestünde beim Einsatz adaptiver selbstlernender Algorithmen auch die Gefahr, dass sich diese fehlerhaft oder zumindest in unerwünschter Weise weiterentwickeln.²⁷⁴ Der Einsatz solcher selbstlernender KI-Systeme, die sich im laufenden Betrieb anpassen oder weiterentwickeln, steht jedoch vor dem Problem einer effektiven Absicherung. Für das Lernen im Feld gibt es bisher keine wirksamen Absicherungsmöglichkeiten.²⁷⁵

Es ist daher aus heutiger Sicht fraglich, ob die Hersteller selbstfahrender Fahrzeuge in naher Zukunft überhaupt auf selbstlernende KI-Systeme im Fahrzeugbetrieb zurückgreifen werden.²⁷⁶ Wahrscheinlicher ist, dass die Fahrzeuge während der Fahrt Daten sammeln, die von den Herstellern ausgewertet bzw. zum Anlernen unter Testbedingungen genutzt werden. Erst danach wird die so angepasste Software über Updates in die Fahrzeuge eingespielt. Insofern dürfte das Entwicklungsrisiko bei selbstfahrenden Fahrzeugen – im Gegensatz zu anderen, weniger risikobehafteten und weniger regulierten KI-Anwendungen –²⁷⁷ geringer sein als vielfach angenommen.²⁷⁸

5. Transparenzrisiko

Wie bereits diskutiert, führt der Einsatz von Methoden der KI zu einer zunehmenden Intransparenz der Entscheidungen autonomer Systeme.²⁷⁹ Mit zunehmender Komplexität der eingesetzten KI und der beteiligten Ak-

274 Wachenfeld/Winner, in: Maurer u. a., Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (472); Lohmann/Müller-Chen, SZW 2017, S. 48 (50); Bodungen, SVR 2022, S. 1 (4).

275 Vgl. 2. Teil: B. II. 2.

276 Zech, ZfPW 2019, S. 198 (209); Lutz, in: Hartmann, KI & Recht, 2020, S. 117 (118); Steege, SVR 2021, S. 1 (3 f.); Bodungen, SVR 2022, S. 1 (4); gleichwohl wird in der rechtswissenschaftlichen Literatur immer wieder wie selbstverständlich davon ausgegangen, dass selbstlernende adaptive Systeme zum Einsatz kommen werden, bspw. Ringlage, Haftungskonzepte für autonomes Fahren, 2021, S. 93 ff.

277 Vgl. etwa die oben beschriebene Beispiele der Chatbots „Tay“ sowie ChatGPT, vgl. 2. Teil: B. II. 1.

278 Vgl. etwa Steege: „Es handelt sich bei Rechtsfragen des automatisierten und autonomen Fahrens jedoch nicht um solche der künstlichen Intelligenz, obwohl beides immer als prädestiniertes Beispiel herangezogen wird“, Steege, SVR 2021, S. 1 (3).

279 Vgl. 2. Teil: B. II; aber auch Castelvecchi (2016) 538 Nature 20 f.; Reichwald/Pfisterer, CR 2016, S. 208 (212); Stienerling, CR 2015, S. 762 (764); Müller-Hengstenberg/Kirn, CR 2018, S. 682 (683); Steege, NZV 2021, S. 6 (7); Sommer, Haftung für autonome Systeme, 2020, S. 46 f.

teure, die über die Fahrzeugvernetzung Einfluss auf Entscheidungsprozesse nehmen können, steigt auch das Risiko, dass Fehlerketten nicht nur *ex ante* nicht vorhersehbar (Autonomierisiko), sondern auch *ex post* nicht aufklärbar sind (Transparenzrisiko).²⁸⁰ Sind zudem mehrere Akteure beteiligt, z.B. durch Car2X-Kommunikation, erhöht sich dieses Risiko zusätzlich.²⁸¹ Teilweise wird zwischen starken schwachen *Black Boxes* unterschieden, um die graduellen Unterschiede in der Nachvollziehbarkeit von KI-basierten Entscheidungen zu kategorisieren.²⁸² Bei starken *Black Boxes* ist für den Menschen überhaupt nicht nachvollziehbar, wie die KI zu ihrer Entscheidung gekommen ist. Bei schwachen *Black Boxes* ist die Entscheidungsfindung für den Menschen zwar ebenfalls intransparent, es gibt aber Möglichkeiten des *Reverse Engineering*, die zumindest die Gewichtung einzelner Variablen, die bei der Entscheidungsfindung eine Rolle gespielt haben, erkennen lassen.²⁸³ Sind die Entscheidungen eines selbstfahrenden Fahrzeugs jedoch technisch nicht mehr nachvollziehbar, stellen sich im Schadensfall Fragen der Zurechenbarkeit und Kausalität.²⁸⁴

6. Risiko von Hacking und Manipulation der Fahrzeugsoftware

Ein weiteres Risiko besteht in der Manipulation der Steuerungssoftware, die zu Unfällen führen kann.²⁸⁵ Zum einen könnten sich Angreifer durch Hacking über die diversen Schnittstellen im Fahrzeug Zugriff auf die Steuerung oder sicherheitskritische Funktionen verschaffen.²⁸⁶ Beispiele dieser Art gab es bereits bei konventionellen Fahrzeugen. So war es möglich,

280 Müller-Hengstenberg/Kirn, CR 2018, S. 682 (683); Linke, MMR 2021, S. 200 (201).

281 Sommer, Haftung für autonome Systeme, 2020, S. 45 f.

282 Bathae (2018) 31 Harv. J. L. & Tech. 890, 906.

283 Bathae (2018) 31 Harv. J. L. & Tech. 890, 906; z.T. wird auch von *black*, *grey* und *white boxes* gesprochen, wobei im Falle einer *white box* die Entscheidungsfindung umfänglich nachvollziehbar ist, Sommer, Haftung für autonome Systeme, 2020, S. 46.

284 Vgl. 2. Teil: B. II.

285 Dies ist kein neuartiges Problem, vgl. *Haupt*, Abstürzende Neuwagen, SPIEGEL (online) v. 3.1.2013, <https://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/viren-und-hacker-gefahren-fuer-das-auto-a-872453.html>; *Schulz*, Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen, 2015, S. 75 f.

286 Möller/Haas, Guide to Automotive Connectivity and Cybersecurity, 2019, S. 330 ff.; Petit/Shladover (2015) 16 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 546, 550; Checkoway *u. a.*, Comprehensive experimental analyses of automotive attack surfaces, 2011, S. 6.

die Bremsen eines Fahrzeugs über den CAN-Bus zu deaktivieren.²⁸⁷ Im Jahr 2013 gelang es *Charlie Miller* und *Chris Valasek*, zwei IT-Sicherheitsexperten, die physischen Zugang zum Fahrzeug hatten, mittels *Reverse Engineering* die Steuerungsbefehle des CAN-Busses zu entschlüsseln und so teilweise die Steuerung zu übernehmen.²⁸⁸ Ein weiteres Jahr später gelang es ihnen, einen Jeep Cherokee auch drahtlos zu steuern.²⁸⁹ Dessen Hersteller Chrysler rief daraufhin 1,4 Millionen Fahrzeuge zurück, um die Software auszutauschen.²⁹⁰ Weitere denkbare Möglichkeiten der Fahrzeugmanipulation sind das Einschleusen falscher sicherheitsrelevanter Informationen, die beispielsweise zu einem abrupten Abbremsen des Fahrzeugs führen können, oder das Korrumpern lokaler Kartendaten, wodurch die Umfeldwahrnehmung manipuliert werden kann.²⁹¹

Die Manipulation selbstfahrender Fahrzeuge kann aber auch ohne direkten Eingriff in den Datenverarbeitungsprozess erfolgen. Da z.B. Verkehrsschilder durch Kameras wahrgenommen werden, genügt es, die Schilder zu manipulieren, um ein selbstfahrendes Fahrzeug dazu zu bringen, Geschwindigkeitsbegrenzungen zu missachten.²⁹² Schon kleine Veränderungen, die ein Mensch nicht bemerken würde, reichten in Versuchen aus, damit ein Verkehrsschild von der Steuerung erkannt wurde.²⁹³ Teslas Autopilot konnte zudem dazu gebracht werden, willkürlich auf die Gegenfahrbahn zu wechseln, indem kleine weiße Punkte diagonal auf die Fahrbahn geklebt wurden, die dem Spurhalteassistenten suggerierten, dass die Fahrbahn in Richtung der Gegenfahrbahn verläuft.²⁹⁴

Auch wenn zu erwarten ist, dass gegen viele der beschriebenen Angriffe Gegenmaßnahmen ergriffen werden können, bleibt die Gefahr, dass in

287 Möller/Haas, Guide to Automotive Connectivity and Cybersecurity, 2019, S. 364.

288 Greenberg, Hackers Reveal Nasty New Car Attacks-With Me Behind The Wheel, Forbes v. 24.7.2013., <https://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/07/24/hackers-reveal-nasty-new-car-attacks-with-me-behind-the-wheel-video/?sh=4d24a5b6228c>.

289 Miller/Valasek, Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle, 2015, S. 6 ff.

290 Chrysler ruft 1,4 Millionen Autos zurück, Handelsblatt (online) v. 25.7.2015, <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/nach-jeep-hack-chrysler-ruft-1-4-millionen-autos-zurueck/12102998.html?ticket=ST-5646874-ZRQu7Im6gwLK4oZkNMAT-ap6>.

291 Petit/Shladover (2015) 16 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 546, 553.

292 Nassi u. a., MobilBye: Attacking ADAS with camera spoofing, 2019, S. 4 ff.

293 Sitawarin u. a., DARTS: Deceiving autonomous cars with toxic signs, 2018, S. 2.

294 Tencent Keen Security Lab, Experimental Security Research of Tesla Autopilot, 2019, S. 33 ff.

böswilliger Absicht auf Schwachstellen der Fahrzeugsteuerung eingewirkt wird und dadurch Verkehrsunfälle provoziert werden.

7. Vernetzungsrisiken

Eine weitere Gefahr ergibt sich aus der umfassenden Vernetzung selbstfahrender Fahrzeuge mit digitaler Verkehrsinfrastruktur sowie der Fahrzeuge untereinander (Car2X).²⁹⁵ Durch die Schaffung zahlreicher Kommunikationsschnittstellen steigt das Risiko, dass sich viele Akteure gegenseitig beeinflussen und es zu unvorhergesehenen Fehlsteuerungen kommt.²⁹⁶ Solche Risiken sind kaum vorhersehbar oder beherrschbar und werfen Fragen der Kausalität auf, wenn im Nachhinein nicht mehr festgestellt werden kann, welcher Akteur die konkrete Schadensursache gesetzt hat.²⁹⁷

Zudem können die Infrastruktur selbst oder die Kommunikationswege vulnerabel für Hackerangriffe werden.²⁹⁸ So gelang es 2014 Wissenschaftlern der University of Michigan, sich mit offizieller Genehmigung Zugang zu fast 100 drahtlos gesteuerten Ampelsystemen zu verschaffen.²⁹⁹ Das Schadenspotenzial könnte immens steigen, wenn selbstfahrende Fahrzeuge so eng mit einer digitalen Infrastruktur vernetzt sind, dass Eingriffe an neuralgischen Punkten zu flächendeckenden Ausfällen führen können.³⁰⁰ Die umfassende Vernetzung von Fahrzeugen führt somit auf verschiedenen Ebenen zu Risiken, die bislang nur schwer zu überblicken sind.

295 Zech, in: Gless/Seelmann, *Intelligente Agenten und das Recht*, 2016, S. 163 (175); Wagner, *VersR* 2020, S. 717 (725); Sommer, *Haftung für autonome Systeme*, 2020, S. 45 f.; siehe im Übrigen auch 2. Teil: B. III. 3.

296 Zech, in: Gless/Seelmann, *Intelligente Agenten und das Recht*, 2016, S. 163 (172); Thöne, *Autonome Systeme und deliktische Haftung*, 2020, S. 16.

297 Zech, in: Gless/Seelmann, *Intelligente Agenten und das Recht*, 2016, S. 163 (170); Zech, *ZfPW* 2019, S. 198 (205); Wagner, *VersR* 2020, S. 717 (725); Spindler, in: Beck/Kusche/Valerius, *Digitalisierung, Automatisierung, KI und Recht*, 2020, S. 255 (270 f.).

298 Möller/Haas, *Guide to Automotive Connectivity and Cybersecurity*, 2019, S. 497; Schulz, *Verantwortlichkeit bei autonom agierenden Systemen*, 2015, S. 76.

299 Jacobs, *Researchers Hack Into Michigan's Traffic Lights*, *MIT Technology Review* v. 19.8.2014, <https://www.technologyreview.com/s/530216/researchers-hack-into-michigans-traffic-lights/>.

300 Kirn/Müller-Hengstenberg, *Rechtliche Risiken autonomer und vernetzter Systeme*, 2016, S. 109.

8. Autonomes Fahren im Mischverkehr

Nicht absehbar ist auch, wie sich die Koexistenz von selbstfahrenden Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf die Verkehrssicherheit auswirken wird.³⁰¹ Schon heute gibt es Anzeichen dafür, dass sogar verkehrsgerechtes Verhalten von selbstfahrenden Fahrzeugen ein Sicherheitsrisiko darstellen kann. Die häufigste Unfallursache bei selbstfahrenden Fahrzeugen in Kalifornien ist der Auffahrunfall – und zwar von einem konventionellen auf ein selbstfahrendes Fahrzeug.³⁰² Der Grund dafür ist, dass selbstfahrende Fahrzeuge in jeder Situation versuchen, den Sicherheitsabstand einzuhalten und zudem sanfter beschleunigen und bremsen als menschliche Fahrer, die eher zu aggressivem Fahrverhalten neigen.³⁰³ Auch sind selbstfahrende Fahrzeuge typischerweise darauf programmiert, sich gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern defensiv zu verhalten. Dies wiederum könnte andere Verkehrsteilnehmer zu einem aggressiveren Fahrverhalten verleiten.³⁰⁴ In Betracht kommt beispielsweise, dass versucht wird, langsam fahrende selbstfahrende Fahrzeuge zu überholen, was zu Kollisionen führen kann.³⁰⁵ Nicht zu unterschätzen ist auch, dass andere Verkehrsteilnehmer versuchen könnten, die defensive Fahrweise auszunutzen. Es ist zu befürchten, dass beispielsweise Fußgänger beim Betreten der Fahrbahn darauf vertrauen, dass ein herannahendes selbstfahrendes Fahrzeug auf jeden Fall bremsen wird.³⁰⁶ Dementsprechend gibt es Forderungen, zumindest fahrerlose Fahrzeuge durch Signalleuchten zu kennzeichnen.³⁰⁷ Die Gefahr im Mischverkehr liegt also weniger in einem Fehlverhalten der Fahrzeuge, sondern in einem Verhalten, das von dem von einem Menschen typischerweise erwarteten abweicht.

301 *Christoph*, RAW 2018, S. 103 (104).

302 *Favarò u. a.* (2017) 12 PLoS ONE, 7 ff.

303 *Petrović/Mijailović/Pešić* (2020) 45 *Transportation Research Procedia* 161, 166.

304 Vgl. *Liu u. a.* (2020) 137 *Accident Analysis and Prevention* 105457.

305 *Stewart*, Why People Keep Rear-Ending Self-Driving Cars, *Wired.com* v. 18.10.2018, <https://www.wired.com/story/self-driving-car-crashes-rear-endings-why-charts-statistics/>.

306 *Färber*, in: *Maurer u. a.*, Autonomes Fahren, 2015, S. 127 (143).

307 *Leonhardt*, in: *Chibanguza/Kuß/Steege*, Künstliche Intelligenz, 2022, § 3 A. Rn. 46.

F. Zwischenergebnis

Die Besonderheit selbstfahrender Fahrzeuge liegt in einem dicht verzahnten Zusammenspiel von Hard- und Software. Daher ist es sinnvoll, sie als System zu betrachten. Durch die umfassende Vernetzung der Fahrzeuge sowie den permanenten Datenaustausch mit dem Hersteller sind die Systemgrenzen jedoch nicht mehr klar erkennbar.

Das Steuerungssystem, das die Fahraufgaben übernimmt, ist das Herzstück des selbstfahrenden Fahrzeugs. Die Software funktioniert nur im Zusammenspiel mit den verbauten Aktoren und Sensoren, die das Wahrnehmen und Agieren im physischen Raum ermöglichen. Inwieweit ein Fahrzeug dabei als autonomes System bezeichnet werden kann, hängt jedoch stark von der verwendeten Software ab. Der Einsatz von KI-Systemen ist für das autonome Fahren zwar unerlässlich, da komplexe Situationen mit dieser Technologie besonders effektiv erlernt werden können. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Hersteller von automatisierten oder autonomen Fahrzeugen selbstlernende KI-Systeme einsetzen, die während der Fahrt weiterlernen und sich selbstständig anpassen. Vielmehr steht die Absicherung von KI-Anwendungen im Vordergrund. Anpassungen der Steuerungssoftware werden nach ausgiebigen Tests als Updates zur Verfügung gestellt. Dennoch muss dieses Weiterentwicklungsrisiko in der weiteren rechtlichen Analyse berücksichtigt werden.

Darüber hinaus bestehen neben vielen potenziellen Vorteilen auch Risiken, die sich insbesondere aus der weitgehenden Autonomie der Steuerungssoftware ergeben (Autonomierisiko). Auch ist das Verhalten selbstfahrender Fahrzeuge teilweise weder vorhersehbar, noch im Nachhinein technisch nachvollziehbar (Transparenzrisiko). Hinzu kommen neue Vernetzungs- und Cybersicherheitsrisiken, die sich im konventionellen Straßenverkehr bislang nicht in diesem Maße stellen. Auch die Auswirkungen des autonomen Fahrens im Mischverkehr mit menschlichen Verkehrsteilnehmern sind kaum absehbar. Aus all diesen Risiken können sich haftungsrechtliche Problemfelder ergeben, die es im Folgenden zu analysieren gilt.