

AG 3 - SIEBTER ZWISCHENBERICHT

Autonomes Fahren als Baustein einer inter- und multimodalen Mobilität





AG 1

Klimaschutz im Verkehr



AG 2

Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität



AG 3

Digitalisierung für den Mobilitätssektor



AG 4

Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung



AG 5

Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung



AG 6

Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung

INHALT

KURZFASSUNG	4
EXECUTIVE SUMMARY	5
1 ZIELBILD: AUTONOMES FAHREN ALS BAUSTEINEINER INTER- UND MULTIMODALEN MOBILITÄT	6
2 STATUS QUO UND PROBLEMSTELLUNG	7
3 HANDLUNGSFELDER UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	8
3.1 Internationale Standardisierung und Harmonisierung	8
3.2 Verkehrssicherheit und Sicherheitsvalidierung	9
5.3 Implementierung auf kommunaler Ebene	12
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	16
IMPRESSUM	17



KURZFASSUNG

Autonomes Fahren (AF) kann und sollte seine Potenziale im Rahmen eines inter- und multimodalen Mobilitätssystems einlösen. Damit kann das Mobilitätssystem der Zukunft sicherer, sauberer und kostengünstiger werden. Die Bundesregierung hat in den letzten Jahren zahlreiche Rahmenbedingungen für die Einführung des AF geschaffen. Angefangen mit der Umsetzung der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, der Forschungsförderung zur Entwicklung und Erprobung des AF, der Einrichtung von digitalen Testfeldern, der Einrichtung einer Ethik-Kommission bis hin zum Rechtsrahmen für das AF im Jahr 2021. Für eine Implementierung in der Breite des komplexen Realverkehrs sind allerdings weitere Herausforderungen zu bewältigen. Dieser Bericht identifiziert dazu drei Handlungsfelder und gibt Empfehlungen, welche nächsten Schritte für eine Umsetzung zu gehen sind.

Es gilt den Blick auf die Standardisierung und Harmonisierung von Infrastruktur und Kommunikation – von Fahrzeugen mit der Infrastruktur, aber auch mit der technischen Aufsicht – zu lenken. Weiterhin ist eine deutlich höhere

Verkehrssicherheit ein wesentliches Ziel des AF. Eine entsprechende Sicherheitsvalidierung muss sowohl praktikabel als auch vertrauensvoll und verlässlich geregelt werden. Vor allem braucht es dabei klare Verhaltensregeln für die Mensch-Maschine-Interaktion, besonders mit Fußgänger:innen und Radfahrer:innen. Erfolgskritisch ist zudem ein kooperativer Umgang mit Trainingsdaten für autonome Fahrzeuge (Referenzszenarien), für den es eines gemeinsamen Vorgehens aller Stakeholder bedarf, die über solche Daten verfügen.

Doch nicht nur technische, auch strategische und konzeptionelle Aufgaben sind zu bewältigen. Der Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand kommt eine wesentliche Rolle für eine erfolgreiche, flächendeckende Implementierung des autonomen Fahrens insbesondere im kommunalen Umfeld zu. Kommunen können durch vernetzte Mobilitätsansätze auf Basis von AF profitieren, müssen potenzielle Einsatzszenarien allerdings entsprechend der Akzeptanz sowie Mobilitätswünsche und -bedarfe vor Ort steuern.

EXECUTIVE SUMMARY

Autonomous driving (AD) can and should realise its potential within the framework of an inter- and multimodal mobility system. This can make the future mobility system safer, cleaner and more cost-effective. In recent years, the federal government has created numerous framework conditions for the introduction of AD. Starting with the implementation of the strategy for automated and connected driving, the research funding for the development and testing of AD, the establishment of digital test fields, the establishment of an ethics commission, all the way to the legal framework for AD in 2021. However, further challenges need to be overcome for an implementation across the board of complex real traffic. This report identifies three fields of action and makes recommendations on the next steps to be taken for implementation.

The focus must be on the standardisation and harmonisation of infrastructure and communication - of vehicles with the infrastructure, but also with technical supervision. Furthermore, a significantly higher level of road safety

is an essential goal of AD. A corresponding safety validation must be regulated in a practicable as well as trustworthy and reliable manner. Above all, clear rules of conduct are needed for human-machine interaction, especially with pedestrians and cyclists. Another critical success factor is the cooperative handling of training data for autonomous vehicles (reference scenarios), which requires a joint approach by all stakeholders who have such data at their disposal.

However, not only technical, but also strategic and conceptual tasks need to be tackled. The cooperation of industry, science and the public sector plays an essential role in the successful, nationwide implementation of autonomous driving, especially in the municipal environment. Municipalities can benefit from networked mobility approaches based on AD, but must manage potential deployment scenarios according to local acceptance and mobility wishes and needs.

1 ZIELBILD: AUTONOMES FAHREN ALS BAUSTEIN EINER INTER- UND MULTIMODALEN MOBILITÄT

Neben der wichtigen Digitalisierung und Vernetzung von Angebot und Nachfrage liefert autonome Mobilität einen zentralen Baustein, um das Zielbild eines inter- und multimodalen Mobilitätssystems zu erreichen.¹ Unter autonomem Fahren (AF) versteht dieser Bericht Automatisierungsstufen ab Level 4, in dem Straßenfahrzeuge selbstständig fahren können, ohne dass Fahrer:innen bei der Ausführung die Fahraufgabe übernehmen können müssen.² Die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur (V2X) sind ein weiterer Bestandteil eines neuen Mobilitätssystems.

Eine wichtige Rolle für die Etablierung von AF spielt die Verbindung autonomer Fahrzeuge zu Flotten, insbesondere eingebunden in den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Solche flottengestützten autonomen Fahrzeuge können effizienter miteinander agieren und folglich die Nachfrage besser bedienen. Flottengestütztes Pooling, also die Erhöhung des Besetzungsgrades autonomer Fahrzeuge durch das intelligente Zusammenfassen individueller Routen zu einer integrierten Fahrt, bedeutet mehr Mobilität bei weniger Verkehr. Fahrzeuge können so auch deutlich flexibler und bedarfsgerechter als klassische Linienverkehre werden, da sie prinzipiell jederzeit zur Deckung der Nachfrage unterschiedlicher Nutzergruppen fähig sind.

Des Weiteren ermöglichen autonome Fahrzeuge etwa in ihrer Mobilität eingeschränkten Menschen mehr Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und erleichtern die Gewähr-

leistung der Daseinsvorsorge. Besonders in ländlich geprägten Räumen sowie in niedrig frequentierten urbanen Gebieten mit einer schwachen öffentlichen Infrastruktur ist es so möglich, das Mobilitätsangebot aufrechtzuerhalten oder gar zu erweitern.

Weiterhin lässt sich die Verkehrssicherheit durch autonome Fahrzeuge verbessern, da menschliches Versagen bei der Fahrzeugsteuerung, das heute Hauptursache für Verkehrsunfälle ist, nahezu ausgeschlossen werden kann.

Eine weitere Motivation für die Einführung von AF liegt in einer deutlich effizienteren und intelligenteren Verkehrssteuerung, die durch eine konsequente Vernetzung autonomer Fahrzeuge miteinander sowie mit der ihrerseits digitalisierten Verkehrsinfrastruktur³ und kooperativen Verkehrsmanagementsystemen erreicht wird. AF leistet somit auch einen zentralen Beitrag, um kooperative, vernetzte und automatisierte Mobilität im europäischen Kontext umzusetzen.⁴

Autonome Fahrzeuge eröffnen darüber hinaus die Möglichkeit, perspektivisch einen Mix aus Personen- und Gütertransport zu bedienen. Eine flexible Einsatz- und Streckenplanung der Fahrzeuge spart Ressourcen und im besten Falle Verkehrsleistungen ein. Eine entsprechende Innenraumgestaltung macht die Fahrzeuge flexibel entsprechend der jeweiligen Bedürfnisse nutzbar.

¹ Vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 3 Digitalisierung für den Mobilitätssektor, Handlungsempfehlungen zum autonomen Fahren, Zweiter Zwischenbericht 2019, <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/2download/handlungsempfehlungen-zum-autonomen-fahren/>, S. 5.

² Vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen, Selbstfahrende Autos – assistiert, automatisiert oder autonom?, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Presse/Mitteilungen/2021/06-2021.html?nn=1497062 Die BAST orientiert sich in der rollenbasierten Übersicht zur nutzgerechten Kommunikation am Standard SAE J3016 der SAE-International.

³ Vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen, Selbstfahrende Autos – assistiert, automatisiert oder autonom?, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Presse/Mitteilungen/2021/06-2021.html?nn=1497062 Die BAST orientiert sich in der rollenbasierten Übersicht zur nutzgerechten Kommunikation am Standard SAE J3016 der SAE-International.

⁴ Vgl. European Commission, Cooperative, connected and automated mobility (CCAM), Intelligent transport systems, https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en.

2 STATUS QUO UND PROBLEMSTELLUNG

Die Bundesregierung hat die Bedeutung automatisierter beziehungsweise autonomer Mobilität im Straßenverkehr frühzeitig erkannt und im Jahr 2015 die Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren (Strategie AVF) verabschiedet. Im Rahmen der Strategieumsetzung wurden unter anderem durch die Einsetzung der Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren (2016), das Gesetz zum automatisierten Fahren (2017) und die Etablierung von Forschungsförderung und digitalen Testfeldern im Realverkehr wichtige Weichenstellungen für die Implementierung des AVF im Realverkehr in Deutschland vorgenommen. Die jüngste Novellierung des Straßenverkehrsgesetzes⁵ im Juli 2021 ermöglicht rechtlich, dass autonome Kraftfahrzeuge im Sinne von Level 4 in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr im Regelbetrieb fahren können.

Parallel zum Gesetzgebungsprozess konnten weitere Praxiserfahrungen gesammelt und Herausforderungen für die Umsetzung erkannt werden. Grundlage waren Pilot- und Erprobungsprojekte wie das durch die NPM AG 3 initiierte und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderte Reallabor Digitale Mobili-

tät Hamburg und zahlreiche weitere Fördervorhaben des Bundes⁶, die auf Grundlage des *Aktionsplans Forschung für autonomes Fahren*⁷ angestoßen wurden.

Dieser Bericht identifiziert drei zentrale Handlungsfelder für die Umsetzung der autonomen Mobilität:

1. Der **Standardisierung und Harmonisierung von Infrastruktur und Kommunikation** kommt eine hohe Bedeutung zu, vor allem auch um grenzüberschreitende Perspektiven zu erreichen.
2. **Verkehrssicherheit und Sicherheitsvalidierung** sind unmittelbar erfolgskritisch für eine flächendeckende Implementierung des autonomen Fahrens.
3. Das Engagement der **Kommunen** im Zusammenwirken mit Akteuren aus der Wirtschaft, den Ländern und dem Bund ist zentral – sowohl bei der Umsetzung und Akzeptanz von Mobilitätsstrategien als auch hinsichtlich tragfähiger, funktionaler Geschäfts- und Betriebsmodelle auf Grundlage von AF vor Ort.

⁵ Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 48, S. 3108.

⁶ Siehe dazu <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/AVF-Forschungsprogramm/Projekte/avf-projekte.html>.

⁷ Vgl. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-forschung-fuer-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile.

3 HANDLUNGSFELDER UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

3.1 INTERNATIONALE STANDARDISIERUNG UND HARMONISIERUNG

Die Digitalisierung der Infrastruktur ist voranzutreiben. Im Zuge dessen gilt es, für eine sichere und effektive Integration des AF in das Verkehrssystem auch notwendige Anforderungen an die Infrastruktur (Standards und Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und technischer Aufsicht; Rahmenbedingungen zur Gewährleistung von Safety und Security, Datenschutz und Innovationsfreundlichkeit) zu erörtern und zu definieren.

Um Sicherheitsrisiken für Kund:innen und die Öffentlichkeit so gering wie möglich zu halten, sollte kein direkter Zugriff durch Dritte in die Fahrzeuge zugelassen werden. Gleichwohl sollte der Zugang zu Fahrzeugdaten wettbewerbsgerecht und auf eine sichere und diskriminierungsfreie Art und Weise ermöglicht werden.

Die anonymisierten Daten werden zur signifikanten Steigerung der Verkehrssicherheit zwischen den beteiligten Parteien (inklusive der öffentlichen Hand) ausgetauscht. Es müssen sowohl die Datenschutzrechte der Kund:innen als auch die bestehende Datenschutzgesetzgebung berücksichtigt werden. Die Datenschutzprinzipien und datenschutzrechtlichen Prinzipien bei der Nutzung von AF sind immer einzuhalten.

Bei automatisierten Fahrfunktionen mit Fahrzeug-zu-Fahrzeug- oder Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation ist es zwingend erforderlich, die Kommunikationsschnittstellen bereits vor Markteinführung zu spezifizieren, um eine Interoperabilität zwischen Fahrzeugen verschiedener Hersteller und in verschiedenen Ländern sicherzustellen. Bei diesen neuen Funktionen sind vor Markteinführung angemessene Anforderungen zu definieren.⁸

Automatisierte Fahrfunktionen sind auf Umfeldinformationen angewiesen und die Funktionsnutzung ist abhängig von den dafür notwendigen und verfügbaren Informationen. Die Anforderungen an die Infrastruktur steigen dabei mit dem Grad der Automatisierung.

Wenn notwendige Informationen fehlen, wird es zu entsprechenden Funktionseinschränkungen kommen.

Für die verbindliche und verlässliche Bereitstellung entscheidungsrelevanter Daten für das autonome Fahren benötigt es einen europaweit abgestimmten Rechtsrahmen sowie weitreichende Investitionen. Um autonomes Fahren auch über Ländergrenzen hinweg zu ermöglichen, ist die Harmonisierung der sicherheitsrelevanten Infrastruktur notwendig. Dafür ist eine möglichst weltweite, zumindest aber EU-weite Harmonisierung anzustreben, inklusive gemeinsamer Standards.

Im Vordergrund stehen dabei folgende Fragestellungen:

- Welche Infrastruktur ist zwingend erforderlich und stellt somit eine Mindestanforderung dar?
- Welche Infrastruktur kann unterstützen und wird als Ergänzungsmaßnahme betrachtet?
- Wie kann die vorhandene Infrastruktur weiterentwickelt werden und welche Anforderungen werden an die Qualität der Infrastruktur gestellt?

In Deutschland erfüllen die baulichen Randbedingungen bereits viele Anforderungen für autonomes Fahren. Die Infrastruktur bildet also im Ist-Zustand bereits eine gute Basis. Doch Abweichungen von der Norm, wie zum Beispiel falsche oder nicht normgerechte Beschilderungen, stellen besondere Herausforderungen dar und müssen beherrscht werden.

Grundsätzlich sind – nicht zuletzt wegen der europäischen und internationalen Dimension des Themas – solche technischen Lösungen vorzuziehen, die möglichst geringe Eingriffe in die Infrastruktur erforderlich machen und flexibel einsetzbar sind. Gleichzeitig darf auch nicht umgekehrt die Straßeninfrastruktur zum limitierenden Faktor werden. Die flächendeckende Einhaltung beziehungsweise Umsetzung

⁸ Vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 6 Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung, Schwerpunkt-Roadmap automatisiertes und vernetztes Fahren, <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/05/NPM-AG-6-Schwerpunkt-Roadmap-Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren.pdf>.

der bestehenden Standards der verkehrstechnischen Infrastruktur macht einen wichtigen Baustein für das autonome Fahren aus.⁹

Die Harmonisierung der technischen Ausstattung sowie die Schaffung von Schnittstellen (national/international) betrifft vor allem folgende Aspekte:

- Die Förderung beziehungsweise den Ausbau intelligenter Vernetzung von Verkehrsinfrastrukturen nach vorhandenen Standards, wie zum Beispiel der 3GPP (weltweite Kooperation von Standardisierungsgremien für

die Standardisierung im Mobilfunk) und/oder der IEEE Standards Association.

- Perspektivisch werden sich zusätzliche und neue Funktionen entwickeln (unter anderem Sicherheits- und Effizienzfunktionen). Unabhängig von der einzusetzenden Kommunikationstechnologie werden für eine zukunfts-sichere Gestaltung auch zusätzliche Frequenzspektren benötigt.
- Für die Umsetzung von Qualitätskriterien und die Bereitstellung von Verkehrsdaten ist eine regulatorische Verankerung nötig.

NR.	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	VERANTWORTLICH
1	Vor dem Hintergrund der Einführung autonomer Fahrsysteme sollte eine Diskussion zum Umfang einer europaweiten Harmonisierung der Straßeninfrastruktur (u. a. Definition eines minimalen Sets an Standards zu Verkehrszeichen, Straßenmarkierungen oder digitale Infrastruktur) und der Kommunikation und Interaktion der Fahrzeuge mit der Infrastruktur (V2I) stattfinden. Ziele wären u. a., die Verkehrssicherheit zu erhöhen, die Anwendungsbreite autonomer Fahrsysteme zu vergrößern und etwaige Standards bei Neu- und Erhaltungsbauten der Straßeninfrastruktur zu berücksichtigen (insbesondere die notwendige digitale Netzinfrastruktur). Die Diskussion sollte die Harmonisierung der Kommunikation der Fahrzeuge untereinander miteinschließen.	Bundesregierung (ggf. FGSV), Industrie und EU-Mitgliedsstaaten
2	Für die Einbindung der autonomen Fahrzeuge in das Gesamtsystem ist die Standardisierung der Kommunikation zwischen Fahrzeug und technischer Aufsicht zwingend erforderlich. Betriebs- und systemrelevante Fahrzeugdaten müssen unter Beachtung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Leitstelle, den Betriebsleitsystemen und dem Flottenbetreiber zur Verfügung gestellt werden. Dem Zugriff auf diese Daten sollte ein Rollen-Rechte-Konzept zugrunde liegen, welches die Aufgaben der Stellen berücksichtigt.	Industrie, Straßenbetreiber und BMVI

3.2 VERKEHRSSICHERHEIT UND SICHERHEITSVVALIDIERUNG

Sichere Interaktion mit autonomen Fahrzeugen

Fahrerlose Fahrzeuge werden in Zukunft vermehrt gemeinsam mit konventionellen Fahrzeugen am Straßenverkehr teilnehmen. Während bei konventionellen Fahrzeugen die fahrende Person die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen übernehmen kann (durch Blick und Gestik mit Unterstützung von Bordmitteln wie Licht, Hupe oder Blinker), entfällt diese menschliche Komponente beim fahrerlosen Fahrzeug.

Heute ist eine sichere Kommunikation zwischen Fahrer:innen und Verkehrsteilnehmer:innen für verschiedene Situationen, die auch sicherheitskritisch sein können, etabliert. Ein Beispiel ist der Fußgänger am Zebrastreifen, welcher versucht einzuschätzen, ob ein herannahendes Fahrzeug den Fußgänger erkannt hat und hält oder nicht. Bei konventionellen Fahrzeugen erfolgt diese „Absicherung“ zum Beispiel über Blickaufnahme zwischen Fußgänger:in und Fahrer:in mit zusätzlichem Handzeichen der fahrenden Person. Viele Kommunikationsszenarien zwischen Ver-

⁹ Vgl. e-mobil BW GmbH, Strukturstudie BWe mobil 2019, Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung 2019, S. 54.

kehrsteilnehmer:innen funktionieren auch ohne Blickkontakt oder Gestik, sondern nur über bekannte und gewohnte Fahrmanöver. Dazu zählt zum Beispiel das Vergrößern einer Lücke durch Verlangsamen der eigenen Geschwindigkeit zum Vorausfahrenden, um einem rechts befindlichen Fahrzeug anzuzeigen, dass man zum Beispiel das Einfädeln ermöglichen möchte.

Ein weiteres alltägliches Beispiel findet sich an Bushaltestellen. Heute erkennen Verkehrsteilnehmer:innen die Situation „Bus nähert sich einer Haltestelle, hält an dieser“ oder „Bus fährt von Haltestelle ab“ neben dem Fahrverhalten mit Blinken des Busses auch darüber, dass eine Haltestelle gekennzeichnet ist (zum Beispiel Haltebucht oder markierte Fläche auf der Fahrbahn und Halteschild). Zukünftige autonome Shuttles werden an virtuellen – also für andere Verkehrsteilnehmer:innen nicht erkennbaren – Haltestellen halten und Passagiere ein- und aussteigen lassen. Andere Verkehrsteilnehmer:innen müssen diese Verkehrssituation gut wahrnehmen und sicher einschätzen können.

Fallen die Fahrer:innen als Kommunikationssender oder -empfänger weg, so muss eine geeignete Technik diese Rolle übernehmen, um die Verkehrssicherheit und den Verkehrsfluss weiterhin zu gewährleisten. In verschiedenen Forschungsprojekten werden hierzu bereits unterschiedliche Möglichkeiten wie zum Beispiel die Kommunikation über Displays untersucht.¹⁰

Für die Kommunikation insbesondere mit schwächeren Verkehrsteilnehmer:innen wie Fußgänger:innen und Radfahrer:innen ist in Zukunft eine gut verständliche, möglichst einheitliche, akzeptierte und den Bedürfnissen der Nutzergruppen angepasste Lösung erforderlich, wobei digitale und vernetzte Infrastrukturelemente auch weiterhin zur Verfügung stehen.

Verhaltensregeln zur Erfüllung von Sicherheitsanforderungen

Autonome Fahrzeuge halten sich strikt an die Verkehrsregeln. Das liefert einen wertvollen Beitrag für die Verkehrssicherheit. Im Straßenverkehr kommen jedoch immer wieder Situationen vor, die ein Abwägen zwischen der Behinderung des fließenden Verkehrs und einem Übertreten von Verkehrsregeln erfordern. In diesen Fällen werden von menschlichen Fahrer:innen unvermeidliche Risiken gegeneinander abgewogen und entsprechende Entscheidungen

getroffen, die eine Verkehrsregel zu missachten, um eine andere zu erfüllen.

Beispiele hierzu:

- Das Überfahren einer durchgezogenen Linie aufgrund eines Hindernisses, welches umfahren werden soll. Hier ist nach Abwägung aller Risiken die Umfahrung nur möglich, wenn eine Verkehrsregel missachtet wird, um ein höherwertiges Ziel zu erreichen (zum Beispiel Freimachen eines Streckenabschnitts für den nachfolgenden Verkehr).
- Ein Einsatzfahrzeug nähert sich mit Blaulicht und Einsatzhorn. Ein autonomes Fahrzeug kann nur durch Überfahren einer durchgezogenen Linie, Überfahren einer Haltelinie vor einer roten Ampel oder Auffahren auf den Gehweg die Fahrbahn frei machen.
- Bildung einer Rettungsgasse: Ein autonomes Fahrzeug muss auch hier gegebenenfalls eine durchgezogene Linie überfahren, um den höherwertigen Zielen zu entsprechen.

Wenn ein fahrerloses Fahrzeug eine Panne hat, kann kein Fahrer das Warndreieck aufstellen und somit die Gefahrenstelle nicht ordnungsgemäß abgesichert werden. Lösungen für diese und weitere Beispiele sollten mit den zuständigen Behörden (etwa der Verkehrssicherheit, der Polizei, des Verkehrsrechts, der Politik usw.) und technischen Diensten diskutiert werden, mit dem Ziel, diese mit rechtlichen Anforderungen abzugleichen.

Der Beitrag von KI, maschinellem Lernen und datenbasierten Referenzszenarien

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine Schlüsseltechnologie für das autonome Fahren, um die Aufgaben des menschlichen Fahrers übernehmen zu können. Technisch steht und fällt das autonome Fahren mit einer robusten und zuverlässigen Erkennung des Fahrzeugumfelds mit Hilfe von Sensoren. Nur wenn eine Situation richtig erfasst wird, kann daraus das richtige Fahrverhalten abgeleitet werden. Die Algorithmen der künstlichen Intelligenz dienen beim Erlernen beziehungsweise Testen dazu, die Performance bei der Erkennung von Objekten signifikant zu erhöhen sowie das Szenenverständnis für die Handlungsabsicht von Fußgänger:innen zu verfeinern (etwa bezüglich deren Gesten). Es geht also darum, komplexe und nicht vorhersehbare Verkehrssituationen – auch seltene Sonderfälle – zu

¹⁰ Z. B. im vom BMWi geförderten Projekt @CITY. <https://www.atcity-online.de/>

interpretieren, dafür die richtige Fahrstrategie zu entwickeln und diese dann entsprechend umzusetzen.

Aufgrund ihrer außergewöhnlichen Performanz sind insbesondere maschinelle Lernverfahren als Teilgebiet der KI eine zentrale Technologie für das autonome Fahren. Vor allem für schwer zu spezifizierende Probleme (zum Beispiel Fußgängererkennung) sind sie gegenüber regelbasierten Algorithmen klar im Vorteil. Durch ihre Fähigkeit, grundlegende Muster und Korrelationen automatisiert in großen Datenmengen zu erkennen und daraus zu lernen, sind sie im Bereich der Umfeld-Erkennung bereits aus heute existierenden Fahrassistenzsystemen nicht mehr wegzudenken.

Eine zentrale Rolle für die Befähigung autonomer Fahrzeuge spielt das Testen, also die Überprüfung des Erlernens, wie sich in bestimmten Situationen verhalten werden muss. Für die Absicherung mit Realfahrten bedarf es sehr vieler Testkilometer. Die Absicherung durch virtuelle Testfahrten hilft, die Entwicklung voranzutreiben sowie effizient und sicher zu gestalten. Für die Simulation und das Training im virtuellen Raum werden Daten benötigt. Diese sollten durch eine Datenbank zur Verfügung gestellt werden. Die dazu benötigten Datenstrukturen, Standards, Inhalte und Prozesse sowie relevanten Szenarien müssen industrieübergreifend entwickelt und gelöst werden.

Es gilt aber auch, dass autonome Fahrzeuge in ihrem Einsatzbereich mit allen potenziellen Verkehrssituationen zurechtkommen und zuverlässig funktionieren müssen. Die Validierung dieser Fahrzeuge muss also auch die Absicherung der verwendeten KI-basierten Algorithmen umfassen. Entsprechende Methoden sind zu entwickeln und

anzuwenden. Ein zentraler Schritt wird sein, dass Deep-Learning-Verfahren (als Teilgebiet des maschinellen Lernens) zuverlässig anzeigen, wie vertrauenswürdig eine durch sie bereitgestellte Information ist. Dies wird dem Fahrzeug ermöglichen, auch in schwierigen Situationen sichere Entscheidungen zu treffen.

Das fertig trainierte und abgesicherte Netz wird ins Fahrzeug eingebettet. Eingehende Sensorsignale werden dort verwertet. Dieses abgesicherte Netz wird nicht allein weiterlernen, da nicht für jedes Fahrzeug überwacht werden kann, ob es sinnvolle Dinge lernt. Eher werden zentral entwickelte und abgesicherte Funktionen oder Fähigkeiten über notwendige Softwareupdates geliefert.

Die Anforderungen an einen Sicherheitsnachweis von KI-basierten Funktionsmodulen für das AF sollten sowohl in der Fahrzeugzulassung als auch in entsprechenden Standards Berücksichtigung finden. Sie sollten konsensual im Rahmen einer allgemein akzeptierten Absicherungsstrategie definiert werden. Entsprechend sind akzeptierte Metriken zur Bewertung von KI-Algorithmen anzuwenden.

Der Einsatz von KI bedeutet, dass die Algorithmen mit vielen verschiedenen Datensätzen von Verkehrseignissen und Szenarien angelernt werden müssen, bis eine Funktion (zum Beispiel die Erkennung von Personen) einen befriedigenden Grad an Robustheit erreicht hat.

Um die Metriken für einen Sicherheitsnachweis bedienen zu können, bedarf es relevanter Sätze realer und synthetischer Szenarien. Dies zeigt den Bedarf einer gemeinsamen Referenz-Szenarien-Datenbank.

NR.	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	VERANTWORTLICH
3	<p>Erarbeitung von Verfahren (z. B. Best Practice) zur sicheren Interaktion zwischen autonomen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen, insbesondere Fußgänger:innen/Radfahrer:innen (Vulnerable Road Users). Virtuelle Haltestellen sowie Kreuzungen und Überwege sind für die Planungs-Richtlinien von Straßen besonders relevant und zu beachten.</p> <p>Für eine bessere Interaktionsgestaltung sollten wissenschaftliche Erkenntnisse herangezogen werden, um zu bewerten, ob ggf. neuartige Anzeigeconzepte (z. B. von außen sichtbare Displays in autonomen Fahrzeugen), akustische Signale oder Kommunikation mit Lichtsignalanlagen erforderlich sind oder ob hierauf verzichtet werden kann. Die hierzu laufenden Diskussionen auf UN-Ebene sollten ebenfalls berücksichtigt werden.</p>	<p>Industrie, Wissenschaft, Bundesregierung (insb. bzgl. Forschungsförderung)</p>
4	<p>Die Anpassung von Regeln und Normen an die Spezifika des autonomen Fahrzeugs ist zu evaluieren. Technische Lösungen zur Einhaltung der Regeln zur Erfüllung von Sicherheitsanforderungen müssen für autonome Fahrzeuge entwickelt werden (z. B. bzgl. Aufstellen von Warndreieck oder Bildung einer Rettungsgasse im komplexen Verkehr usw.). Daraus abgeleitete Notwendigkeiten zur internationalen Harmonisierung müssen adressiert werden. Hier sollte im Vorfeld ein Austausch zwischen den an der Typgenehmigung beteiligten Organisationen und Behörden angestrebt werden, bei dem technische Lösungen mit rechtlichen Anforderungen abgeglichen werden.</p>	<p>Fahrzeugindustrie, UNECE (BMVI)</p>
5	<p>Initiierung eines Multi-Stakeholder-Prozesses zur Schaffung einer Datenbasis mit dokumentierten Referenzszenarien zum Trainieren, Überprüfen und Validieren von Simulationsmodellen. Im Prozess sind u. a. Erörterungen zu Normen und Standards (bspw. Datenstrukturen), zu konsensfähigen Betreibermodellen für alle Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, zur Förderung der Bereitstellung von Daten (z. B. Fahrdaten) für die Validierung und zu Möglichkeiten der Zertifizierung von sicheren KI-Methoden zu führen.</p>	<p>Bundesregierung (ressortübergreifend, insb. Verkehrs-, Daten-, und Innovationszuständigkeiten), Mobility Data Space (stellt eine zu empfehlende, standardisierte Schnittstelle für den Datenaustausch bereit), OEMs und Mobilitätsanbieter (deren Mitwirkung ist notwendiger Bestandteil eines erfolgreichen Stakeholder-Prozesses) und technische Dienste</p>

3.3 IMPLEMENTIERUNG AUF KOMMUNALER EBENE

Autonomes Fahren bedeutet nicht nur die konsequente Digitalisierung der Fahrzeuge, sondern eröffnet auch umfassende Potenziale für innovative Mobilitätsangebote in den Kommunen. Die nächsten Schritte sollten daher gemeinsam mit den Kommunen gegangen werden und nachhaltig demonstrieren, wie technologischer Fortschritt mit den Zielsetzungen des Klimaschutzes und lebenswerter öffentlicher Räume in Einklang zu bringen ist. Hierzu sind nicht nur technologische Fragestellungen zu klären. Vielmehr gilt es, gemeinsam Handlungskonzepte für die Zukunft zu erproben.

Kommunen als Erprobungsräume

Reallabore wie das ReallaborHH, in denen Innovationen über einen längeren Zeitraum und unter direkter Beteiligung der Bürger:innen demonstriert und erprobt werden können, sollten in Zukunft die unterschiedlichen Entwicklungsstränge auf der fahrzeug- und infrastruktureitigen Entwicklung sowie der Umsetzung von Mobilitätsstrategien und tragfähigen, funktionalen Geschäfts- und Betriebsmodellen begleiten. Daraus ergibt sich für Betreiber von Mobilitätsdienstleistungen, Infrastruktursystemen

und Fahrzeugflotten die Möglichkeit der schrittweisen Optimierung einer Gesamtlösung, welche Grundvoraussetzung für den Einsatz autonomer Fahrzeuge im inter- und multimodalen Mobilitätssystem ist.

Im öffentlichen Raum wird Wandel für Bürger:innen sichtbar und erlebbar. Kommunen erfüllen daher eine Schlüsselfunktion für die gesellschaftliche Akzeptanz des AF und sind im Zusammenwirken mit Regierungen, Wirtschaft, Forschung und Verbänden Ermöglicher für Innovationen. Autonome Fahrzeuge und ihr Einsatz in Flotten sollten weiter aktiv vorangetrieben werden. Daher ist es wichtig, dass Kommunen offen für Erprobungen in Reallaboren, aber auch für erste Regelbetriebe sind. Um autonome Flotten auch im öffentlichen Raum erproben und betreiben zu können – sowohl in der praktischen als auch der rechtlichen Umsetzung – müssen geeignete Möglichkeiten geschaffen werden. Organisatorisch können entscheidungsbefugte crossfunktionale, bereichsübergreifende Teams innerhalb der Verwaltung die Prozesse für Planung, Genehmigung, Umsetzung und Evaluation derartiger Tests erleichtern – gerade bei verteilten Zuständigkeiten in größeren Gebietskörperschaften oder im interkommunalen Kontext. Die Experimentierklauseln im Personenbeförderungsgesetz (PbefG), der Straßenverkehrsordnung (StVO) und im Straßenverkehrsgesetz (StVG) bieten bereits heute die Möglichkeit zur Erprobung neuer Mobilitätslösungen. Eine größere Handlungsfreiheit für die Kommunen, um begründete Abweichungen vom bestehenden Rechtsrahmen (zum Beispiel Geschwindigkeitsregulierung) zu genehmigen, ist zu erörtern.

Austausch von Informationen und Erfahrungen

Die Erfahrungen aus den einzelnen Kommunen, die zu meist unterschiedliche verkehrliche und räumliche Voraussetzungen aufweisen, sind von Fördermittelgebern, der Wirtschaft und Verbänden über Erfahrungs- und Austauschdatenbanken zu publizieren. Diese sollten möglichst der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Ziel ist der Aufbau eines Systems des Wissensmanagements, das einen Zugriff auf die stetig wachsende Zahl von Projekterfahrungen ermöglicht. Die ausgetauschten Daten und Informationen sollen einen Überblick über den Betriebsbereich, die erhobenen Daten sowie die strategischen Zielsetzungen zur Umgestaltung des Mobilitätssystems in den Umsetzungsprojekten geben. Idealerweise erfolgt eine Konsolidierung aller Daten in einem digitalen Zwilling, der für weitere Entwicklungsschritte genutzt werden kann.

Ganzheitliche Mobilitätsstrategien und -konzepte

Der Verkehr ist ein wesentlicher Faktor für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Funktionsfähigkeit von Kommunen. Er prägt den öffentlichen Raum und beeinflusst in hohem Maße die Lebens- und Aufenthaltsqualität vor Ort. Technologische Entwicklungen im Verkehrssektor wie das autonome Fahren erfordern eine frühzeitige und aktive Begleitung auf kommunaler Ebene, um die damit verbundenen Chancen und Risiken bewerten und nutzen zu können. Grundlage bildet die Beteiligung der kommunalen Gebietskörperschaften an Austauschplattformen, um Erkenntnisse zu Konzepten und Entwicklungen zu gewinnen. Dazu gehören das Engagement in sektorspezifischen Gremien, wie zum Beispiel kommunalen Verbänden (unter anderem Deutscher Städtetag, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städte- und Gemeindebund), die Kommunikation zwischen den Ebenen (Kommunen, Länder, Bund) sowie der Austausch mit Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft. Der Bund nimmt eine wichtige Rolle in der Moderation und Einrichtung geeigneter Austauschplattformen (unter anderem NaKoMo, NPM, RTAF) zu Herausforderungen und Handlungserfordernissen einer nachhaltigen Verkehrswende ein.

Autonomes Fahren gelangt auch durch diesen breit angelegten verkehrspolitischen Diskurs auf die kommunale Agenda. Kommunen sind aufgerufen, individuelle Strategien zum Umgang mit AF unter Berücksichtigung internationaler und nationaler Rahmenbedingungen zu entwickeln. Den strategischen Rahmen für lokale Nahverkehrskonzepte bilden in der Regel integrierte Verkehrsentwicklungspläne (VEP) oder Teile von integrierten ländlichen Entwicklungskonzepten (ILEK). Sie berücksichtigen oftmals ökologische, ökonomische, soziale sowie Nachhaltigkeitsaspekte und definieren Ziele und Leitbilder der kommunalen Mobilitätspolitik. Aus dem Gesamtkonzept können Maßnahmen und Indikatoren unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Verkehrs- und Raumentwicklung abgeleitet werden. Eine Ausrichtung am „Sustainable Urban Mobility Plan“ (SUMP) nach EU-Definition ist möglich. Es besteht zwar kein Rechtsanspruch auf Ausführung des VEP/ILEK, jedoch kann das Vorhandensein eines VEP/ILEK oder ähnlicher Mobilitätskonzepte (zum Beispiel Luftreinhalteplan) Voraussetzung für die Förderfähigkeit der damit verbundenen Maßnahmen sein.

Für die Umsetzung ist die strategische Ebene in operativen Plänen zu konkretisieren. Der mit den „Green City Masterplänen“ im Jahre 2018 eingeschlagene Weg ist hierbei

konsequent fortzusetzen.¹¹ Die Dynamik der technologischen Entwicklung erfordert zudem eine Balance zwischen der längerfristig wirkenden Festlegung von technologischen und organisatorischen Rahmenbedingungen, die für die Systemeinführung notwendig sind, und der agilen Einbindung neuer und innovativer Entwicklungen in den so geschaffenen Gesamtrahmen. Nicht zuletzt bildet die Verankerung des autonomen Fahrens in lokalen Mobilitätskonzepten einen Orientierungsrahmen für die kommunale Verwaltung. Flankierende Maßnahmen – insbesondere Fort- und Weiterbildungsangebote in den Themenfeldern Automatisierung, Digitalisierung und Elektrifizierung – können die Verwaltung bei der Bewältigung der vielfältigen neuen Aufgabenstellung (besonders auch im Bereich von Ausschreibungsgestaltung und Vergabe an Betreiber autonomer Flotten) im Zusammenhang mit AF unterstützen.

In Kommunen ist der Einsatz autonomer Fahrzeuge in Flotten als Ergänzung zum bestehenden ÖPNV von besonderem Interesse. Mit diesen Flotten könnten zukünftig Zeiten und Zonen mit bislang nur geringem oder fehlendem öffentlichen Verkehrsangebot besser abgedeckt werden. Eine Automatisierung kann auch die Flexibilisierung und Elektrifizierung von ÖPNV-Flotten erleichtern, zum Beispiel durch Kopplung kleinerer, elektrifizierter Fahrzeugeinheiten mittels Platooning.

Verkehrsmodelle dienen zur Analyse von Verkehrsströmen, der Prognose zukünftiger Verkehrsentwicklungen und der verkehrlichen Wirkungsabschätzung von Maßnahmen der Stadt- und Verkehrsplanung. Perspektivisch ist daher eine Integration autonomer Fahrzeuge/Flotten in kommunale und regionale Verkehrsmodelle ratsam.

Die Akzeptanz des autonomen Fahrens wird im Wesentlichen davon abhängen, inwieweit Nutzen (zum Beispiel in Form einer besseren Bedienung von Mobilitätsbedürfnissen) gestiftet und unerwünschte Wirkungen (zum Beispiel durch erhöhtes Verkehrsaufkommen) vermieden werden können. Es muss gelingen, auch die wirtschaftlichen Potenziale der AF-Technologie zu erschließen und tragfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln. Dabei sind die Kommunen auch auf die Unterstützung der Mobilitätswirtschaft angewiesen, deren wirtschaftliche Ziele beim AF mit dem gesellschaftlichen Nutzen übereinzubringen sind. Den Gebietskörperschaften sind in diesem Zuge Gestaltungsmöglichkeiten einzuräumen, mit der gebotenen Flexibilität die erfolgreiche Einführung des AF im Einklang mit lokalen Mobilitätskonzepten und Verkehrszielen zu gewährleisten. Autonomes Fahren wird die Stadtplanung zunehmend beeinflussen. Hiermit einhergehende Mobilitätsstrategien müssen zusammen mit den Ländern und auf kommunaler Ebene entwickelt werden.¹² Die umfassende Einführung automatisierter Systeme in Mobilitätskonzepten erfordert aber auch die Entwicklung von geeigneten Steuerungselementen im kommunalen Kontext, beispielsweise: Die Erlaubnis beziehungsweise Zufahrtsbeschränkung für bestimmte Gebiete und Fahrspuren, die Bepreisung, das Parkraummanagement, die Vergabe von Konzessionen und Lizenzen für autonome und geteilte Flotten, Anreize zum Pooling bei Flotten zur Erhöhung des Besetzungsgrades, Maßnahmen zur Vermeidung von Leerfahrten nach dem deutlichen Hochlauf von autonomen Fahrzeugen, die Einbindung autonomer Flotten in eine kommunale Verkehrsleitzentrale, die Integration autonomer Flotten in den ÖPNV oder die Übermittlung aggregierter nicht personenbezogener Nutzungsdaten für die Integration in kommunale und regionale Verkehrsmodelle.¹³

NR.	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	VERANTWORTLICH
6	Zur Verbesserung der Implementierungsbedingungen autonomer Fahrzeugsysteme und zur Förderung deren Potenzials müssen Realbetriebe weiter ausgebaut und in geeigneter Weise gefördert werden, damit u. a. Auswirkungen auf Sicherheit, Verkehrsfluss und Ökologie, gesellschaftliche Akzeptanz sowie Wirtschaftlichkeitsaspekte weiter untersucht werden können. Begleitend sind offene Forschungsfragen und Umsetzungsaspekte zu klären (ggf. beim Runden Tisch „Automatisiertes Fahren“ des BMVI).	Bundesregierung, Wirtschaft, Forschung, Länder, Kommunen, Verbände

¹¹ Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Masterpläne „Green City“, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/masterplaene-green-city.html>. Hier abrufbar auch die einzelnen Masterpläne der beteiligten Städte sowie der entsprechende Ergebnisbericht.

¹² Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, <https://www.fgsv-verlag.de/h-verkehrsentwicklungsplanung> S.26f.

¹³ Vgl. Deutscher Städtetag, Nachhaltige städtische Mobilität für alle, Agenda für eine Verkehrswende aus kommunaler Sicht. Positionspapier des Deutschen Städtetages, <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Positionspapiere/Archiv/nachhaltige-staedtische-mobilitaet-2018.pdf>.

NR.	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	VERANTWORTLICH
7	Aufbau einer Erfahrungs- und Austauschdatenbank . Erfahrungen und Erkenntnisse (Informationen über Infrastruktur, Wegenetz usw.), die in festgelegten Betriebsbereichen gemacht werden, sollen in geeigneter Form zum Austausch bereitstehen und für weitere Förderprojekte genutzt werden können (idealerweise Konsolidierung aller Daten als „Digitaler Zwilling“).	Fördermittelgeber, Verbände, Industrie
8	Für den Einsatz autonomer Fahrsysteme im kommunalen Umfeld sind Mobilitätsstrategien und tragfähige, funktionale Geschäfts- und Betriebsmodelle zu erarbeiten. Die Potenziale autonomer Flotten sind dabei durch die Einbindung in die stadt-, regional- und verkehrsplanerischen Grundlagen sowie durch die Integration in Verkehrsmodelle – auch auf der kommunalen Agenda – gezielt zu nutzen.	Kommunen (unterstützt durch Länder, ggf. Bundesregierung), Industrie, Verbände
9	Hinsichtlich der Integration und Anpassung an die kommunalen Anforderungen sollen für den Einsatz und Betrieb autonomer Fahrzeuge Leitfäden erstellt werden. Diese Leitfäden sollen beispielsweise Fragen der Integration in Verkehrsleitzentralen, Vergabe von Konzessionen bzw. Lizenzen oder Vermeidung von Leerfahrten oder ähnliches im Einklang mit dem PBefG oder anderer einschlägiger Voraussetzungen regeln. Aus diesen können von den Kommunen lokal angepasste Steuerungsstrategien entwickelt werden.	Kommunen (unterstützt durch Länder, ggf. Bundesregierung), Industrie, Verbände

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

3GPP	3rd Generation Partnership Project, weltweite Kooperation von Standardisierungsgremien für die Standardisierung im Mobilfunk
BMBF	Bundeministerium für Bildung und Forschung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
IEEE Standards Association	Standardisierungsgremium des Institute of Electrical and Electronics Engineers, eines Berufsverbands aus dem Bereich Elektro- und Informationstechnik
Metriken	Standardisierte Messgröße in der IT-Technik
NaKoMo	Nationales Kompetenznetzwerk für nachhaltige Mobilität
RTAF	Runder Tisch „Automatisiertes Fahren“ des BMVI
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
StVG	Straßenverkehrsgesetz
V2I-Kommunikation	Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation, also der Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Infrastruktur

IMPRESSUM

VERFASSER

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität,
Arbeitsgruppe 3 „Digitalisierung für den Mobilitätssektor“

November 2021

HERAUSGEBER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

REDAKTIONELLE UNTERSTÜTZUNG

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
ifok GmbH

SATZ UND GESTALTUNG

ifok GmbH

LEKTORAT

Nikola Klein – e-squid text konzept lektorat

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur federführend koordiniert. Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral.



