

E-BOOK

# Autonomes Fahren

Chancen für eine sichere,  
effiziente und nachhaltige  
Mobilität für alle?

---

Perspektiven, Handlungs- und Regulierungsbedarf

# Inhaltsverzeichnis

<b>Über den Autor .....</b>	<b>3</b>
<b>Vorstellung IKEM.....</b>	<b>4</b>
<b>Einleitung: Science-Fiction kommt auf die Straße.....</b>	<b>5</b>
Wie hat sich das autonome Fahren in den letzten Jahren entwickelt? .....	6
Status quo: Autonomes Fahren heute.....	7
<b>Hintergrund: Was sind Fahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen? .....</b>	<b>9</b>
Autonom bedeutet eigenständig und fahrerunabhängig.....	11
Die Automatisierungsstufe sagt nicht alles .....	12
Menschen übernehmen weiterhin Verantwortung im System .....	14
Die Technologien hinter der Autonomie.....	15
Vernetztes Fahren: Vom Fahrzeugsystem zum Gesamtsystem? .....	23
Manuelle, automatisierte und autonome Fahrfunktion. Was bedeutet was? .....	27
Die autonome Fahrfunktion braucht ihre eigenen Regelungen.....	35
<b>Ziel: Nachhaltigere, sichere und effiziente Mobilität für alle .....</b>	<b>38</b>
Die Chancen für den Verkehr und Arbeitsmarkt.....	39
Die Möglichkeiten für die Nachhaltigkeit.....	44
Die Risiken bei Datenmissbrauch und Zugangschancen.....	48
<b>Fazit: Eine neue Mobilitätswelt? .....</b>	<b>49</b>
Aussicht für den Individualverkehr.....	51
Aussicht für Nutzfahrzeuge und betriebliche Verkehrsmittel .....	52
Nationale und internationale Projekte für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion .....	54

# Über den Autor

Nächstes Kapitel ↻



Ass. jur. Matthias Hartwig ist Volljurist und seit 2011 wissenschaftlicher Referent des Instituts für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM). Seit 2014 leitet er dort das Mobilitätsteam. In seinen Projekten befasst er sich u. a. mit rechtlichen Fragen der Mobilität. Dazu zählen vordergründig folgende Bereiche:

- Energiewirtschafts-, Straßen- und Straßenverkehrsrecht
- Planungsrecht
- Anreiz- und Fördermodelle im Mobilitätsbereich
- Wirtschaftsrechtlicher Rahmen der Mobilität (vor allem Beihilfe-, Vergabe- und Kartellrecht)

Zu rechtlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragen im Zusammenhang mit Kraftfahrzeugen mit automatisierter oder autonomer Fahrfunktion forschen sein Team und er in einer Vielzahl von Projekten:

➔ [www.ikem.de/team/matthias-hartwig](http://www.ikem.de/team/matthias-hartwig)

# Vorstellung IKEM

Nächstes Kapitel ↻

Das Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) forscht als unabhängiger, gemeinnütziger Verein und An-Institut der Universität Greifswald zu wissenschaftlichen Schlüsselfragen auf dem Weg in eine zukunftsfähige Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung. Dabei wird eine interdisziplinäre, integrative und internationale Perspektive zugrunde gelegt. Zentrale Forschungsthemen des IKEM sind:

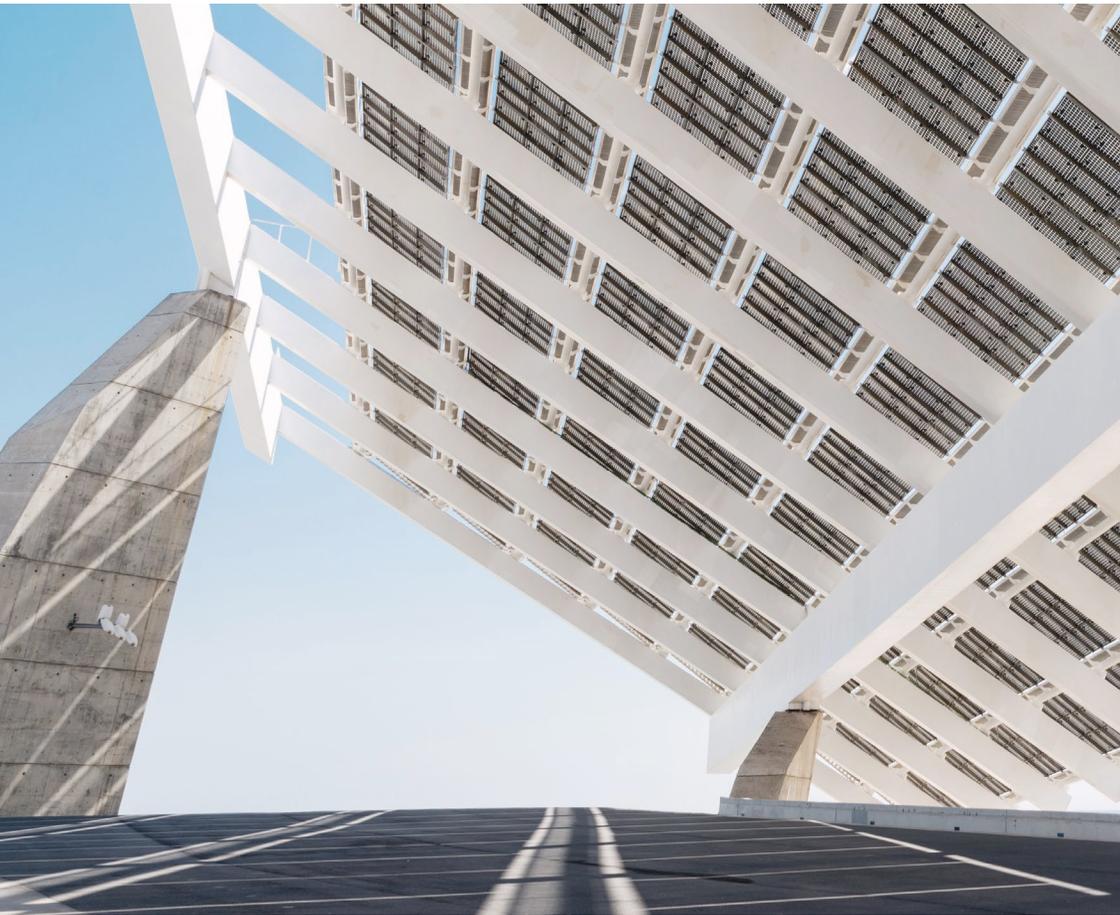
- Ausbau erneuerbarer Energien
- Zukunftsfähige Energienetze
- Elektromobilität
- Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs
- Verwandte Verkehrs- und Mobilitätsthemen
- Implementierung von Klimaschutzzielen
- Grundfragen von Energieversorgung, Planung, Ressourcenschutz und -effizienz

Einen Überblick zu den Projekten, Partnern und Publikationen des IKEM finden Sie unter:

➔ [www.ikem.de](http://www.ikem.de)

# Einleitung: Science-Fiction kommt auf die Straße

Nächstes Kapitel ↻



---

## Wie hat sich das autonome Fahren in den letzten Jahren entwickelt?

Halten Sie Roboterautos für Science-Fiction? Noch vor wenigen Jahren hätte Ihnen kaum ein Experte ernsthaft widersprochen. Im Jahr 2004 trug die amerikanische Organisation für Forschungsprojekte der Verteidigung (DARPA) in der Mojave-Wüste erstmals einen Wettbewerb zur Entwicklung von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion aus. Ziel war es, mit einer autonomen Fahrzeugsteuerung eine Strecke von etwa 240 Kilometer in zehn Stunden zurückzulegen. Das erfolgreichste Fahrzeug schaffte davon nur rund zwölf Kilometer.

Seit etwa 2011 behaupten verschiedene amerikanische Technologiekonzerne, dass ihre entwickelten autonomen Fahrzeuge nahe der Marktreife wären. Ihre Fahrzeuge hätten bereits hunderttausende Testkilometer bei nur seltenen Eingriffen der Testfahrer erfolgreich zurückgelegt.



---

## Status quo: Autonomes Fahren heute

Wenngleich diese Ankündigungen im Rückblick vielleicht als etwas vorschnell und überzogen gelten müssen, gaben diese Unternehmen einen wichtigen Impuls. Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion (auch bekannt als autonome Fahrzeuge, Roboterautos, fahrerlose oder selbstfahrende Kraftfahrzeuge) sind seither an die Spitze der Mobilitätsforschung gerückt und sorgen bis heute für eine mediale Euphorie, die das Thema weiter vorantreibt. Manche Diskussion sah Roboterautos schon in wenigen Jahren die Plätze aller herkömmlichen Autos einnehmen. Nunmehr ist die Euphorie etwas abgeflaut und hat einer realistischeren Betrachtung Platz gemacht.

Heute können Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion manche Verkehrssituationen von allein bewältigen, sodass sich für diese Fahrzeuge bereits sinnvolle Einsatzbereiche abzeichnen. Fast alle Experten sind sich jedoch einig, dass in bestimmten Verkehrssituationen sowie in der Wartung und Überwachung der Fahrzeuge noch lange menschliche Unterstützung erforderlich sein wird. Zudem sind autonome Fahrfunktionen nicht in allen Bereichen einsetzbar.

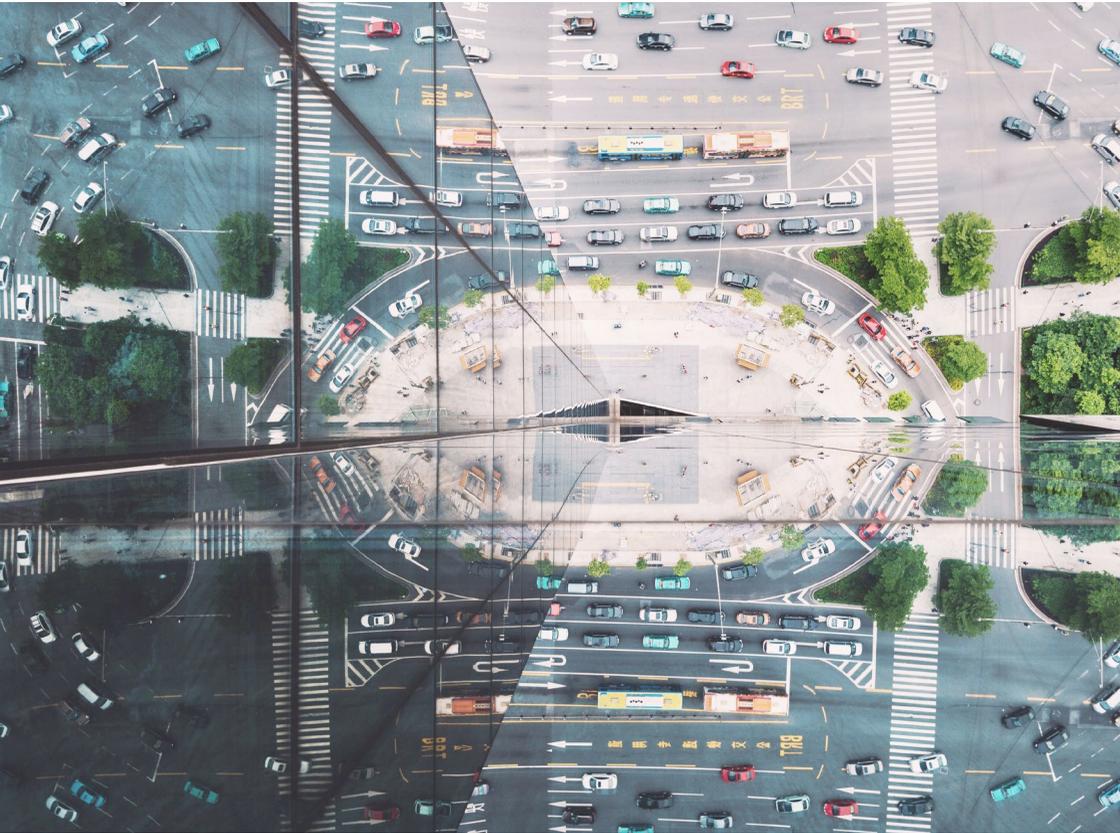
# **„Einen gemischten Verkehr, an dem Fahrzeuge verschiedener Automatisierungsstufen, Radfahrer und Fußgänger nebeneinander teilnehmen, wird es weiterhin geben.“**

**Matthias Hartwig**

Falls Sie Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion also für Science-Fiction halten, erfahren Sie hier

- an welchem Punkt diese Technologie heute steht,
- warum autonome Fahrfunktionen im Verkehr bald eingesetzt werden,
- weshalb wir sie gut gebrauchen können, da sie zu einer nachhaltigen, effizienten Mobilität beitragen können und zur Verkehrssicherheit beitragen werden und
- was auf dem Weg zu einer nachhaltigen, sicheren und effizienten Mobilität mit Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion noch zu tun ist.

# Hintergrund: Was sind Fahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen?



**Ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion verfügt nach Aktivierung jener Funktion nicht mehr über einen Fahrer im herkömmlichen Sinne. Der Grund: Während der autonomen Fahrt ist kein Mensch für die ständige Überwachung des Verkehrsgeschehens oder die Fahrzeugsteuerung verantwortlich. Das Fahrzeug folgt einem von Menschen gemachten Programm. Zusätzlich übernehmen Menschen außerhalb des Fahrzeugs oder ein Fahrzeugbegleiter einen Teil der Funktionen und der Verantwortung, die bisher beim Fahrer lagen. Einige technische Aufgaben können auch digitale Umgebungssysteme außerhalb des Fahrzeugs durchführen. Sie bilden mit dem Fahrzeug dann ein Gesamtsystem. Weiterhin setzen Menschen die autonome Fahrfunktion in Gang und haben somit die Kontrolle über das Fahrzeug, zumindest indem sie Befehle erteilen, die das Fahrzeug automatisch umsetzt.**

Auf diese Weise können Menschen das Fahrzeug auch jederzeit aus dem Verkehr nehmen. Menschen erfüllen außerdem unterschiedliche Funktionen bei der Wartung, Überwachung und Begleitung des Fahrzeugs. Welche Funktionen und Verantwortlichkeiten dabei beim Fahrzeugsystem oder einem digitalen Umgebungssystem liegen und welche beim Menschen kann sich von System zu System stark unterscheiden.



---

## Autonom bedeutet eigenständig und fahrerunabhängig

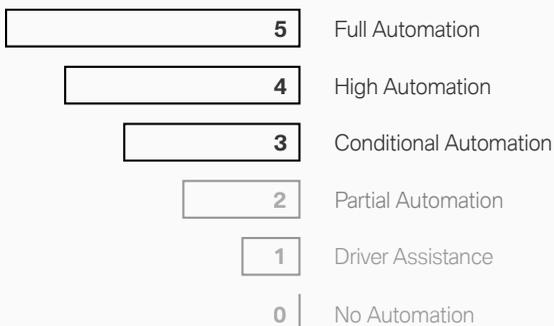
Der Begriff „autonom“ lässt sich aus dem Griechischen entweder mit „selbstbestimmt“ oder mit „eigenständig“ übersetzen. „Selbstbestimmt“ fährt ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion im autonomen Fahrmodus nicht. Es wird von einem Programmcode, mit dem Programmierer die Reaktion des Fahrzeugs vorherbestimmt haben, geleitet. Das Programm – und nicht der Fahrer – bestimmt also im autonomen Fahrmodus die Reaktion des Fahrzeugs. Zutreffender ist daher die Übersetzung als „eigenständig“ in dem Sinne, dass das Fahrzeug in den meisten Verkehrssituationen unabhängig vom Eingreifen eines Menschen agiert und ein Fahrer das System nicht ständig überwachen oder übernehmen muss. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass ein Mensch die autonome Fahrfunktion ausschaltet und anschließend das Fahrzeug manuell steuert.

---

# Die Automatisierungsstufe sagt nicht alles

**Automatisierungsstufen erleichtern die Einordnung automatischer Fahrfunktionen der Fahrzeuge. Um ihre Funktionen zu beurteilen, ist dagegen ein genauer Blick auf die unterschiedlichen Systeme erforderlich.**

Für automatisierte Fahrzeuge gibt es verschiedene Automatisierungsstufen. Die Differenzierung in diese Stufen erlaubt ein besseres Verständnis und die Möglichkeit der Diskussion über diese Fahrzeuge. International durchgesetzt hat sich die Einteilung von Straßenfahrzeugen durch die Society of Automotive Engineers (SAE) in sechs Automatisierungsstufen (SAE-Level 0–5).<sup>1</sup>



Autonome Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit SAE-Level 5 wären nach dieser Definition nur Fahrzeuge, die jede denkbare Verkehrssituation ohne menschliches Eingreifen bewältigen können.

## „Autonome Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit SAE-Level 5 wird es zumindest in den nächsten 20 Jahren nicht geben.“

**Matthias Hartwig**

Ebenso erweist es sich für aktuelle Forschungsprojekte als ausgesprochen schwer, als „autonom“ bezeichnete Fahrzeuge in die SAE-Level 3–5 exakt einzuordnen. Auch in der Alltagssprache und beispielsweise in den gesetzlichen Definitionen einiger amerikanischer Bundesstaaten ist der Begriff „autonomes Fahrzeug“ daher viel weiter gefasst. Deshalb soll in diesem Text von Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen die Rede sein.

### **Was ist eine autonome Fahrfunktion?**

Eine autonome Fahrfunktion ist in der Lage, eine genau definierte Fahrsituation in einer bestimmten Verkehrsumgebung ohne menschliches Eingreifen zu bewältigen. Sie lässt sich nur dann aktivieren, wenn die Rahmenbedingungen stimmen.

---

# Menschen übernehmen weiterhin Verantwortung im System

## **Die autonome Fahrfunktion kann nach ihrer Aktivierung zwar den Fahrer, aber nicht alle Menschen im System ersetzen.**

Wenn es für ein Fahrzeug keinen Fahrer mehr gibt, übernehmen Menschen in anderen Funktionen einen Teil der bislang dem Fahrer obliegenden Verantwortung. In der Alltagssprache und den Forschungsprojekten derzeit als „autonom“ bezeichnete Fahrzeuge verfügen regelmäßig noch über einen Sicherheitsfahrer, der in kritischen Situationen eingreift. In diesen Fahrzeugen befindet sich die autonome Fahrfunktion weiterhin in der Entwicklung. Das hat zur Konsequenz, dass dem Sicherheitsfahrer mehr Verantwortung obliegt als einem herkömmlichen Fahrer. In Deutschland sehen die Behörden daher eine besondere Sicherheitsschulung für ihn vor.

Auch wenn kein Fahrer im Fahrzeug mehr existiert, wird es teilweise noch Fahrzeugbegleiter im oder außerhalb des Fahrzeugs geben. Gleichzeitig kann das Überwachungs- und Wartungspersonal auf Betriebshöfen und in einer Betreiberzentrale (oder Leitstelle) eine wichtige Rolle spielen. Noch auf lange Zeit werden daher im oder außerhalb des Fahrzeugs verantwortliche Personen bereitstehen müssen, die das Fahrzeug vor Inbetriebnahme prüfen, die autonome Fahrfunktion in Gang setzen, ausschalten und in der Betriebszeit für ein zuverlässiges Funktionieren einstehen. In Ausnahmefällen kann es sogar erforderlich werden, dass ein „Notfahrer“ vor Ort oder ferngesteuert die Bedienung übernimmt.<sup>2</sup>



---

## Die Technologien hinter der Autonomie

Damit sich ein Fahrzeug ohne Eingreifen eines Fahrers bewegen kann, muss es über eine Vielzahl von Informationen verfügen. Um diese Informationen zu bekommen und dem Fahrzeug bereitzustellen, sind auch verschiedene technische Entwicklungen außerhalb des Fahrzeugs erforderlich. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Techniken, die autonome Fahrfunktionen ermöglichen. So lässt sich besser verstehen, was diese Fahrzeuge können.

## Information

---

**Fahrauftrag:** Das Fahrzeug muss „wissen“, zu welchem Ziel es fahren möchte.

---

### **Eigenpositionierung:**

Das Fahrzeug muss „wissen“, wo es sich befindet.

## Technologien

---

- Den Fahrauftrag bestimmt immer ein Mensch. Das Fahrzeug kann nicht „autonom“ entscheiden, wo es hinfährt, soweit der Fahrer nicht zumindest der Gattung nach das Fahrziel bestimmt (z. B. „Fahre zur nächsten Ladestation“).
- Die Digitalisierung der Kommunikation kann hier helfen, denkt man beispielsweise an die Möglichkeiten, die Smartphones und Apps hier eröffnen.

---

Die meisten heutigen Positionierungssysteme im Verkehrsbereich nutzen das **satellitenbasierte globale Positionierungssystem (GPS)**. GPS garantiert eine Genauigkeit der Positionierung mit Abweichungen unter acht Meter. Für autonome Fahrfunktionen können Abweichungen von weniger als fünf Zentimeter erforderlich sein. Dies kann gewährleistet werden durch:

- **Differentielles globales Positionierungssystem (DGPS):** Durch Referenzstationen auf der Erde werden Ungenauigkeiten des GPS herausgerechnet.
- **Landmarken- und Markierungsorientierung:** Erkennt das System über seine Sensoren (Kamera) markante Landmarken wieder, deren Position im System hinterlegt ist, kann es sich damit positionieren. Auch Straßenmarkierungen (Mittellinie) werden zur Unterstützung der Orientierung erfasst.

## Information

---

### **Eigenpositionierung:**

Das Fahrzeug muss „wissen“, wo es sich befindet.

### **Eigenzustandser-**

**fassung:** Das Fahrzeug muss viel über seinen eigenen Zustand wissen: Funktionieren wichtiger Systeme, Fahrtrichtung, Geschwindigkeit, Türschließung, Innen- und Außentemperatur etc.

## Technologien

---

- **„Virtuelle Schiene“ mit Radio-Frequenz-Identifikation (RFID) oder anderen Verfahren:**  
Kleine Chips oder andere elektronische Orientierungshilfen werden in oder auf die Straße oder im Straßenumfeld aufgebracht, die entsprechende Sender-Empfänger-Systeme elektromagnetisch erkennen und zur Eigenpositionierung nutzen können.
- Wenn aufgrund von Fahrzeugdaten die Geschwindigkeit und Fahrtrichtung des Fahrzeugs bekannt sind, lässt sich ein Positionswechsel berechnen.

---

Viele verschiedene Sensoren liefern diese Informationen: Hodometer („Wegmesser“), Drehratensensoren an den Rädern, Kreiselkompass, Reifendrucksensor, Türöffnungssensor, Thermometer etc.

## Information

---

### **Verkehrsumgebung:**

Das Fahrzeug muss „wissen“, auf welchem Weg es sein Fahrtziel am schnellsten und sichersten erreichen kann.

**Verkehrssituation:** Das Fahrzeug braucht die genaue Position von Gebäuden und anderen festen Hindernissen, die aktuelle Position, den Umriss, die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung aller Verkehrsteilnehmer in der Umgebung (Autos, Fahrräder, Fußgänger), die Verkehrszeichen, die Anzeige der Ampeln etc. Nur mit einem genauen Bild der Verkehrssituation kann es auch alle Verkehrsregeln berücksichtigen und die Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmern vermeiden.

## Technologien

---

Von statischen Geodaten (Kartendaten) über statische Verkehrselemente (Verkehrszeichen, Baustellen) bis hin zu Lichtzeichen von Ampeln, der Position von Nebelbänken, Verkehrsstaus, einzelnen Autos, Fahrrädern und Fußgängern muss sich ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion ein genaues Bild seiner Umgebung machen.

Eine „**Lokale Dynamische Karte**“ (**LDM**) speichert die dafür erforderlichen Daten im Fahrzeug. Statische Informationen (z. B. Kartendaten) können in die LDM vorab eingespeichert und in Testfahrten auf der vorgesehenen Strecke mit der tatsächlichen Umgebung abgeglichen werden. Auch auf diese Art und Weise eingespeiste Daten bedürfen jedoch einer beständigen Aktualisierung. Die LDM kann Daten aus Sensoren des Fahrzeugs selbst oder von Sensoren oder digitalen Diensten außerhalb des Fahrzeugs beziehen (☹ siehe Illustration).

- Um den hohen Bedarf an Daten zu befriedigen, muss das Fahrzeug mit seiner Umgebung vernetzt sein. Zur Kommunikation dienen:
  - **Mobilfunk:** Die großen Datenmengen lassen sich mit einem hohen Mobilfunkstandard besser bewältigen. Der derzeit viel diskutierte 5G-Mobilfunkstandard erscheint hier wegen seiner hohen Datenübertragungsraten, Echtzeitübertragung und niedriger Latenzzeiten besonders geeignet.

## Information

---

### **Verkehrsumgebung:**

Das Fahrzeug muss „wissen“, auf welchem Weg es sein Fahrtziel am schnellsten und sichersten erreichen kann.

**Verkehrssituation:** Das Fahrzeug braucht die genaue Position von Gebäuden und anderen festen Hindernissen, die aktuelle Position, den Umriss, die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung aller Verkehrsteilnehmer in der Umgebung (Autos, Fahrräder, Fußgänger), die Verkehrszeichen, die Anzeige der Ampeln etc. Nur mit einem genauen Bild der Verkehrssituation kann es auch alle Verkehrsregeln berücksichtigen und die Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmern vermeiden.

## Technologien

---

- **WLAN:** Ein drahtloses lokales Datennetzwerk (WLAN) wird durch Funkmodule an Straßenlaternen und Schilderbrücken zur Verbesserung der Kommunikation errichtet.
- Sensoren im Fahrzeug oder am Straßenrand erfassen die Verkehrsumgebung und -situation:
- **Digitalkamera:** Kameras erfassen die Umgebung optisch, erkennen aber unter Umständen nicht alles (z. B. bei Dunkelheit, Nebel oder Gegenlicht).
- **Laserscanner / Lidar:** Mit vielen Laserstrahlen lassen sich optisch Entfernung und Geschwindigkeit von Objekten messen. Dies ermöglicht die Zeichnung eines genauen Bildes der Umgebung.
- **Radar- und Ultraschallsensoren:** Weitere Richtungs- und Abstandsmessungstechnologien ergänzen das Wahrnehmungsspektrum anderer Sensoren und sorgen für Redundanz, damit nichts übersehen wird.
- **Sensordatenzusammenführung und-bewertung:** Unterschiedliche Sensoren und die von ihnen gezeichneten Bilder und erfassten Daten haben verschiedene Vor- und Nachteile. Computer können daraus ein einheitliches Bild berechnen, das den Verkehr viel besser als nur ein Sensor erfasst.

## Information

---

### **Verkehrsumgebung:**

Das Fahrzeug muss „wissen“, auf welchem Weg es sein Fahrtziel am schnellsten und sichersten erreichen kann.

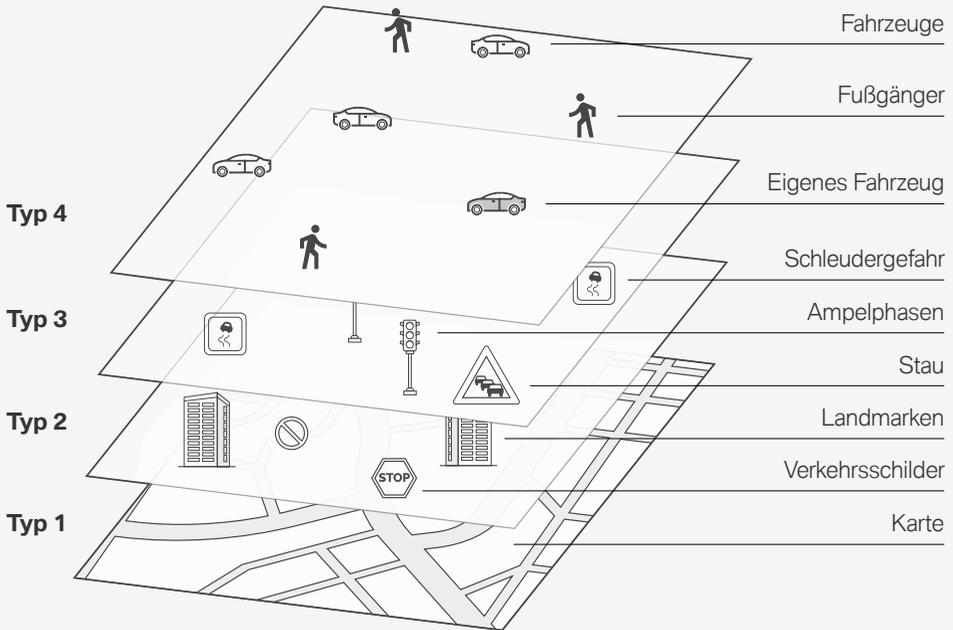
**Verkehrssituation:** Das Fahrzeug braucht die genaue Position von Gebäuden und anderen festen Hindernissen, die aktuelle Position, den Umriss, die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung aller Verkehrsteilnehmer in der Umgebung (Autos, Fahrräder, Fußgänger), die Verkehrszeichen, die Anzeige der Ampeln etc. Nur mit einem genauen Bild der Verkehrssituation kann es auch alle Verkehrsregeln berücksichtigen und die Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmern vermeiden.

## Technologien

---

- **Regionale digitale Karte:** Geodaten und dynamische Verkehrsdaten können in einer fahrzeugunabhängigen digitalen Karte zusammengeführt und veredelt werden. Auf diese Daten kann das Fahrzeug zurückgreifen.
- **Sensordaten anderer Fahrzeuge** (Vehicle-to-Vehicle Communication, V2V): Können zusätzlich genutzt werden, etwa um eine regionale digitale Karte zu ergänzen (z. B. Stauinformationen anderer Fahrzeuge).
- **Digitale Verkehrszeichen:** Ob eine Ampel grün oder rot ist, kann eine Kamera nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit erfassen. Ein digitales Funksignal der Ampel kann hier Klarheit schaffen.
- **Leittechnik:** Dient der Zusammenführung vieler genannter Daten in einer Betreiberzentrale, um Fahrzeug und Infrastruktur zentral überwachen und warten zu können und erforderliche Eingriffe von außen zu koordinieren.

## Beispiel für eine „Lokale Dynamische Karte“



**Typ 1:** Statische Geodaten

**Typ 2:** Statische Verkehrselemente

**Typ 3:** Dynamische Verkehrselemente

**Typ 4:** Hochdynamische Daten

## Leistungsstarke Computerprogramme und künstliche Intelligenz

Insbesondere die Zusammenführung und Bewertung von Sensordaten erfordern den Einsatz leistungsstarker Computer und komplexer Computerprogramme. Dabei kann auch künstliche Intelligenz zum Einsatz kommen.

### Was bedeutet künstliche Intelligenz?

Künstliche Intelligenz beschreibt die Fähigkeit eines Computerprogramms, aus großen Informationsmengen logische Zusammenhänge zu ermitteln (Musteranalyse und Mustererkennung) und daraus nach bestimmten Regeln Schlüsse zu ziehen (d. h. Muster vorherzusagen).

Diese Verfahren kommen häufig bei der Bilderkennung und -analyse zum Einsatz. Hat beispielsweise ein Computerprogramm schon zehntausende Bilder von Autos unterschiedlichster Modelle analysiert, wird es ein Auto auch dann als solches identifizieren können, wenn es das konkrete Modell vorher noch nicht „gesehen“ hat. Hat das Computerprogramm entsprechend viele Abbiegevorgänge von Fahrzeugen analysiert, kann es mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten den Kurs eines abbiegenden Fahrzeugs vorhersagen. Diese Fähigkeit ist von großer Bedeutung für autonome Fahrfunktionen, da den Systemen so eine Orientierung in unbekannter Umgebung und Fallkonstellationen besser gelingt. Selbstständige und ethisch reflektierte Entscheidungen, vergleichbar denen eines Menschen, können solche Systeme jedoch nicht treffen. Deshalb kann der Begriff „künstliche Intelligenz“ teilweise überzogene Erwartungen wecken.



---

## Vernetztes Fahren: Vom Fahrzeugsystem zum Gesamtsystem?

Das autonome Fahrzeugsystem eines Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion kann unter bestimmten Umständen auf digitale Umgebungssysteme angewiesen sein. Aus technischer Sicht lässt sich das Fahrzeugsystem mit den digitalen Umgebungssystemen auch als Gesamtsystem betrachten. Dieses Gesamtsystem muss gewissen Anforderungen genügen, um optimale Ergebnisse für Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss zu gewährleisten. Das autonome Fahren macht den Perspektivwechsel vom Fokus auf das Fahrzeug zu einem Gesamtsystem erforderlich, weil es eine angemessene Performance in vielen Verkehrssituationen nur in enger Kooperation mit digitalen Umgebungssystemen erreichen wird. Beispielsweise ist eine zügige Fahrt über eine Straßenkreuzung mit Ampel voraussichtlich nur möglich, wenn das Fahrzeug ein digitales Ampelsignal erhält und die Verkehrssituation auf einer komplizierten Kreuzung und Zufahrtsstraßen zusätzlich mittels straßenseitiger Sensoren erfasst wird.

Man ist es gewohnt, ein Kraftfahrzeug als ein einheitliches und abgegrenztes Werkzeug anzusehen, das durch einen Fahrer eingesetzt wird. Diese Trennung macht auch das Gesetz. Nach geltendem Zulassungsrecht bekommt ein Kraftfahrzeug nur dann eine Betriebserlaubnis, wenn es ein sicheres Fahrzeug ist, das dem Stand der Technik entspricht. Alle Regelungen des Straßenverkehrs richten sich hingegen an den Fahrer, der sein Werkzeug kontrollieren muss und für jede Reaktion des Fahrzeugs selbst verantwortlich ist. Wird der Fahrer im Fahrzeug nur noch zum Passagier, kann diese Zweiteilung nicht mehr funktionieren. Dass ein Fahrzeug mit autonomen Fahrfunktionen die Regelungen des Straßenverkehrs einhalten kann, muss schon bei dessen Zulassung nachgewiesen und in regelmäßigen Abständen überprüft werden.

Auch die Auffassung des Fahrzeugs als abgrenzbares Werkzeug muss nun hinterfragt werden. Ob ein Fahrzeug mit autonomen Fahrfunktionen seine Fahraufgabe sicher und flüssig bewältigen kann, wird zunehmend von Informationen abhängen, die aus verschiedenen digitalen Umgebungssystemen (digitale Verkehrszeichen, regionale digitale Karte, straßenseitige Sensoren etc.) stammen. Das Fahrzeug fährt aufgrund einer eigenen digitalen Karte, die es mithilfe von Informationen von außen kontinuierlich aktualisiert. Ob diese Daten zuverlässig sind, kann das Fahrzeug nicht immer allein entscheiden. Es muss sich teilweise auf das Umgebungssystem verlassen.



## Beispiel Ampel

- Ein Fahrzeug kann eine herkömmliche Ampel mit einer Kamera nicht hinreichend zuverlässig erfassen.
- Es kann an einer Kreuzung daher nur dann zügig fahren, wenn es ein digitales Ampelsignal bekommt.
- Dieses Signal hat aber erst dann einen Mehrwert, wenn der Betreiber der Ampel seine Zuverlässigkeit garantiert.
- Das Fahrzeug ist somit zunehmend mit digitalen Umgebungssystemen vernetzt.



## Beispiel Parkhaus

- Ein für autonomes Valet-Parking ausgelegtes Parkhaus könnte ein für den Fahrmodus kompatibles Kraftfahrzeug bald mit umfassenden Daten über die Verkehrssituation versorgen, indem Kameras und andere Sensoren freie Parkplätze, Fahrzeuge und Fußgänger in eine dynamische Karte einpflegen (technisches Umgebungssystem).
- Das Navigieren wird für das Kraftfahrzeug im autonomen Fahrmodus hier sehr einfach. Es muss sich jedoch auf die Informationen verlassen können. Nicht nur das Fahrzeug muss sicher sein, sondern Fahrzeug und Umgebungssystem zusammen müssen ein sicheres Gesamtsystem bilden, damit es nicht zu Unfällen kommt.
- Es stellt sich ab einem bestimmten Punkt die Frage, wer hier eigentlich steuert – das Fahrzeug oder das Parkhaus.

Das Fahrzeug und das Umgebungssystem würden technisch ein Gesamtsystem ergeben. Nur wenn dieses Gesamtsystem sicher ist und ausreichend valide Daten für die Navigation liefert, wird das Fahrzeug sicher und flüssig durch den Verkehr steuern können. Um die Bestimmbarkeit Verantwortlicher sicherzustellen, müssen rechtlich weiterhin feste Verantwortungsbereiche existieren.

Folglich wird es zukünftig voraussichtlich Systemverantwortliche für das Fahrzeug geben und diesen werden Systemverantwortliche der verschiedenen digitalen Umgebungssysteme gegenüberstehen. Technisch würde die isolierte Betrachtung eines einzigen Systems aber häufig in eine Sackgasse führen, da nur das Zusammenwirken aller Komponenten das geforderte Maß an Sicherheit und Verkehrsfluss bietet. Manche erwarten, dass das „auf einen Systemzulassungsprozess mit sehr komplexen Prüfprozessen und Nachweispflichten hinausläuft“<sup>3</sup>.



---

# Manuelle, automatisierte und autonome Fahrfunktion. Was bedeutet was?

**In Expertendiskussionen wird aktuell zwischen Kraftfahrzeugen mit manueller, automatisierter und autonomer Fahrfunktion unterschieden. Es handelt sich um drei unterschiedliche Fahrmodi mit verschiedenen regulativen und technischen Anforderungen. Dabei kann ein einzelnes Kraftfahrzeug sowohl eine manuelle, eine automatisierte als auch eine autonome Fahrfunktion haben.**

## Manuelle Fahrfunktion

Bis 2017 regelte das deutsche Straßenverkehrsrecht lediglich die Rechtslage betreffend Kraftfahrzeuge mit manueller Fahrfunktion. Bestimmte Fahrerassistenzsysteme sind davon miteingefasst, da sie an der herkömmlichen Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik nichts verändern. Der Fahrer bleibt in jeder Situation für die Fahrzeugführung verantwortlich. Er muss jederzeit das Verkehrsgeschehen beobachten und die Fahrzeugsteuerung unter Kontrolle behalten.

## Automatisierte Fahrfunktion

Kraftfahrzeuge mit automatisierter Fahrfunktion hat der deutsche Gesetzgeber 2017 im Straßenverkehrsgesetz unter der Bezeichnung „Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion“ geregelt.<sup>4</sup>

In Kraftfahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen muss weiterhin ein Fahrer sitzen. Der Fahrer kann sich zwar während der automatischen Fahrt vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden.<sup>5</sup> Er muss aber jederzeit wahrnehmungsbereit und zur Übernahme der Fahrzeugsteuerung in der Lage bleiben.<sup>6</sup> Er hat weiterhin die Verantwortungsstellung eines herkömmlichen Fahrers und ist der Adressat sämtlicher rechtlicher Regelungen der Straßenverkehrsordnung auch während der automatisierten Fahrt.<sup>7</sup> Wenn der Fahrer bemerkt, dass sein Fahrzeug im automatischen Fahrmodus gegen Regelungen der Straßenverkehrsordnung verstößt, muss er das System deaktivieren.<sup>8</sup> Relevante Abweichungen muss das System selbstständig registrieren<sup>9</sup> und daraufhin den Fahrer zur Deaktivierung des automatischen Fahrmodus und zur eigenhändigen Steuerung auffordern<sup>10</sup>.

Die größte Herausforderung für die Entwickler solcher Fahrzeuge ist daher, die Aufmerksamkeit des Fahrers permanent zu erhalten und zu kontrollieren, da dieser für das System nach wie vor unentbehrlich ist. In der Luftfahrt ist die Automatisierung mit ständig höheren Anforderungen an die Schulung der zwei, in jedem Verkehrsflugzeug vorhandenen, Piloten einhergegangen. Beide überwachen sich zudem gegenseitig.

Eine entsprechende Entwicklung für den motorisierten Individualverkehr auf der Straße ist ausgeschlossen, da die Anforderungen an den Erwerb einer Fahrerlaubnis bereits aus sozialstaatlichen Gründen (Mobilität für alle) nicht mehr deutlich angehoben werden können. Bereits heute ist es nicht einfach, eine Fahrerlaubnis zu erwerben. Dieses Problem sollte sich durch die Automatisierung nicht weiter verschärfen.



### **Was heißt Individualverkehr?**

Beim Individualverkehr nutzt in der Regel nur eine Person ein Verkehrsmittel. Im Gegensatz zum öffentlichen Verkehr bestimmt diese Person den Zeitraum, die Fahrtroute und das Ziel selbst. Das klassischste Verkehrsmittel des motorisierten Individualverkehrs ist das Auto.

## **Autonome Fahrfunktion**

Für den Einsatz von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion im öffentlichen Straßenverkehr fehlt der Rechtsrahmen.<sup>11</sup> Die deutsche Bundesregierung hat sich vorgenommen, bis zum Ende 2021 die rechtlichen Voraussetzungen für den Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen (SAE-Level 4 und 5)<sup>12</sup> auf öffentlichen Straßen zumindest im Rahmen von Experimentierklauseln bzw. Ausnahmeregelungen unter Einbeziehung geeigneter Infrastrukturen zu schaffen.<sup>13</sup> Der Fahrer darf bei der Entwicklung einer solchen autonomen Fahrfunktion nicht mehr berücksichtigt werden. Er fällt für die Systemüberwachung und Übernahme einer Rückfallverantwortung aus.

Dieser Umstand erfordert eine vollkommen andere Systemarchitektur des Fahrzeugs. Im autonomen Fahrmodus muss das Fahrzeug imstande sein, alle Standardverkehrssituationen, in die es geraten kann, selbst zu lösen. Auch beim Ausfall eines Teilsystems und in Ausnahmesituationen muss das Fahrzeug zumindest in der Lage bleiben, in einen sicheren Zustand zu steuern (beispielsweise sicher am Straßenrand anzuhalten).<sup>14</sup>



Der Eingriff von Menschen kann in klar definierten Fällen erforderlich bleiben wie z. B.:

- Bei der Wartung
- Bei der Aktivierung
- In außergewöhnliche Verkehrssituationen
- In Ausnahmesituationen
- Nach bewusster Deaktivierung der autonomen Fahrfunktion durch eine Person

Das Fahrzeug muss jedoch so ausgelegt sein, dass bis zum Aktivwerden menschlicher Helfer eine gewisse Zeit vergehen kann und es darf auch während dieser Wartezeit nicht zum Verkehrshindernis werden.

Durch die örtliche Einschränkung des Einsatzgebietes und sorgfältige Auswahl und Gestaltung der Strecke kann diese Komplexität begrenzt werden.<sup>15</sup> Wird beispielsweise ein Shuttle für einen Linienverkehr durch einen Nahverkehrsbetreiber in einem kleinen Wohngebiet mit Tempo 30-Zone entwickelt, kann für dieses Gebiet eine sehr detaillierte digitale Karte vorgehalten werden, auf der alle Verkehrszeichen und -regelungen schon eingepflegt sind.

# **„Die Fahrzeugentwickler müssen letztlich jede mögliche Verkehrssituation, in die das Fahrzeug geraten kann, schon in der Entwicklung bedenken und gewissermaßen vorwegnehmen.“**

**Matthias Hartwig**

Wenn sich z. B. herausstellt, dass das Fahrzeug nicht in der Lage ist, Müllfahrzeuge zu überholen, braucht das Fahrzeug in den Zeiten, in denen der Müll im Wohngebiet abgeholt wird, nicht zu fahren. Alternativ kann es auch rechtzeitig eine Betreiberzentrale zur Freigabe ungewöhnlicher Fahrmanöver kontaktieren. Solche Situationen sind für ein kleinräumiges Gebiet gut vorherzusehen und zu planen. Falls das Fahrzeug doch in eine nicht kalkulierte Verkehrssituation geraten sollte, kann es an den Straßenrand fahren und auf das Eintreffen von Mitarbeitern der Betreiberzentrale warten.

## Fahrzeuge mit mehreren Fahrfunktionen

Schon in wenigen Jahren wird es Fahrzeuge geben, die sich sowohl manuell von einem Fahrer steuern lassen als auch automatisierte und autonome Fahrfunktionen besitzen.

### **Beispiel: BMW 3er mit verschiedenen Fahrmodi**

Ein BMW 3er mit Einpark-, Stauassistent und Abstandsregeltempomat ist schon heute Stand der Technik. In wenigen Jahren werden weitere, durch das Fahrzeug gebotene, Assistenzfunktionen auch in höheren Geschwindigkeitsbereichen hochzuverlässig sein, sodass von einem Autobahnassistent die Rede sein kann. Ein Eingreifen des Fahrers wäre bei diesem Fahrzeug nur in wenigen Fällen erforderlich. Der Fahrer bleibt im System, wird zu einer notwendigen Intervention jedoch angemessen hingeführt (automatischer Fahrmodus). Gleichzeitig wird es allerdings weiterhin möglich sein, dass der Fahrer die Fahrzeugsteuerung übernimmt, wobei nur die Fahrer- und Notfallassistentfunktionen aktiv bleiben (manueller Fahrmodus).



Weiterhin ist es jedoch durchaus realistisch, dass der Einparkassistent dieses BMW 3er dann zum sogenannten autonomen Valet-Parking in einem Parkhaus in der Lage ist, soweit das jeweilige Parkhaus diese Funktion unterstützt. Bieten sowohl Fahrzeug als auch Parkhaus diese aufeinander abgestimmte Funktion an, steigt der Fahrer an der Schranke zum Parkhaus aus. Das Fahrzeug übernimmt in enger Abstimmung mit dem digitalen Umgebungssystem des Parkhauses die Fahrt bis in die Parklücke im 3. Stock. Es handelt sich um eine autonome Fahrfunktion, die mit den Jahren zunehmend auch in anderen Umgebungen einsetzbar werden könnte, soweit diese ein entsprechendes digitales Umgebungssystem anbieten. Voraussetzung für die Freischaltung der autonomen Fahrfunktion wird dabei immer sein, dass das Umgebungssystem kompatibel ist, sich als aktiv und funktionstüchtig beim Fahrzeug meldet und das Fahrzeug sich dort anmeldet.

Bei dem BMW aus diesem Beispiel würde es sich nicht um ein manuelles, automatisiertes oder autonomes Fahrzeug, sondern um ein Kraftfahrzeug mit allen drei Fahrfunktionen handeln. In jedem der drei Fahrmodi müssen die Fahrzeugentwickler und der Fahrer die jeweils eigene Regulierung berücksichtigen.

---

# Die autonome Fahrfunktion braucht ihre eigenen Regelungen

**Manuelle, automatisierte und autonome Fahrfunktionen brauchen jeweils ihre eigene Regelung. Während die erste Regulierung des manuellen Fahrens mit der Einführung der ersten Automobile einherging, wurden passende Regeln für Kraftfahrzeuge mit automatisierter Fahrfunktion in Deutschland im Jahr 2017 erlassen. Im Gegensatz zu manuellen und automatisierten Fahrfunktionen fällt für autonome Fahrfunktionen der Fahrer als bisheriger Bezugspunkt der Regulierung fort. Autonome Fahrfunktionen können auch keinen menschlichen Fahrer simulieren. Deshalb sind eigene gesetzliche Regelungen für diesen Fahrmodus nötig, die sich am bestehenden Straßenverkehrsrecht und an ethischen Standards orientieren, jedoch die technischen Gegebenheiten besser berücksichtigen.**

Für Kraftfahrzeuge mit automatisierter Fahrfunktion fordert das Straßenverkehrsgesetz seit 2017, dass sie „über eine technische Ausrüstung verfügen“ müssen, „die in der Lage ist, [...] den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften zu entsprechen“.<sup>16</sup> Sie müssen also alle Vorschriften der Straßenverkehrsordnung in einer Weise umsetzen, wie sie auch ein menschlicher Fahrer umgesetzt hätte.

Gesetzliche Regelungen sind immer Verhaltensanweisungen an Menschen, die menschliche Rechtsanwender (Richter, Funktionsträger in Wirtschaft und Verwaltung) für Menschen auslegen. Überspitzt formuliert wird hier also die Anforderung aufgestellt, dass das automatisierte System den Fahrer simulieren soll. Für das automatisierte Fahren ist diese Regelung sinnvoll, da hier ständig ein Fahrer im Hintergrund für das System



verantwortlich bleibt und in Krisensituationen die Fahrzeugsteuerung sofort übernehmen können muss. Dieser Fahrer wird das System danach beurteilen, ob es in einer Verkehrssituation so reagiert, wie er es selbst getan hätte.

## **Was können Menschen, was können Maschinen?**

Für eine autonome Fahrfunktion ist die zuvor genannte Voraussetzung nicht erfüllt. Die Simulation eines menschlichen Fahrers bringt hier nicht in jedem Fall einen Gewinn für die Verkehrssicherheit und den Verkehrsfluss. Im Einzelfall kann das Gegenteil der Fall sein.

Mensch und Maschine sind in Wahrnehmung und Analyse von Verkehrssituationen und in ihren Reaktionsmöglichkeiten zu unterschiedlich, als dass die Anwendung desselben Regelbestandes auf beide in jedem Fall sinnvoll erscheint. Menschen verfügen über eine von Maschinen nicht simulierbare Intelligenz einhergehend mit hervorragender Bilderkennung und Fähigkeit zur Analyse von Situationen. Ergänzt wird diese durch Intuition und dem Vermögen eigenständiger ethischer Bewertung von Situationen, die Maschinen fehlt. Maschinen verfügen dagegen über nahezu unbegrenzte Informationsverarbeitungskapazitäten und Multitasking-Fähigkeiten, die letztlich nur von der Menge der ihnen zur Verfügung stehenden Informationen begrenzt sind. Auch in der Reaktion stehen auf der einen Seite menschliche Flexibilität und persönliche Verantwortung gegen überlegene Verlässlichkeit (Programmtreue) und Reaktionsgeschwindigkeit in Sekundenbruchteilen auf Seiten der Maschinen.

Autonome Fahrfunktionen brauchen daher eigene Leitlinien für die Entwicklung. Diese muss die Straßenverkehrsordnung insoweit aufnehmen, als sich darin berechnigte Erwartungshaltungen anderer Verkehrsteilnehmer in einem gemischten Verkehr widerspiegeln. Beispielsweise sollten autonome Fahrzeuge ebenfalls an einer roten Ampel halten, auch wenn sie zuverlässige Informationen haben, dass kein anderes Fahrzeug auf die Kreuzung fährt. Andernfalls wäre dies ein schlechtes Vorbild. Im Übrigen sollten diese Regelungen jedoch an den Fähigkeiten einer Maschine ausgerichtet sein, geleitet von optimalen Ergebnissen für Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss.

## **Ethik-Kommission legt Standards fest**

Eine vom Bundesverkehrsministerium eingesetzte Ethik-Kommission hat 20 ethische Regeln für den Einsatz eines automatisierten und vernetzten Fahrzeugverkehrs verfasst, die auch das autonome Fahren betreffen.<sup>17</sup> Diese können die Grundlage für die Erstellung eines Leitfadens zur Entwicklung von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion sein. „Es erscheint sinnvoll, relevante Szenarien an einen zentralen Szenarien-Katalog einer neutralen Instanz zu übergeben, um entsprechende allgemeingültige Vorgaben, einschließlich etwaiger Abnahmetests zu erstellen.“<sup>18</sup> Der 🗨 Bericht der Ethik-Kommission mit seinen 20 Regeln ist nur 20 Seiten lang und gibt einen schnellen Überblick über die ethischen Standards, nach denen auch der Rechtsrahmen für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion entwickelt wird.

# Ziel: Nachhaltigere, sichere und effiziente Mobilität für alle

Nächstes Kapitel ☺



**Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion versprechen eine nachhaltige, sichere und effiziente Mobilität für alle. Ob und wann dieses Versprechen eingelöst wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab.**

Mit Unterstützung der Bundesregierung und der Europäischen Union investieren nicht nur große Automobilkonzerne, sondern auch viele bisher unbekannte Unternehmen in der Fahrzeugbranche Milliarden in die Erforschung von Kraftfahrzeugen mit automatisierten und autonomen Fahrfunktionen und die Entwicklung einer digitalen Umgebung für diese Fahrzeuge.

---

# Die Chancen für den Verkehr und Arbeitsmarkt

Alle Beteiligten sind der Ansicht, dass Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion einen Beitrag zur Erreichung folgender Ziele leisten können:

## **Steigerung der Sicherheit des Verkehrs<sup>19</sup>**

Über 90 Prozent aller tödlichen Verkehrsunfälle beruhen auf Fehlern der Verkehrsteilnehmer. Nur etwa ein Prozent der Unfälle sind auf technische Fehler zurückzuführen.<sup>20</sup> Menschen machen Fehler. Maschinen haben das Potenzial, die Verkehrssicherheit zu verbessern. Vernetzte Fahrzeuge mit automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen können in kürzester Zeit viel mehr Informationen aufnehmen und verarbeiten als ein menschlicher Fahrer, ermüden nicht und sind nie angetrunken. Eine digitale Ampel werden sie nicht übersehen und durch straßenseitige Sensoren können sie sogar um Ecken schauen und komplexe Verkehrssituationen auf Kreuzungen sicher erfassen.



Ein Großteil der Fehlerquellen, die heute die Ursache für Verkehrsunfälle bilden, kann damit ausgeschlossen werden. Automatische Systeme können und müssen allerdings auch selbst so gestaltet werden, dass potenzielle Fehler nicht zu lebensbedrohlichen Verletzungen oder Erkrankungen führen und neue Fehlerquellen vermieden werden. Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion werden in Deutschland nur eine Zulassung bekommen, wenn sie Personenschäden im Rahmen des technisch Möglichen vermeiden und sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen deutlich verringern.<sup>21</sup> Die Grundregel ist: „Teil- und vollautomatisierte Verkehrssysteme dienen zuerst der Verbesserung der Sicherheit aller Beteiligten im Straßenverkehr. [...] Der Schutz von Menschen hat Vorrang vor allen anderen Nützlichkeitsabwägungen. Ziel ist die Verringerung von Schäden bis hin zur vollständigen Vermeidung.“<sup>22</sup>

## Steigerung von Verkehrsfluss und Verkehrseffizienz

Menschliche Fehler und ein Mangel an Informationen führen zu einem Großteil von Behinderungen des Verkehrsflusses. Automatische und vernetzte Systeme können eine nahezu unbegrenzte Menge an Informationen für eine optimierte Fahrweise und Routenführung einbeziehen, soweit diese zur Verfügung stehen.<sup>23</sup>

Ob Kraftfahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen den Verkehrsfluss steigern oder hemmen, hängt damit maßgeblich von der Fülle der ihnen bereitstehenden Geo- und Verkehrsinformationen sowie der Entwicklung fahrzeugeigener und straßenseitiger Sensoren und digitaler Umgebungssysteme ab. Eine Vielzahl der erforderlichen Informationen steht bereits im Internet zur Verfügung. So können Wetterdienste schon jetzt valide Wetterdaten für das vernetzte Fahren liefern. Diese Validierung ist jedoch für Karten- und Verkehrsdaten bis hin zu digitalen Ampeln eine große Herausforderung. Auch die straßenseitige Sensorik zur Erfassung des Verkehrsgeschehens und der Parksituation (datensparsam beispielsweise durch Radar und Lidar) ist nicht kostenlos, verspricht aber eine große Steigerung der Verkehrseffizienz bereits beim herkömmlichen Parksuchverkehr.

In Forschungsprojekten erkennen hier beispielsweise Städte und Kommunen neue Aufgaben und Gestaltungsmöglichkeiten. Auf regionalen dynamischen Karten und ergänzenden digitalen Plattformen für ihr Hoheitsgebiet können sie zukünftig beispielsweise valide Kartendaten mit Informationen über Verkehrsregelungen, Baustellen und dynamische Verkehrsdaten anreichern und für automatisierte, autonome Fahrfunktionen und vernetztes Fahren zur Verfügung stellen. Gleichzeitig könnten sie damit die Hoheit für die Verkehrslenkung und -führung wiedererlangen, die sie derzeit teilweise an Big Data verloren haben. Dies ist eine optimistische, jedoch mit etwas politischem Willen gut realisierbare Zukunftsvision.



## **Neue wirtschaftliche Chancen und Arbeitsplätze durch technologische Modernisierung und Innovation schaffen<sup>24</sup>**

Der globale Markt für autonome Fahrzeuge wird 2019 voraussichtlich auf 54,23 Milliarden US-Dollar geschätzt und soll bis 2026 556,67 Milliarden US-Dollar erreichen, was einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 39,47 Prozent entspräche.<sup>25</sup>

Die Bundesregierung verspricht sich von automatisiertem und vernetztem Fahren eine Stärkung des Innovations- und Wirtschaftsstandorts Deutschland. Deutschland soll hier „Leitanbieter bleiben“ und „Leitmarkt werden“.<sup>26</sup> Der Verlust von Arbeitsplätzen (z. B. Busfahrer im öffentlichen Personenverkehr) ist in den nächsten Jahren dagegen nicht zu befürchten. Autonome Fahrfunktionen werden erst nach und nach immer mehr Verkehrssituationen beherrschen können. Im dichten Stadtverkehr, auf Bundesstraßen und für große Busse auf Hauptachsen werden Fahrer weiterhin gebraucht. Jedoch könnte der Einsatz autonomer Fahrzeuge dem öffentlichen Personenverkehr gesteigerte Fahrgastzahlen vermitteln. Autonome Kleinbusse können mehr Fahrgäste zu zentralen Haltestellen bringen und den öffentlichen Personenverkehr dergestalt attraktiver machen. Auf den Hauptstrecken würden dann sogar voraussichtlich mehr und nicht weniger Fahrer benötigt.

# „Das autonome Fahren bietet zudem Potenzial für mehr Arbeitsplätze in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Wartung.“

**Matthias Hartwig**

Auch Leitstellen/Kontrollzentren werden Personal brauchen, das die Fahrzeuge überwachen und in Ausnahmesituationen schnell einen Techniker zum Einsatzort entsenden kann, vergleichbar mit den Rufzentralen von Servicedienstleistern für Personenaufzüge.

## **Neue Nutzungspotenziale für das Fahrzeug selbst**

Ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion birgt das Potenzial, dass die Nutzer die Fahrt selbst für andere private als auch berufliche Aufgaben nutzen können. Gerade Pendler gewinnen hier viel Zeit, die bisher in der Fahraufgabe gebunden war. Auf dem Weg ins Büro können die Nutzer die ersten E-Mails bearbeiten und auf der Fahrt zurück einen Film anschauen.

---

# Die Möglichkeiten für die Nachhaltigkeit

Viele erhoffen sich darüber hinaus, dass Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion auch die folgenden drei Versprechen einlösen. Ob diese realisierbar sind, hängt jedoch in erheblichem Maße von der richtigen Weichenstellung der Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft und einer frühzeitigen und effektiven Regulierung durch den Gesetzgeber ab.

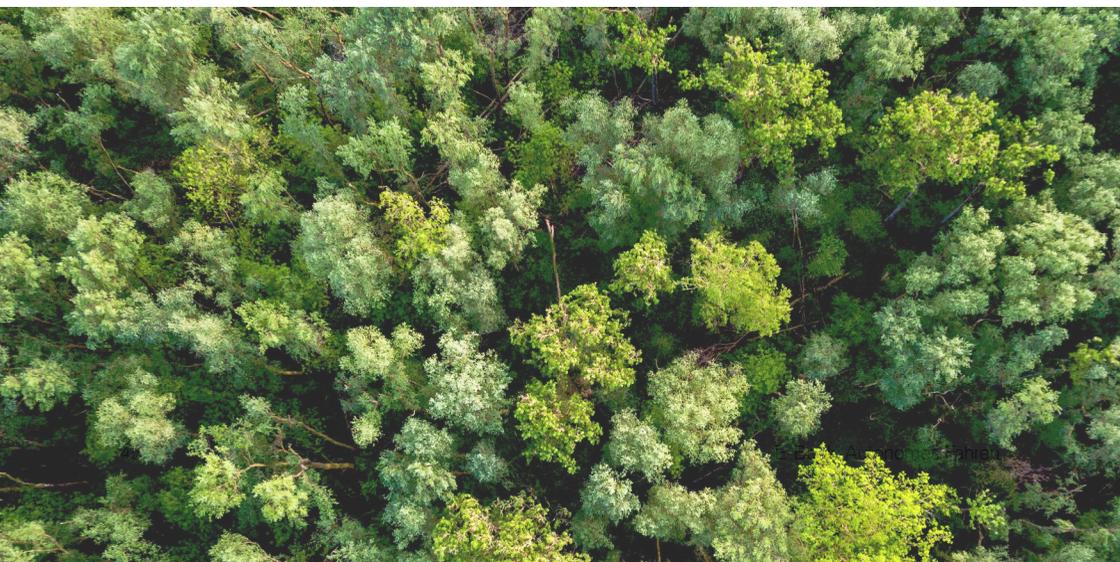
## **Null-Emissions-Verkehr**

Nach dem Klimaschutzabkommen von Paris (2015) soll der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden. Bestimmte Anstrengungen sollen den Temperaturanstieg auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau einschränken. Dafür gilt es, insbesondere die Emission von Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid und weitere) signifikant zu senken.<sup>27</sup> Durch die Integration von Klimaschutzmaßnahmen in nationale Politiken, Strategien und Planungen<sup>28</sup> sollen sich die Risiken und Auswirkungen des Klimawandels deutlich reduzieren.

In vielen Sektoren (Wärmeproduktion, Landwirtschaft) ist es schwieriger, die Treibhausgasemissionen zu senken als im Verkehrsbereich. Daher sind sich die meisten Experten einig, dass die unmittelbaren Emissionen durch den Verkehr langfristig den Wert 0 erreichen müssen, um die Ziele des Klimaschutzabkommens zu erreichen (sog. Null-Emissions-Verkehr).

Darüber hinaus ist der Verkehr für viele Umwelt- und Gesundheitsprobleme, die Feinstaub, Stickstoffverbindungen und andere Emissionen verursachen, mitverantwortlich. Auch aus diesem Grund ist der Null-Emissions-Verkehr ein wichtiges politisches Ziel.

Die Steigerung des Verkehrsflusses und der Verkehrseffizienz durch den Einsatz autonomer Fahrzeuge kann bereits anteilig einen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten, wird jedoch für sich genommen noch keinen Null-Emissions-Verkehr sicherstellen. Dies setzt darüber hinaus voraus, dass die Betreuung aller autonomen Fahrzeuge gleichzeitig ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Quellen erfolgt (Elektrofahrzeuge mit Akku oder Brennstoffzelle). Autonome Fahrfunktion und akkuelektrischer Antrieb passen auch deshalb gut zusammen, da das Fahrzeug selbst weiß, wann es Strom laden muss und den Anschluss zu einem Ladepunkt selbsttätig herstellen kann. Daher sind in allen laufenden inländischen Projekten zum autonomen Fahren derzeit Elektrofahrzeuge im Einsatz. Automatisierung, Digitalisierung und Elektrifizierung des Verkehrs werden von Experten zusammengedacht.



## **Zugang zu sicheren, erschwinglichen, zugänglichen und nachhaltigen Verkehrssystemen für alle<sup>29</sup> und diskriminierungsfreier Verkehr<sup>30</sup>**

Wenn Politik und Wirtschaft den Weg bereiten, können autonome Shuttles und vergleichbare Fahrzeuge mit begrenzter spezifischer Fahraufgabe und örtlich begrenztem Einsatzgebiet schon in naher Zukunft einen Personennahverkehr ermöglichen, der alle Menschen jederzeit bequem von Tür zu Tür bringt. Bei richtiger Gestaltung würde ein solches Verkehrssystem sogar mit viel weniger Fahrzeugen auskommen und kaum Parkplätze (nur Haltepunkte) benötigen. Dies verspricht große Potenziale für Stadtplanung und Raumnutzung.

Aktuell durch den Verkehr genutzte Flächen könnten eine neue Verwendung finden (Parks, Spielplätze, Cafés etc.). Ein autonomes Shuttle kann zudem so programmiert werden, dass es alle Menschen gleichbehandelt, unabhängig vom Geschlecht, Alter, von der ethnischen Zugehörigkeit, der sexuellen Orientierung und den körperlichen Merkmalen oder Einschränkungen. Durch Berücksichtigung sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse kann sich auch das Sicherheitsgefühl der Passagiere erheblich steigern. Dies kann beispielsweise durch eine angemessene Gestaltung des Fahrzeugs, Systems, der Haltestellen und Routenführung geschehen. Auch das hat für einen diskriminierungsfreien Verkehr für alle große Bedeutung.

Im heutigen Verkehrssystem steht der motorisierte Individualverkehr im Mittelpunkt. Insbesondere im ländlichen Raum sind daher all jene Menschen, die zu jung, zu alt oder zu krank für das Fahren eines eigenen Autos sind, oder zu wenig Geld dafür haben, häufig von der Mobilität ausgeschlossen oder von einem Fahrer mit Fahrerlaubnis abhängig. Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion können diese Abhängigkeit durchbrechen, indem sie herkömmliche und neue Formen des öffentlichen Verkehrs flächendeckend für alle Kommunen realisierbar und finanzierbar machen.

## **Mehr Platz für Menschen, weniger Platz für Verkehr, weniger Ressourcenverbrauch**

Mobilität für alle ist grundsätzlich etwas Gutes und verspricht eine gesteigerte Lebensqualität. Städte und Dörfer, deren Straßen und Plätze ausschließlich zum Autofahren und Parken verwendet werden, bieten jedoch eine geringere Lebensqualität. Durch Straßenasphalt versiegelte Flächen schaden zudem den Böden und begünstigen Hochwasser.<sup>31</sup>

Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion können – im Zusammenspiel mit dem bisherigen öffentlichen Personenverkehr – eine bequeme, zuverlässige und effiziente Tür-zu-Tür-Mobilität für alle ermöglichen und eine wichtige Rolle in der Nahlogistik einnehmen.

**„Auf diese Weise wird es vielen Menschen häufiger leichtfallen, auf den privaten Pkw zu verzichten.“**

**Matthias Hartwig**

Auch für Paketlieferungen werden weniger Fahrzeuge im Einsatz sein. Zudem bewirken ein geringeres Verkehrsaufkommen und eine automatische Beurteilung der Verkehrslage ein besseres Zeitmanagement und weniger Staus. In einem digitalen Verkehrssystem können Fahrzeuge darüber hinaus ihre Geschwindigkeit vorausschauend an die Verkehrslage anpassen und Park- sowie Halteplätze ohne Suchverkehr finden. Autonome Fahrfunktionen wandeln so Hand in Hand mit der Digitalisierung das Stadtbild. Außerdem bedeuten weniger Fahrzeuge auch an anderer Stelle weniger Ressourcenverbrauch.



---

## Die Risiken bei Datenmissbrauch und Zugangschancen

Eine Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs bringen auch Risiken mit sich. Werden Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen unsachgemäß eingesetzt, wären schlimmstenfalls ein gesteigertes Verkehrsaufkommen, erhöhter Emissionsausstoß und ungleiche Mobilitätschancen zu befürchten. Darüber hinaus müssen die Hersteller alles dafür tun, dass eventuelle Hackerangriffe auf Fahrzeuge nicht passieren und die Sicherheit der Daten zu gewährleisten. Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion können zum Datensammeln missbraucht werden und bilden ein attraktives Ziel für Hacker. Ein Blick auf China zeigt weitere Risiken auf: China testet aktuell ein Bewertungssystem mit Sozialpunkten für alle chinesischen Staatsbürger, das auch über deren Zugangschancen zu öffentlichen Mobilitätsangeboten entscheiden könnte. Missbrauchsmöglichkeiten dieser Art müssen in Europa durch konsequente Regelungen für Datenschutz und Datensicherheit effektiv und umfassend entgegengewirkt werden. Auch in der Forschung zu Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen werden solche Missbrauchsmöglichkeiten und mögliche Lösungsansätze verstärkt diskutiert.

# Fazit: Eine neue Mobilitätswelt?

Nächstes Kapitel ↻

**Wofür können Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion eingesetzt werden? Autonomens Valet-Parking, autonome Nahverkehrshuttles, autonom fahrende Packstationen und Kehrmaschinen – es existieren zahlreiche Möglichkeiten.**

Aus den aufgezeigten hohen Anforderungen folgt, dass Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion derzeit nicht jede denkbare Verkehrssituation ohne menschliches Eingreifen bewältigen können. Bestimmte situative Umstände erfordern weiterhin menschliche Kontrolle. Mindestens auf Bundesstraßen mit hohem Tempo oder im dichten Stadtverkehr werden weiterhin Fahrer gebraucht.



In wenigen Jahren wird es jedoch autonome Fahrfunktionen geben, die immer mehr Verkehrssituationen ohne Einwirken des Fahrers meistern. In enger Kooperation mit einem digitalen Umgebungssystem werden sie beispielsweise in der Lage sein, in ein Parkhaus ein- und auszufahren und dort in eine freie Parklücke einzuparken (autonomes Valet-Parking). Auch im Personenverkehr sind verschiedene örtlich und funktionell begrenzte Einsatzszenarien denkbar.

Mit den Jahren werden die Einsatzgebiete und -bereiche wachsen. Mit autonomen Ruftaxis (Robo-Taxis) mit begrenztem Einsatzgebiet könnten Sharing-Anbieter mit einem BMW Vision iNEXT vielleicht schon in 20 Jahren ihre derzeitigen Geschäftsgebiete weitgehend abdecken und ihr Carsharing-Angebot so ergänzen. Denkbar könnte sogar eine Kombination sein: Wer das Robo-Taxi selbst fahren möchte, scannt seinen Führerschein und kann selbst fahren. Über Multimodalität und die Digitalisierung der Kommunikation (Apps und Mobilitätszentralen) können Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen Teil eines leistungsstarken öffentlichen Personenverkehrs mit Tür-zu-Tür-Mobilität werden. Den Verkehr auf den Hauptachsen auf Bundesstraßen und im dichten Stadtverkehr werden dabei weiter Busse mit Fahrern übernehmen. Straßenbahnen und S-Bahnen eignen sich ebenfalls (teilweise) für den Einsatz autonomer Fahrfunktionen.

---

## Aussicht für den Individualverkehr

Ein Pkw, der jede denkbare Verkehrssituation, beispielsweise auch auf der Landstraße, ohne menschliches Eingreifen meistert, werden Sie noch einige Zeit nicht kaufen können. Pkw im Individualverkehr werden jedoch schon bald mit situativ begrenzten Funktionen wie autonomem Valet-Parking oder hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn zum Verkauf stehen. Vielleicht rüsten die Städte und Kommunen in den nächsten Jahren auch (einzelne abgegrenzte) Bereiche mit digitalen Umgebungssystemen aus, die autonomes Fahren für den breiten öffentlichen Verkehr ermöglichen. Entsprechend ausgerüstete private Pkw könnten solche Systeme dann möglicherweise gebührenpflichtig mitbenutzen. In komplexen, gefahrenträchtigen Verkehrssituationen – wie beispielsweise auf Bundesstraßen mit hohen Geschwindigkeiten oder im dichten Stadtverkehr – werden aber auch bei privaten Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen noch einige Zeit die Fahrer das Fahrzeug steuern müssen.

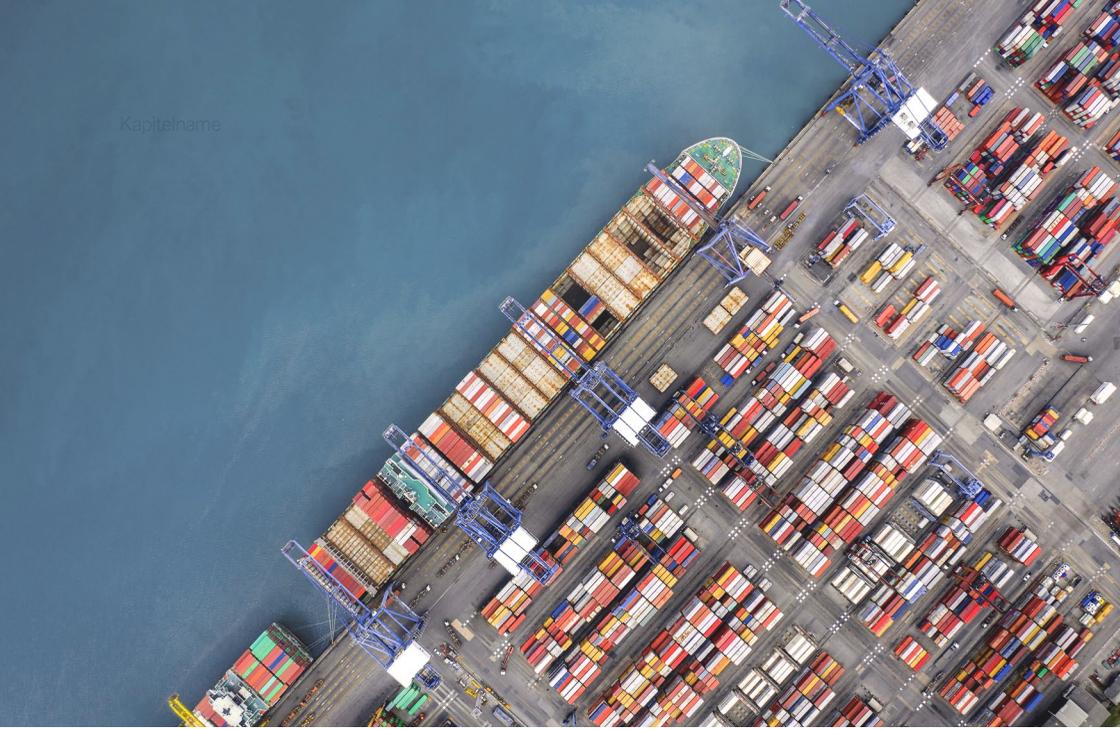
---

## Aussicht für Nutzfahrzeuge und betriebliche Verkehrsmittel

Ebenso birgt der Einsatz von Fahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion im Bereich der Nutzfahrzeuge und betrieblichen Verkehrsmittel viele Chancen in sich. Denkbar sind beispielsweise autonom fahrende Packstationen oder Kehrmaschinen, die nachts auf leeren Straßen zu ihrem Einsatzort fahren. Solche Anwendungen sind vielleicht schon in wenigen Jahren möglich, da sie keine hohen Geschwindigkeiten erfordern und daher einfacher realisierbar wären.

Darüber hinaus sind vielfältige betriebliche Einsatzmöglichkeiten für Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen denkbar. Auf Häfen wird schon in naher Zukunft der gesamte Umschlag mithilfe autonomer Kräne, Hubstapler und Transportfahrzeuge erfolgen, und auch in Lagern werden Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen bald zum Alltag gehören.

Flughäfen haben schon vor einigen Jahren begonnen, mit autonomen Fahrzeugen nicht nur in der Personenbeförderung, sondern auch in der Gepäckabwicklung Erfahrungen zu sammeln. Die Potenziale für Sicherheit, Nachhaltigkeit und Effizienz durch autonome Fahrfunktionen sind in diesen Bereichen groß.



# „Die Relevanz autonomer Fahrfunktionen für die Verkehrssicherheit und in ihren wirtschaftlichen Chancen ist sehr groß.“

**Matthias Hartwig**

Sie bringen zudem ein großes Versprechen für Gewinn an Komfort und Lebenszeitgewinn mit sich. Ob Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen auch ihr großes Potenzial für den Umwelt- und Klimaschutz einlösen, ob sie das Versprechen gleicher Mobilität bei weniger Verkehr halten werden und ob mit ihnen eine erschwingliche und diskriminierungsfreie Mobilität für alle möglich wird, muss sich noch erweisen. Mit etwas politischem Willen ist das möglich. Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen können dann zu einer besseren Mobilität für alle erheblich beitragen.

---

# Nationale und internationale Projekte für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion

**Es existieren gegenwärtig weltweit die unterschiedlichsten Projekte, um Kraftfahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen zu entwickeln und zu erproben. Im Folgenden finden Sie Beispiele von nationalen als auch internationalen Projekten. Die Zukunft wird zeigen, welche Konzepte sich für den alltäglichen Verkehr und Einsatz eignen können.**

Bei der folgenden Auswahl handelt es sich um Projekte, in denen u.a. das IKEM selbst beteiligt ist. Im Fokus steht dabei ein autonom fahrender ÖPNV:

**HEAT** („Hamburg Electric Autonomous Transportation“) von HOCHBAHN

➤ Autonome Kleinbusse

**HUB CHAIN**

➤ On-Demand-Verkehr

**Interregional Automated Transport (I-AT)**

➤ Transport- und Logistiksektor

**Sohjoa Baltic**

➤ Autonom fahrende Elektro-Minibusse

- 1 Norm SAE J3016: <http://articles.sae.org/15021/> (Abruf: 15.10.2019).
- 2 Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr, April 2017, S. 15.
- 3 Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr, April 2017, S. 16.
- 4 §§ 1a, 1b, 1c, 63a und 63b Straßenverkehrsgesetz.
- 5 § 1b Abs. 1 Hs. 1 Straßenverkehrsgesetz.
- 6 § 1b Abs. 1 Hs. 2 und Abs. 2 Straßenverkehrsgesetz.
- 7 § 1a Abs. 4 Straßenverkehrsgesetz.
- 8 § 1b Abs. 2 Nr. 2 und § 1a Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 Straßenverkehrsgesetz.
- 9 § 1a Abs. 2 Satz 1 Nr. 4 Straßenverkehrsgesetz.
- 10 § 1a Abs. 2 Satz 1 Nr. 5 Straßenverkehrsgesetz.
- 11 Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr, April 2017, S. 15.
- 12 Dem eigenen Anspruch nach regelt das Gesetz schon jetzt auch „Kraftfahrzeuge mit vollautomatisierter Fahrfunktion“ (= SAE-Level 4). Das wird diesem Anspruch jedoch inhaltlich nicht gerecht, da der Fahrer weiterhin jederzeit wahrnehmungs- und übernahmebereit bleiben muss.
- 13 Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode (2018), Zeilen 3661-3665.
- 14 So auch die Forderung der Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Regel Nr. 19 Satz 1.
- 15 Ausnahmegenehmigungen für Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion müssen nach geltendem Recht eine örtliche Begrenzung vorsehen (§ 70 Abs. 3 StVZO). Die Ethik-Kommission fordert auch für die zukünftigen Rechtsrahmen, dass „die Technik nur entsprechend ihrer Fähigkeiten eingesetzt“ wird (Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Regel Nr. 5 Satz 3).
- 16 § 1a Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 Straßenverkehrsgesetz.
- 17 Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Seite 10-13.

- 18 Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Regel Nr. 18 Satz 3.
- 19 UN-Nachhaltigkeitsziel 3.6: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg3> (Abruf: 23.05.2019), ausdrücklich als Ziel für automatisiertes und vernetztes Fahren: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, Sept. 2015, S. 9f.
- 20 Statistisches Bundesamt (2015): Verkehrsunfälle 2014. In: Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden.
- 21 Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Regel Nr. 2.
- 22 Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Bericht vom Juni 2017, Regel Nr. 1 und 2.
- 23 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, Sept. 2015, S. 8f.
- 24 UN-Nachhaltigkeitsziel 8.2: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg8> (Abruf: 23.05.2019).
- 25 Allied Market Research (2018): <https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market> (Abruf: 15.10.2019).
- 26 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren, Sept. 2015, S. 10-12.
- 27 Übereinkommen von Paris, Art. 2 Abs. 1 lit. a: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/paris\\_abkommen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf) (Abruf: 15.10.2019).
- 28 UN-Nachhaltigkeitsziel 13.2: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg13> (Abruf: 23.05.2019).
- 29 UN-Nachhaltigkeitsziele 11.2 und 11.3: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg11> (Abruf: 23.05.2019).
- 30 UN-Nachhaltigkeitsziele 5.1 und 10.2.
- 31 Weniger Bodenversiegelung ist ein eigener UN-Nachhaltigkeitsindikator 11.3.1.

# Bildverzeichnis

[zum Anfang ↻](#)

Cover	© Steven Han / Gettyimages
Seite 5	© J2R / Gettyimages
Seite 7	© BMW Group
Seite 9	© 7077' / Eyeem
Seite 11	© Liao Xie / Gettyimages
Seite 15	© BMW Group
Seite 23	© Danny Hu / Gettyimages
Seite 25	© Fabian Plock / Gettyimages
Seite 25	© Bim / Gettyimages
Seite 26	© Yevgeniy Babichenmo / Gettyimages
Seite 29	© Adinda Fika / Unsplash
Seite 31	© Tomasz Zajda / Gettyimages
Seite 34	© Bill Bonfield / Gettyimages
Seite 36	© Mareen Fischinger / Gettyimages
Seite 38	© Bim / Gettyimages
Seite 40	© Shi Jing / Gettyimages
Seite 41	© Michele Palazzo / Gettyimages
Seite 45	© Yulia-Images / EyeEm
Seite 48	© Clu / Gettyimages
Seite 49	© Ferrantraite / Gettyimages
Seite 53	© Prasit photo / Gettyimages



---

# Impressum

Bayrische Motoren Werke AG  
Petuelring 130  
80788 München

Telefon: 0049 089 382 0

Kontakt: [➔ bmw.com/contact](https://www.bmw.com/contact)