



# Statusreport

Verkehr und Umfeld im Wandel  
Stand, Tendenzen, Schlussfolgerungen

Juni 2016



# Vorwort

Die VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik ist ursprünglich aus der „Automobiltechnischen Gesellschaft“ hervorgegangen. Sie hat sich im Laufe ihrer Geschichte aber zu einer Gesellschaft entwickelt, die sich unter Einschluss der Verkehrsträger Schiene, Wasser, Luft neben den nach wie vor wichtigen Fragen der reinen Fahrzeugtechnik auch dem übergeordneten Thema Mobilität zuwendet.

Denn Mobilität ist der eigentliche Bedarf der Menschen. Der Mensch kauft mit dem Auto zwar ganz viel Technik (Motor, Fahrwerk, Airbag und Navi etc.), aber entscheidend ist, dass er damit seine Mobilitäts-wünsche befriedigen kann. Genauso wie mit dem Zugticket, mit dem er nicht die Lokomotive, aber sehr wohl die Möglichkeit der Beförderung erstet. Das gewünschte „Produkt“ ist also die Mobilität, die Technik ist ihr „Enabler“.

Der Fachbereich „Verkehr und Umfeld“ unserer Gesellschaft behandelt das Thema Mobilität nicht nur alle Verkehrsträger übergreifend, sondern schließt auch Fragen der Infrastruktur – die Basis für alle Verkehrsträger – mit ein.

Dieser Statusreport zu „Verkehr und Umfeld im Wandel“ handelt ausschließlich von Veränderungen im Bereich der Mobilität durch die modernen Infor-

mations- und Kommunikationstechnologien (IuK). Dies hat folgende Gründe: Die Beschränkung auf ein Technologiefeld hält den Umfang zunächst einmal wesentlich überschaubarer. Viel wichtiger ist aber, dass sich die IuK-Technologie sehr viel schneller weiterentwickelt als andere Bereiche.

Während Materialforschung oder Antriebsforschung vergleichsweise kontinuierlich voranschreiten, hat die IuK-Technologie durch ihre stürmische Entwicklung das Potenzial, im Bereich der Mobilität „disruptive“ Wirkungen zu erzeugen. Neue Antriebsformen (Stichwort: Elektroantrieb) erhalten ebenso einen Extra-Schub wie neue Mobilitätsangebote (Stichwort: Car-sharing) oder Verkehrsmanagement-Strategien (Stichwort: kommunikative Vernetzung).

Der Statusreport gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik, zeigt Tendenzen für zukünftige Entwicklungen auf und gibt in den Schlussfolgerungen Hinweise auf Potenziale, aber auch mögliche Defizite, die in Zukunft zu beachten sind. Der Statusreport ist eine Handreichung für Entscheider in den Bereichen Verkehr und Mobilität, er kann aber auch eine Anleitung sein für jene, die sich – außerhalb oder innerhalb des VDI – im weiten Aufgabenfeld der Mobilität engagieren wollen.

Düsseldorf im Juni 2016



Dipl.-Ing. Martin Hauschild  
Vorsitzender des VDI-Fachbereichs  
Verkehr und Umfeld

# Autoren

Der Statusreport ist von den Mitgliedern des VDI-Fachbeirats „Verkehr und Umfeld“ erstellt worden.

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler, TU München, München

Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch, TU München, München

Prof. Dr.-Ing. Heike Flämig, TUHH, Hamburg

Dipl.-Ing. Detlef Frank, Erding

Dr. rer. nat. Daniel Fulger, Altran GmbH & Co.KG, Düsseldorf

Dipl.-Ing. Martin Hauschild, BMW AG, München

Dipl.-Volkswirt Hans-Paul Kienzler, Prognos AG, Düsseldorf

Dr. Michael Körsten, MAN Truck & Bus, München

Prof. Dr. Barbara Lenz, DLR, Berlin

Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser, RWTH Aachen, Aachen

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Stauss, Volkswagen AG, Wolfsburg

Dipl.-Ing. Patric Stieler, Landeshauptstadt Düsseldorf

# Inhalt

Vorwort	1
Autoren	2
1 Zusammenfassung	4
2 Handlungsfelder	5
2.1 Fahrzeugtechnik	5
2.2 Verkehrsinfrastruktur	8
2.3 Güter- und Wirtschaftsverkehr	10
2.4 Personenverkehr/Mobilität	14
2.5 Verkehrssicherheit	16
Literatur	20

# 1 Zusammenfassung

Für die Fahrzeugtechnik ist die IuK-Technologie seit längerem ein Quantensprung in der Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften. Die Regelungsqualität der Fahrzeugsysteme Motor, Fahrwerk, Sicherheitsausstattung und Komforteinrichtungen konnte auf ein Niveau gehoben werden, das mit den früheren mechanisch/hydraulisch/elektrisch betriebenen Steuerungen unerreichbar war. Dementsprechend verbessert sind Verbrauchs- und Abgaseigenschaften, Sicherheit und Komfort. Der Fahrer wird unterstützt bei Routenplanung, der Fahrzeugführung und der Stabilisierung, was gleichermaßen der Verkehrssicherheit und dem Umweltschutz dient. In Kombination mit der weiteren Elektrifizierung von Fahrzeug und Antrieb können Assistenzsysteme Fahraufgaben übernehmen (autonomes Fahren), bei denen der Fahrer – auf sich allein gestellt – leicht überfordert wäre.

Mit der Einführung der IuK-Technologie ist es erstmals möglich, nicht nur den Zugang zu den öffentlichen Verkehrsmitteln zu erleichtern (Fahrpläne im Internet, aktuelle Verspätungsanzeigen), sondern auch verschiedene Verkehrsträger vom Individualverkehr über den öffentlichen Verkehr (ÖV) bis zu Sharing-Angeboten zu vernetzen. Nur so sind eine rationale Verkehrsmittelwahl und die Organisation von Wegeketten mit verschiedenen Verkehrsmitteln möglich.

Der Güterverkehr gewinnt an Effizienz durch bessere Planung von Lieferketten und Touren und höhere Auslastung der Fahrzeuge. Die Verringerung der Nachfrage nach Massengütern und eine deutliche Zunahme von Stückgutsendungen erfordern eine hohe Differenzierung bei der Sendungsverfolgung und Lieferorganisation. Der Fahrzeugeinsatz kann sowohl

durch Entlastung des Fahrers durch Assistenzsysteme als auch durch Koppelung von Fahrzeugzügen (Platooning) wirtschaftlicher werden.

Personen- und Güterverkehr werden auf der Infrastruktur (Straße, Schiene) abgewickelt. Daher kann die Infrastruktur bei der „Aufrüstung“ mit IuK-Technologie nicht außen vor bleiben, sondern Infrastrukturtechnik und Fahrzeugtechnik müssen sich parallel entwickeln. Fahrzeuge sind bereits große Datencontainer (Straßenzustand, Stausituation etc.), aber auch der Betrieb der Infrastruktur generiert wichtige Daten. Diese Daten intelligent auszuwerten und zu verknüpfen ist eine wesentliche Aufgabe für die weitere Entwicklung. Der Verkehrsfluss kann deutlich verbessert, die Auslastung der vorhandenen Infrastruktur erhöht und gegebenenfalls der weitere Ausbau weniger dringend werden.

Nach allen bisherigen Erfahrungen ist nicht damit zu rechnen, dass die Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen für Personen und Güter zurückgehen wird – im Gegenteil. Wegen der eher erwartbaren Steigerung in diesen Bereichen besteht sowohl im Sinne von Verkehrssicherheit und Umweltschutz als auch aufgrund der begrenzten Ressource „Infrastruktur“ Handlungsbedarf. Die IuK-Technologie hat hier gegenüber den anderen, ebenfalls für die Mobilität notwendigen Technologien einen besonderen Charme: Sie ist mit vergleichsweise geringem Ressourcenverbrauch verbunden. Eine intelligente Verkehrsführung braucht schließlich wesentlich weniger Material und Energie als eine zusätzliche Fahrspur. Schon das allein ist Grund genug, sich ausführlich mit den Chancen dieser Technologie zu beschäftigen.

## 2 Handlungsfelder

### 2.1 Fahrzeugtechnik

#### Fakten in Kürze

Der zunehmende Einsatz von IuK-Technologien in der Fahrzeugtechnologie

- trägt zur Effizienzsteigerung des Fahrzeugs bei (Emissionen, Verbrauch, Wartungsaufwand);
- erhöht die Verkehrssicherheit (Assistenzsysteme, Pre-Safe-Systeme, eCall);
- trägt zur Verbesserung des Verkehrsfluss bei (Car2Car- und Car2Infrastruktur-Kommunikation, intelligente Routenführung);
- ist wesentlicher Bestandteil der Entwicklung hin zum autonomen Fahren.

#### 2.1.1 Stand

Wie wird das Automobil von morgen aussehen? Braucht es noch einen Fahrer, oder wird es ein vollständig autonomes, mobiles Büro sein? Eines ist sicher: In Zukunft werden Fahrzeuge mehr Assistenzsysteme haben und mit anderen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur kommunizieren. Diese Entwicklung ist nur durch die zunehmende Rolle der IuK-Technologie möglich. Softwareentwicklung löst Design und Antrieb zunehmend als Fokus der Automobilindustrie ab. „Die eingebaute Rechenleistung eines Neuwagens übersteigt inzwischen diejenige eines gängigen Heim-Computers um ein Vielfaches.“ [1].

Der Einfluss der IuK-Technologie äußert sich seit Jahren in verschiedensten Bereichen der Fahrzeugtechnik. Bei Motor, Antrieb, Bremse, Fahrwerk oder Beleuchtung erfassen Sensoren heute Daten, die von Steuergeräten zur Optimierung von Stellmotoren genutzt werden. Die Präzision und Geschwindigkeit der Systeme erlebt dadurch im Vergleich zum lange dominierenden Mechanik-Hydraulik-Zeitalter einen Quantensprung. IuK-Technologie wird zur Realisierung verschiedenster Funktionen genutzt, die Grundvoraussetzung für die zunehmend effizienteren und komfortableren Fahrzeuge ist, wie die folgenden Beispiele zeigen. I&K-Technologien unterstützen den Fahrer bei den drei wesentlichen Aufgaben:

- Motorsteuerung und Antrieb: von der Kraftstoffeinspritzung und Steuerung des Zündzeitpunkts bis hin zur Getriebesteuerung
- Fahrwerk: von der Längsdynamik einschließlich Bremsung bis zur Querdynamik und Lenkung (oft radspezifisch) mit Querschnittsfunktionen wie Antiblockiersystem oder elektronische Stabilitätskontrolle
- beim Infotainment: von der persönlichen Konfiguration des Fahrzeugs bis hin zur Routenplanung

Über die rein fahrzeugtechnischen Ausprägungen hinaus, hat die IuK-Technologie in den letzten Jahren weitreichenden Einfluss auf die Vernetzung zwischen Fahrzeug und Umwelt.

In modernen Fahrzeugen stehen heute bereits viele technische Systeme zur Verfügung, die dem Fahrer im täglichen Leben zur Seite stehen. Dynamische Routenplanung, Fahrassistenzsysteme und Home-to-Car-Kommunikationen sind die Gegenwart.

IuK-Technologien unterstützen den Fahrer bei den drei wesentlichen Aufgaben, die maßgeblich durch das Verkehrsgeschehen beeinflusst sind:

- Routenplanung
- Fahrzeugnavigation
- Fahrzeugführung

#### Routenplanung

Was ist die beste Route, um an mein Ziel zu kommen? Wer heute von A nach B muss, nutzt selten noch eine Straßenkarte. Mitte der 1990er-Jahre gab es die ersten Navigationssysteme als Serien-Extra in den Fahrzeugen der Premium-Klasse, damals mit kräftigem Aufpreis. Heute ist das Navigationsgerät im Auto längst kein Luxus mehr. Seitdem hat die Integration von Navigations- und Telematiksystemen maßgebliche Fortschritte erreicht. Die „statische“ Karte im Navigationssystem wird durch Online-Informationen ergänzt (Echtzeitverkehrslageinformationen).

Die Planung der Route kann heute sowohl außerhalb des Fahrzeugs am eigenen PC als auch am Smartphone erfolgen und wird dann direkt in das Fahrzeug übertragen. Neben im Fahrzeug integrierten Navigationsgeräten verwenden auch fast ein Viertel aller Autofahrer heute „Navi-Apps“ auf Smartphones. Durch die hohe Marktdurchdringung und Akzeptanz von

Navigationsgeräten wird es zukünftig auch möglich, Einfluss auf die Routenwahl der Autofahrer zu nehmen.

## Fahrzeugnavigation

Wie werden Verkehrsinformationen dem Kunden bereitgestellt? Ein wesentlicher Teil der Bereitstellung von Verkehrsinformationen sind entsprechende Kommunikationskanäle zur Datenbereitstellung. Neue technische Standards ermöglichen eine flächen-deckende Versorgung mit zunehmender Qualität.

Lange Zeit waren Wechselwegweiser und der Rundfunk der einzige Weg, Verkehrsteilnehmer über die Verkehrslage zu informieren. Zunächst nur über das gesprochene Wort, also das Vorlesen von Verkehrsmeldungen, zumeist nach den Nachrichten, später dann auch über RDS-TMC (Radio Data System – Traffic Message Channel). Dieser Kanal wurde nicht nur von öffentlichen Programmveranstaltern, sondern auch von privaten Dienstleistern genutzt. Ausdrucksmöglichkeiten, Bandbreite und Übertragungsgeschwindigkeit dieses Kanals waren und sind jedoch begrenzt. Daher wurde in den 1990er-Jahren mit der Entwicklung des TPEG-Protokolls (Transport Protocol Experts Group) begonnen.

TPEG ist gerichtet auf digitale Übertragungsmedien wie Mobilfunk oder digitalen Rundfunk (DAB). Es umfasst eine Reihe von sogenannten Applikationen, die in diesem Kontext als Teile des Protokolls aufzufassen sind, die endgeräteseitig unterschiedliche Applikationen mit Daten versorgen. Zwei dieser Applikationen sind auf die Übertragung von Verkehrsinformationen gerichtet, nämlich TFP (Traffic Flow and Prognosis) und TEC (Traffic Event Compact).

TPEG-TFP ermöglicht die Übertragung von Reisezeiten, Reisegeschwindigkeiten und „Level of Service“ – also drei Repräsentationen ein und derselben verkehrstechnischen Größe, die endgeräteseitig etwa zur Einfärbung von Karten oder zur dynamischen Navigation genutzt werden kann.

TPEG-TEC hingegen ist geeignet zur Übertragung von Verkehrsmeldungen. Es umfasst einen Satz von Ereigniscodes, der an Alert-C angelehnt ist (diese Codes finden bei TMC Verwendung), aber deutlich verschlankt wurde (daher die Bezeichnung „Compact“).

## Fahrzeugführung

Auch bei der für die Verkehrssicherheit wichtigen Fahrzeugführung ist der Fahrer heute nicht mehr nur auf seine eigenen sensorischen Fähigkeiten angewie-

sen. Assistenzsysteme unterstützen ihn sowohl bei der Navigation durch Verkehrslageinformationen, als auch bei der sicheren Führung des Fahrzeugs. ABS, ESC, Abstandswarner, Regensensor, Parkhilfe, Spurhalteassistent etc. übernehmen Teilaufgaben der Fahrzeugführung überall dort, wo Hardware und Software in Bezug auf die Datengenerierung und -verarbeitung sowie die präzise und schnelle Ausführung von Fahrzeugreaktionen besser sind als der Mensch. Vereinfacht könnte man sagen: Der Fahrer bestimmt die Strategie, das Auto die Taktik der Ausführung von Manövern. Diese Systeme haben in der Vergangenheit erheblich zu der Reduzierung getöteter und verletzter Verkehrsteilnehmer beigetragen.

## 2.1.2 Tendenzen

### Navigation und Routing

Im Jahr 2016 sind die meisten Fahrzeuge mit RDS-TMC-Technik zum Empfang von Verkehrsinformationen ausgerüstet, und eine wachsende Anzahl verwendet TPEG-codierte Dienste. In der Zukunft scheint die Bedeutung von Standards wie TMC oder TPEG jedoch abzunehmen. IP-basierte Dienste erlauben die schnelle, einfache und kostengünstige Implementierung von neuen und wettbewerbsdifferenzierenden Dienstmerkmalen auf proprietäre Art und Weise ohne den aufwendigen Weg durch die Normierungsgremien. Dies ist insbesondere für Navigationsdienste der Fall, von denen bekannt ist, dass sie eine größere Wirkung auf den Verkehr haben als die reine Information über den Verkehrszustand oder kollektive Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen. Solche Dienste werden zunehmend „off-board“ generiert, das heißt, die Routen werden nicht mehr im Fahrzeug, sondern von einer Zentrale gerechnet. Dies geschieht in der Annahme, dass die Zentrale sowohl aktuellere Daten zur Verfügung hat als auch in der Lage ist, mit anderen Verkehrsmanagementzentralen zu kommunizieren und dadurch Maßnahmen und Strategien des Verkehrsmanagements in die Routenberechnung einfließen können.

### Cloud-basierte Navigationsführung

Die Ansprüche an die Leistungsfähigkeit von Navigationssystemen wachsen. Insbesondere bei der Qualität der Verkehrslageinformation im urbanen Umfeld gibt es noch Potenziale, um eine adaptive Routenanpassung zu ermöglichen. Zukünftig werden allerdings andere Anwendungsfelder im Vordergrund stehen, das Zusammenspiel von Navigations- und anderen Fahrassistenzsystemen. Inzwischen verschmilzt die eigentliche Funktion der Routeninformation mit Car2X-Funktionalitäten und Echtzeitinformationen.



Aus individuellen lokalen Datenwolken werden zwischen Fahrzeugen Daten ausgetauscht. Ziel der Entwicklungsanstrengungen auf diesem Gebiet ist es, die Fahrer auf Wetter, Unfälle oder Staus vorzubereiten – weit mehr als nur Navigation also. Der fortschrittliche Einsatz von detailliertem Kartenmaterial resultiert in mehr Sicherheit, höherem Fahrkomfort und einer signifikanten Verringerung des Kraftstoffverbrauchs. Potenziale im fahrzeugtechnischen Umfeld bietet dieser fortschrittliche Einsatz von detailliertem Kartenmaterial beispielsweise in einem verbrauchsoptimierten Motor- und Getriebemanagement, durch die Errechnung vorausliegender Verkehrereignisse wie „grünen Wellen“. Das dient der Senkung des Kraftstoffverbrauchs und einem auf CO<sub>2</sub>-Emissionen optimierten Energiemanagement. Weitergehende Entwicklungsarbeiten beschäftigen sich mit der Optimierung des Antriebsmanagements von Hybridfahrzeugen sowie der Reichweitenmaximierung von Elektrofahrzeugen.

## Car2X für verbessertes Verkehrsmanagement

Die intelligente Vernetzung von Fahrzeugen und die Digitalisierung im und um das Auto bieten das Potenzial, unser Verkehrssystem zu revolutionieren und seine Leistungsfähigkeit deutlich zu erhöhen. Insbesondere die sogenannte C2X-Kommunikation (siehe auch Bild 1), also die Interaktion zwischen Fahrzeugen untereinander und Fahrzeugen mit der Infrastruktur, ist eine positive Folge der rapiden Entwicklungen, die in den vergangenen Jahren unter dem Begriff „vernetztes Fahrzeug“ in der Automobilelektronik stattfinden. Im Wesentlichen bedeutet dies, dass ein intelligentes Fahrzeug Daten sammelt und analysiert und diese an andere Fahrzeuge oder an die Infrastruktur kommuniziert.

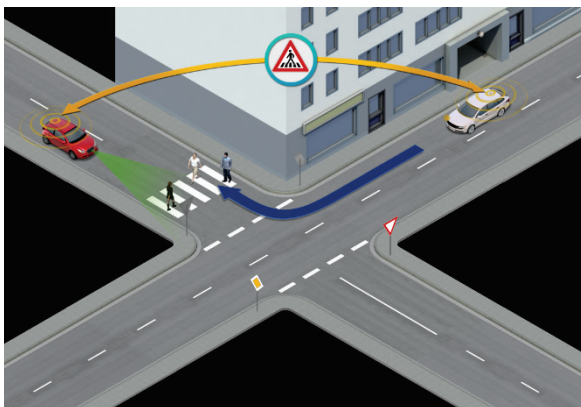


Bild 1. Fußgängerschutz durch Car2X-Kommunikation (Quelle: Car2X Communication Consortium)

Ein einfaches Beispiel, was die Daten eines Fahrzeugs über den Zustand seiner Umwelt verraten können:

Aktive Scheibenwischer und Umgebungstemperatur eines oder mehrerer Autos lassen sehr genau messen, wo es momentan regnet oder schneit.

Wesentlich größere Tragweite haben Szenarios, bei denen in Zukunft jedes Auto alle Informationen seiner Sensoren zu aktueller Position und Geschwindigkeit an sein Umfeld weitergibt. Damit können wesentlich genauere Verkehrslagen- und insbesondere Prognosen entwickelt und somit die Verkehrssteuerung gesamthaft optimiert werden. Die heutigen Systeme sind fast ausschließlich auf das Fahrzeug selbst bezogen. Das übergeordnete Ziel des besseren Verkehrsflusses verlangt eine deutlich bessere Kooperation zwischen Verkehrsmanagement, Infrastruktur (z. B. Verkehrsampeln) und dem Fahrzeug selbst. Bereits die Integration von Baustellen in Verkehrsinformationen stellt sich heute vielfach noch als nicht realisierbar dar. Mit Blick auf das Thema Verkehrssicherheit hat die C2X-Kommunikation enormes Potenzial. „Eine Studie des US-amerikanischen Verkehrsministeriums zeigt, dass sich mit C2X-Sicherheitsfunktionen wie Kollisionswarnungen an Kreuzungen und Notbremsassistenten die Unfallzahlen um mehr als 80 Prozent reduzieren lassen.“ [2].

## Autonomes Fahren

Durch den zunehmenden Umfang an Fahrzeugsensoren und durch die Vernetzung des Fahrzeugs eröffnet sich die Vision des selbstfahrenden Autos. Eine Utopie stellt das nicht mehr dar. Moderne Automobile sind heute bereits mit einer Vielzahl an Fahrerassistenzsystemen ausgestattet. Umfeld-Sensoren wie Radar, Video und/oder Ultraschall nehmen das Fahrzeugumfeld wahr und interpretieren es. ABS und ESP greifen bereits heute im Grenzbereich in den Fahrvorgang ein, und stetig kommen neue Fahrerassistenzsysteme hinzu. Der Schritt zu automatisierten Fahrzeugen, die komplexe Verkehrssituationen meistern, ist nicht mehr groß, wie erfolgreiche Erprobungen von deutschen Automobilherstellern, aber auch Zulieferern und nicht zuletzt Google gezeigt haben. Experten gehen mittlerweile davon aus, dass bereits in wenigen Jahren das autonome Fahren Realität sein wird. Die Teil- oder Vollautomatisierung wird sich bei allen Herstellern allerdings zunächst auf Autobahnen und einige Überlandfahrten beschränken. In Städten, die durch den hohen Verkehrsdruck deutlich höheres Potenzial zur Verbesserung des Verkehrsflusses durch autonome Fahrzeuge aufweisen, wird die Einführung durch die enorme Komplexität länger dauern. Schneller könnte es im Bereich des automatisierten Parkens gehen. Insbesondere Parkhäuser eignen sich hierfür, da neben den Sensoren des Fahrzeugs auch aus einer entsprechend intelligenten Gebäudeinfrastruktur Informationen an das Fahrzeug für den automatisierten Parkvorgang fließen können.

### 2.1.3 Schlussfolgerungen

Die obenstehenden Punkte sind im Jahr 2016 nur in ersten Anfängen umgesetzt, aber die Entwicklung zu einer Fahrzeugpopulation, die stets online ist, ihre Informationen über den Verkehr und das Verkehrsumfeld aus der „Cloud“ bezieht und sich zumindest in Situationen mit hoher Nachfrage selbst organisiert und ihre Verteilung im Netz optimiert, hat bereits begonnen. Sie kann aber nur erfolgreich sein, wenn im und außerhalb des Fahrzeugs parallel eine „Ausrüstung“ von Soft- und Hardware erfolgt. So wichtig autonome Fahrzeugfunktionen sind, ohne eine „kommunikationsfähige“ Infrastruktur bleiben die Fortschritte im Fahrzeug nur Stückwerk. Entscheidend ist dabei auch die Weiterentwicklung der Kommunikationsstandards zur Übertragung von Verkehrsinformationen.

Die Entwicklung hin zu vollautonomen Fahrzeugen auf unseren Straßen scheint immer mehr Fahrt aufzunehmen und für die Automobilhersteller stellt es angesichts der neuen Konkurrenz aus anderen Branchen – Google, Uber & Co. – eine fast unabdingbare Wettbewerbsfähigkeit der Zukunft dar.

Trotz des technischen Fortschritts gibt es aber noch einige unabdingbare Fragen zu beantworten. Ungeklärt sind für ein ganzheitlich vollautomatisches Fahren ohne Eingriffsmöglichkeiten für den Fahrer nicht nur die Haftungsfragen im Falle eines Versagens. Noch schwieriger wird der Umgang mit den ethischen Problemen, die das automatisierte Fahren mit sich bringt. Wer entscheidet, nach welchen ethischen Regeln autonome Fahrzeuge im Falle eines möglichen Unfalls entscheiden?

## 2.2 Verkehrsinfrastruktur

### Fakten in Kürze

- Die zunehmende Ausstattung der Fahrzeuge mit Assistenzsystemen bewirkt eine Beeinflussung des Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmer und verändert die Anforderungen an die Ausstattung der Infrastruktur.
- Verschiedenste Anwendungsfelder zeigen auf, dass oft noch Klarheit über die System- und Schnittstellenspezifikation erlangt werden muss und zahlreiche Planungs- und Verwaltungs- Inbetriebnahme- und Qualitätssicherungsprozesse auf die Anforderungen hin angepasst werden müssen.
- Die Umsetzung des automatisierten Fahrens erfordert auch im Bereich der Infrastruktur die Schaffung vieler passender Rahmenbedingungen.
- Ein bedarfsgerechter Ausbau der Ladeinfrastruktur mit Blick auf das Ziel der Bundesregierung ist anzustreben.

### 2.2.1 Stand

Die Vorgaben der Gesetze, Verordnungen und Regelwerke für Planung, Bau, Betrieb und Erhaltung von Straßenverkehrsanlagen sind darauf ausgelegt, dass die Straße sicher befahren werden kann, eine ausreichende Verkehrsqualität gegeben ist und eine lang anhaltende Standfestigkeit gewährleistet wird. Hierzu existieren zahlreiche Richtlinien, Empfehlungen und Hinweisempfehlungen, die beispielsweise auf den Regelquerschnitt und die geometrische Gestaltung der Straße, die Ausstattung einer Straße mit Verkehrszeichen und Markierung sowie passiven Schutzeinrichtungen, die verkehrstechnische Leistungsfähigkeit, die Konzeption des Straßenunter- und -oberbaus, die verwendeten Straßenbaumaterialien sowie auf die funktionalen Eigenschaften einer Straßenoberfläche (Griffigkeit, Ebenheit, Helligkeit, Lärmentstehung, Standfestigkeit, Verschleißarmut) abzielen. Als Beispiele für diese normativen Vorgaben seien die Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Landstraßen (RAL) und Stadtstraßen (RASt), das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), die Straßenverkehrsordnung (StVO), die Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen (RPS), die Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus (RStO) sowie zahlreiche technische Lieferbedingungen (TL) und zusätzliche technische Vertragsbedingungen (ZTV)

für unterschiedliche Baustoffe und Elemente der Straßenausstattung zu nennen. Diese Regelwerke fokussieren derzeit auf Planung, Bau und Betrieb von Straßen, die Belange von Systemen zur automatischen Fahrzeugführung werden bislang nicht berücksichtigt.

Zunehmende Ausstattung der Fahrzeuge mit Assistenzsystemen bewirkt eine Beeinflussung des Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmer und verändert die Anforderungen an die Ausstattung der Infrastruktur. Beispielsweise können häufig Widersprüche zwischen statischen oder auch dynamischen Wegweisungen und Empfehlungen der Navigationsgeräte sowie der Verkehrsmeldung aus dem Rundfunk (RDS-TMC) festgestellt werden. Ebenso stehen die Fahrzeuganzeigen zur Geschwindigkeitsempfehlung im Fahrzeug im Widerspruch zu Anzeigen von Wechselverkehrszeichen, Verkehrsbeeinflussungsanlagen oder baustellenbedingten Einschränkungen. Die Sensorik in den Fahrzeugen bleibt bisher zum Zwecke der Qualitätssicherung und -verbesserung an der Infrastruktur und im Straßenbetrieb weitgehend ungenutzt.

Forschungsprojekte in Deutschland fokussieren bislang stark auf die technische und ergonomische/psychologische Ebene. Bild 2 zeigt einen Überblick über ausgewählte Meilensteine und öffentliche Projekte in Deutschland.

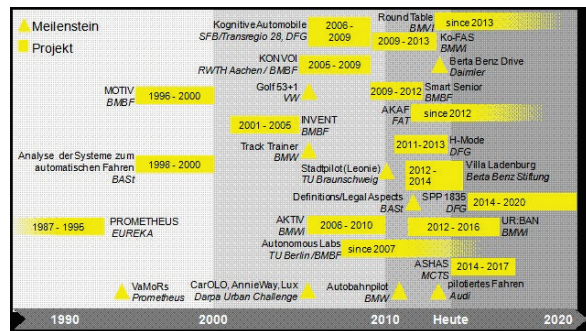


Bild 2. Ausgewählte Forschungsprojekte zum automatisierten Fahren in Deutschland (Quelle: [3])

### 2.2.2 Tendenzen

Die in Bild 2 dargestellten nationalen Forschungsinitiativen zeigen, dass die Entwicklungen vorwiegend fahrzeugseitig anwendungsorientiert erfolgen. Vom Europäischen Parlament ist Handlungsbedarf im Bereich der Intelligenten Verkehrssysteme (IVS), die durch Innovationen in der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation bzw. Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation getrieben wird, erkannt, um in der Harmonisierung die Anwendungen zugunsten der Verkehrssicherheit, der Effizienz, der Reduzierung von Umweltbelastungen und zur Marktöffnung zu fördern. Im Jahr 2010 wurde bereits die EU-Richtlinie 2010/40/EU für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im

Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern verabschiedet und mit der Delegierte Verordnung (EU) Nr. 886/2013 konkretisiert. Die Richtlinie regelt, dass in den nächsten sieben Jahren funktionale, technische, organisatorische und dienstbezogene Vorgaben für IVS definiert werden.

In Deutschland wird derzeit durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur an der Umsetzung der europäischen Rahmenvorgaben in nationales Recht gearbeitet. Ein wichtiger Teil des Wegs wurde Ende 2012 mit der Veröffentlichung des nationalen Aktionsplans „Intelligente Verkehrssysteme in Deutschland“ beschriftet. Der Aktionsplan hat zum Ziel, bestehende IVS koordiniert weiterzuentwickeln und neue IVS beschleunigt einzuführen. Darüber hinaus wurde 2013 das Intelligente Verkehrssysteme Gesetz (IVSG) verabschiedet, das für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme die Berücksichtigung der auf EU-Ebene getroffenen Spezifikationen vorschreibt.

Mit dem MobilitätsDatenMarktplatz [4] hat Deutschland den zugehörigen nationalen Zugangspunkt für den Austausch verkehrsrelevanter Daten bereits eingerichtet. Sowohl im Produktivbetrieb als auch in F+E-Vorhaben zur Erprobung kooperativer Systeme wird das System zunehmend genutzt.

Da die Entwicklung von IVS, IVS-Strategien und IVS-Regelungen sich derzeit im Fluss befindet, können potenzielle Anforderungen von zukünftigen automatischen Systemen an die Infrastruktur sehr gut berücksichtigt werden – sofern sie bereits formuliert sind. Hier existieren im Bereich der Datenkommunikation bereits Anforderungen und Forschungen (z. B. die IVS-Architektur für den koordinierten Euro-Korridor „KoSys Rotterdam – Frankfurt – Wien“). Inwieweit automatische Systeme jedoch auch Anforderungen an planerische oder betriebliche Belange stellen, wurde erst in dem Projekt UR: BAN [5] für verschiedenste Anwendungsfelder dargestellt und zeigt auf, dass in vielen Fällen erst noch Klarheit über die System- und Schnittstellenspezifikation erlangt werden muss und zahlreiche Planungs- und Verwaltungs-, Inbetriebnahme- und Qualitätssicherungsprozesse auf die Anforderungen hin angepasst werden müssen.

Die Bundesregierung strebt bis zum Jahr 2020 eine Flottenzahl von zirka einer Million Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen an. Hierdurch soll sich die Bundesrepublik Deutschland als Leitmarkt für Elektromobilität und innovative Beförderungsmittel insbesondere im Bereich der individuellen Mobilität weiter etablieren.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist neben steuerlichen Begünstigungen auch auf den bedarfsgerechten Aus-



bau der Ladeinfrastruktur (Bild 3) zu fokussieren. Dieses neue Element der Verkehrsinfrastruktur muss eine sichere Bereitstellung der elektrischen Energie und die Identifikation sowie Abrechnung der Elektrofahrzeuge flächendeckend gewährleisten.



Bild 3. Ladeinfrastruktur in Deutschland (Quelle: Markus Oeser)

Die Ladeinfrastruktur ist perspektivisch in die neu entstehenden dezentralen Stromnetze zu integrieren, soll einen wesentlichen Beitrag zur Bereitstellung und Speicherung von elektrischer Energie leisten und den „Smart-Grid“-Gedanken explizit aufgreifen.

Zur Förderung der Elektromobilität wurde die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) gegründet. Die Arbeitsgruppen der NPE beschäftigen sich neben antriebs- und speichertechnologischen Fragen auch mit der Ladeinfrastruktur und Netzintegration. Nach Einschätzung der NPE müssen bis 2020 zirka 500 Millionen Euro in den Aufbau einer Ladeinfrastruktur investiert werden.

### 2.2.3 Schlussfolgerungen

Durch eine weitere kontinuierliche Weiterentwicklung der Mikroelektronik und insbesondere der Umfeldsensoren zur Situationserfassung rückt die Fahrzeugautomatisierung verstärkt in den Vordergrund aktueller F+E-Vorhaben. Aktiv beworben durch Unternehmen aus der IT-Industrie wurde die Begehrlichkeit nach „Hochautomatisiertem Fahren“ geweckt (Level 3 und höher nach SAE Definition) [6]. Dies stellt die Automobilforschung vor neue Herausforderungen. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht dabei auf unterschiedlichen Ebenen. Dabei ist das Spannungsdreieck zwischen Fahrer – Fahrzeug – Umfeld auf jeder Ebene zu berücksichtigen. Mit Fokus auf die erforderliche Infrastruktur resultieren Anforderungen, die die infrastrukturbezogene rechtliche Regulierung, die Fahrer-Umfeld-Interaktion auf psychologischer Ebene und die Gestaltung der Infrastruktur auf technischer Ebene betreffen (Bild 4).

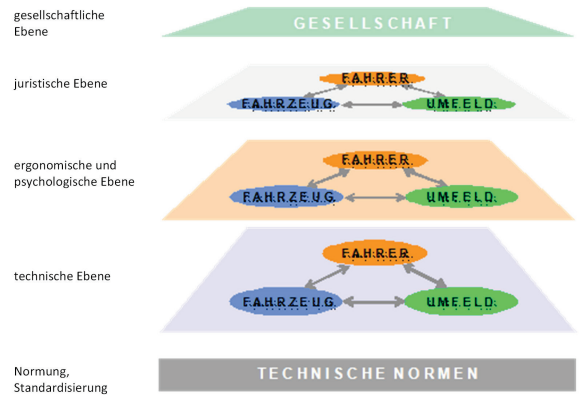


Bild 4. Ebenenmodell des automatisierten Fahrens (Quelle: [7])

In der Folge sind für Einführungsszenarien die Verantwortlichkeiten und damit auch für Investitionen im öffentlichen Sektor die Finanzierung zu klären sowie die Planungs- und Verwaltungs-, Inbetriebnahme- und Qualitätssicherungsprozesse anzupassen.

## 2.3 Güter- und Wirtschaftsverkehr

### Fakten in Kürze

- Die weiter wachsende Güterverkehrsleistung wird zunehmend durch Konsumentenverhalten und Logistik-/Produktionsstrategien der Unternehmen beeinflusst.
- Der zunehmende Einsatz von IuK-Technologie zwischen den verschiedenen Stufen von Produktion und Handel erleichtert effiziente Prozesse und dämpft die Verkehrsleistung.
- Gleichzeitig wird der Güterverkehr im KEP-Bereich durch wachsenden E-Commerce mit kleinteiligen Sendungsgrößen und globalen Vertriebskanälen stark getrieben.
- Im Rahmen von Fahrerassistenzsystemen birgt IuK-Technologie für den Güterverkehr große Potenziale im Bereich Sicherheit und Effizienz.
- Vielfältige technische und rechtliche Fragestellungen sind allerdings noch zu klären, um diese Potenziale zu heben und ungewollte negative Effekte zu verhindern.

### 2.3.1 Stand

Die Güterverkehrsentwicklung ist in den letzten Jahren durch eine nahezu Konstanz im Güteraufkommen gekennzeichnet. Gleichzeitig steigt die Anzahl der in

den Verkehrsnetzen zurückgelegten Kilometer an (Bild 5).

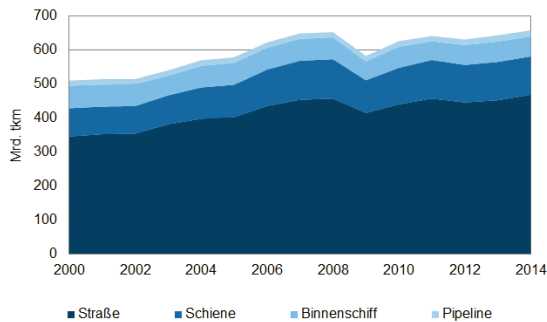


Bild 5. Entwicklung der Güterverkehrsleistung nach Verkehrsträger (Quelle: eigene Darstellung nach Statistischem Bundesamt)

Dieses Wachstum der Güterverkehrsleistung war in der Vergangenheit vor allem durch Effekte, wie veränderte Güterstrukturen – von den Massengütern zu den Stückgütern – und Güterwerte – von den günstigen Rohstoffen zu den hochwertigen Industrie- und Konsumgütern – gekennzeichnet. Hinzu kam der Einfluss, den der in den Verkehrssystemen unterschiedlich stark erfolgte Ausbau der Infrastrukturen zur Folge hatte sowie die Deregulierungs- und Liberalisierungsmaßnahmen der Verkehrsmärkte, die vor allem zu einem Anstieg der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr führen. Heute wird der Güterverkehr in seinem Aufkommen, seiner Art und seiner Zusammensetzung maßgeblich durch das Konsumverhalten und die Produktions- und Logistikstrategien der Unternehmen beeinflusst.

### 2.3.2 Tendenzen

Die sich seit der Jahrtausendwende durchsetzende Durchdringung aller Lebensbereiche mit neuen Informations- und Kommunikationstechnologien hat zu Veränderungen der Material-, Transport- und Verkehrssysteme geführt. Zwischen den Produktionsstufen ermöglicht heute eine medienbruchfreie Automatisierung Informationsflüsse zwischen Lieferanten und Kunden in Echtzeit. Darauf basieren Strategien der Produktion (wie Just-in-Time/Just-in-Sequence) und des Handels (wie Vendor Managed Inventory), die durch Schnelligkeit und Individualisierung gekennzeichnet sind und oftmals nur durch einen standardisierten elektronischen Datenaustausch (engl. electronic data interchange, EDI) realisiert werden können. Diese medienbruchfreie Verknüpfung der Produktions- und Handelsstufen, ergänzt um ausgefeilte Algorithmen der Verbrauchsnachfrage unter Vermeidung des Bullwip-Effekts, hat zu einer deutlichen Reduzierung von Fehlmengen und -lieferungen geführt. In Summe haben sie sich mindernd auf die Verkehrsleistung

ausgewirkt. Ein Treiber steigender Güterverkehrsleistungen ist die fortschreitende Marktdurchdringung des E-Commerce (Bild 6).

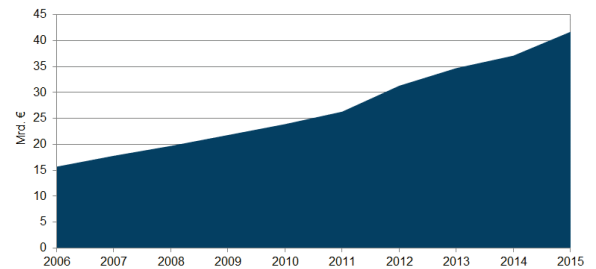


Bild 6. Entwicklung der E-Commerce-Umsätze (Quelle: eigene Darstellung nach Statistischem Bundesamt)

Durch die Entwicklung der IuK-Technologie entstanden neue Geschäftsmodelle, wie E-Commerce und neue Nutzungskonzepte (Shared-Economy). Privatpersonen können Einkaufswege (und gegebenenfalls Fahrten) einsparen, wenn sie über Online-Plattformen direkt Handel miteinander betreiben oder in einem Online-Shop einkaufen. Die Möglichkeit über das Internet einzukaufen, stärkt den Trend zu großräumigen Verflechtungsbeziehungen und zu mehr und kleinteiligeren Sendungsgrößen, die zunehmend auf der Straße abgewickelt werden. Die Nachfrage nach Lieferverkehren, insbesondere mit privaten Pkw und kleinen Lkw, steigt kontinuierlich. Insbesondere das Paketgeschäft mit kurzen Lieferzeiten hat in seiner Bedeutung erheblich zugenommen; mit entsprechendem Einfluss auf die Zusammensetzung, insbesondere des Straßengüterverkehrs, und die Struktur der Logistik- und Dienstleistungswirtschaft. Dies gilt sowohl für die Belieferung von Kunden aus der Industrie und dem Handel (Business to Business – „B2B“) als auch in verstärktem Maß für die Belieferung von Endkunden/Verbrauchern (Business to Consumer – „B2C“). Dieser Markt ist durch kleine Sendungsgrößen mit schnellen Lieferzeiten – bis hin zu „same-day-delivery“ – charakterisiert, was ohne den Einsatz von hochentwickelter IuK-Technologie (beispielsweise Tourenplanungsprogramme und Technologien zur Kommunikation mit den Empfängern der Sendungen) nicht möglich wäre. Insbesondere im B2C-Bereich ist der hohe Anteil von Rücksendungen der bestellten Waren eine Herausforderung für die KEP-Dienste. Dies führt in diesem Segment zu einem erhöhten Fahrtenaufkommen mit häufigen Stopps, gerade im innerstädtischen Bereich. Damit verbunden sind zunehmend Behinderungen des fließenden Verkehrs gerade in den sensiblen Innenstadtbereichen und in Wohngebieten.

Die Liefertouren werden entsprechend den Kundenanforderungen geplant. In der Transportwirtschaft können elektronische Frachtenbörsen und Flottenmanagementsysteme zur Effizienzerhöhung bei der Touren- und Routenplanung beitragen. Innerhalb der

KEP-Unternehmen sind derartige Instrumente längst Standard. Was fehlt, ist der unternehmensübergreifende Einsatz von solchen Systemen. Frachtenbörsen verbunden mit unternehmensübergreifenden Systemen zur Optimierung von Tourenplanung und Fahrzeugeinsatz können gerade den innerstädtischen Ver- und Entsorgungsverkehr optimieren und zu weniger Fahrleistung führen. Hier schließen sich eine Reihe von Fragen an: Nach welchen Kriterien werden die Transporterlöse aufgeteilt, wer haftet für Transport-schäden und Falschliefereien, wie kann ein Konkurrenzschutz organisiert werden? Zumindest für die Aufteilung der Transportkosten und -erlöse kooperativer Lösungen könnten praxiserprobte Verteilungsschlüssel der Verkehrsverbände als Modell dienen. In Anbetracht dieser ungelösten Fragen ist es zunächst nicht verwunderlich, dass die allermeisten Ansätze einer kooperativen City-Logistik bisher gescheitert sind.

Auch im Verkehrssystem steigt der Grad von Vernetzung und Automatisierung, wo zunehmend fahrerlose Systeme erprobt werden. Sind fahrerlose Transportsysteme (FTS) schon seit den 1970er-Jahren in der innerbetrieblichen Logistik im Einsatz, wird ein derartiges Szenario im Güterverkehr erst durch die Zunahme von Fahrerassistenzsystemen (FAS) realistisch. Diese leisten heute bereits einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Unfällen. Die Weiterentwicklung vom assistierten zum hoch- bzw. vollautomatisierten Fahren versetzt Fahrzeuge in die Lage, Stauenden erkennen zu können. Die zeitweise Ablösung des Fahrers durch autonome Systeme würde beispielsweise riskante Überholmanöver und Geisterfahrten vermeiden.

Einen besonders weitgehenden Ansatz stellt dabei das „Platooning“ im Straßengüterfernverkehr dar, bei dem Lkw-Fahrzeuggruppen zu zusammenhängenden Konvois mit geringen Abständen durch eine elektronische Kupplung kombiniert werden. Diese Platoons wurden z. B. im EU-Projekt SARTRE erprobt und zeichnen sich durch eine große Energieeffizienz und hohe Fahrsicherheit aus.

Allerdings wirft auch das Platooning mehrere Anschlussfragen auf, insbesondere hinsichtlich der Entscheidungsfindung und der Nutzenverteilung: Wenn die Kraftstoffeinsparung von der Position im Konvoi abhängig ist, wer bestimmt über den Platz in der Kette? Wenn der Konvoi ohne Fahrer in den Folgefahrzeugen fahren würde, wer bezahlt den Fahrer im Führungsfahrzeug? Braucht der Führungsfahrer eine spezielle(re) Ausbildung gegenüber den anderen Fahrern? Vor der Einführung muss aber auch geklärt werden, wie andere Platooning-Fahrzeuge identifiziert werden könnten. Dafür müsste ein gemeinsamer Standard entwickelt werden, der sicherstellt, dass auch andere Fahrzeuge, die sich in das System „ein-

loggen“, kompatibel sind und den Sicherheitsansprüchen genügen. Hier greifen der weitere Forschungsbedarf und die Handlungsempfehlungen eng ineinander. Im Falle des Platooning könnte im Führungsfahrzeug ein professioneller Fahrer zum Einsatz kommen, so wie es in den meisten Projekten auch angedacht ist. Dies hätte den Vorteil, dass sich beispielsweise auch ungeübte Langstreckenfahrer (Fahrer, die bisher ausschließlich im Nahverkehr unterwegs waren) in eine Kolonne einordnen könnten. Dies würde jedoch bedingen, dass Güter- und Personenverkehrsfahrzeuge miteinander kommunizieren können. Dabei muss die Kommunikation von Fahrzeugen mit anderen Fahrzeugen (Vehicle-to-Vehicle (V2V)) oder mit der Verkehrsinfrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure (V2I)) unterschieden werden.

Das Grundkonzept der V2V-Vernetzung besteht darin, dass Daten zur aktuellen Fahrsituation (beispielsweise Sensordaten) vorausfahrender Fahrzeuge an nachfolgende Fahrzeuge weitergegeben werden und dadurch ein Frühwarnsystem für Gefahrenlagen geschaffen wird. So können beispielsweise Bremsvorgänge frühzeitig erkannt und entsprechende Warnungen erzeugt und übermittelt werden. Werden diese Daten direkt von Fahrassistenten verarbeitet, können Fahrzeugabstände verkürzt und damit die Kapazität der Straßen erhöht werden. Durch die damit mögliche Verstärkung der Geschwindigkeit wird auch die Energieeffizienz erhöht.

Wenn sich Fahrzeuge im öffentlichen Raum immer alle Umgebungsmerkmale und -besonderheiten jeder Fahrstrecke merken müssten, würden entsprechend kostenintensive Hard- und Softwaresysteme notwendig. Diese könnten vermieden werden, wenn Wegmarken bestimmte Informationen bereithielten, die nur temporär ausgelesen werden müssten. Bei der Einführung von V2I-Systemen, stellt sich hier die Frage, wie die Straßeninfrastruktur verändert werden müsste.

Im Rahmen der V2I werden Daten direkt an die einzelnen Fahrzeuge gesendet, beispielsweise zur Verkehrssituation, zu Behinderungen oder zur Gefahrenlage. Diese Informationen können zu einer optimierten Routenwahl und/oder zu einem angepassten Fahrverhalten verarbeitet werden. Durch diese dynamische Optimierung können Transporte sicherer und schneller abgewickelt werden.

Andere IuK-Technologien in diesem Bereich geben beispielsweise im Voraus Auskunft über Auslastungsgrade von knapper Infrastruktur. Hierbei handelt es sich z. B. um die Situation zu verfügbaren Parkplätzen, aber auch um die aktuelle Kapazitätsauslastung von Ladetoren beim Empfänger oder Umschlagseinrichtungen (Kräne-, Abstellplätze). In der Binnenschifffahrt existiert das sogenannte „River Informati-



on System“ (RIS), das den Schiffsführer frühzeitig informiert, ob ein Schleusentor offen oder geschlossen ist. Dies ermöglicht dem Schiffsführer seine Geschwindigkeit so anzupassen, dass das Schiff immer unmittelbar in die Schleuse einfahren kann und er Wartezeiten oder das Festmachen vor Schleusen einspart.

Ein weiterer V2I-Bereich ist der Einsatz smarterer Tachografen in den Straßenfahrzeugen, bei denen umfangreiche Daten des Fahrzeugs und der aktuellen Fahrzeugnutzung erhoben und ausgewertet werden können. Durch deren Nutzung ist es z. B. möglich, verschleiß- oder verbrauchserhöhende Fahrstile frühzeitig zu erkennen, um Fahrer entsprechend zu trainieren und somit Kosten zu senken.

### 2.3.3 Schlussfolgerungen

Die Veränderungen in der Supply Chain und im Güterverkehr zeigen ein sehr ambivalentes Bild, das genauer untersucht werden muss. Die IuK-Technologien haben die logistischen Systeme wesentlich effizienter werden lassen. Uneinheitlich zeigen sich die Entwicklungen in den Transport- und Verkehrssystemen. Bisher ist die Frage unbeantwortet, was alles autonom transportiert werden kann und welcher Autonomisierungsgrad überhaupt von der Wirtschaft an Nutzen gefordert und an Kosten akzeptiert werden würde. Gleichzeitig ergeben sich aber auch neue Möglichkeiten für innovative Geschäftsmodelle, deren Konzeptualisierung und Bewertung bisher allerdings ausstehen. Auch könnten sich Alternativen für Einsatzbereiche ergeben, deren Herausforderungen bis heute ungelöst erscheinen. Ein Beispiel ist die Ver- und Entsorgung von innerstädtischen Standorten (Stichwort „City-Logistik“), die sehr konfliktrichtig und kostenintensiv ist. Der Einsatz von autonomen Straßenverkehrsfahrzeugen, gekoppelt mit weiteren Komponenten (z. B. Güterschleusen), könnte beispielsweise eine zeitliche Entzerrung der Personen- und Güterverkehrsfahrten ermöglichen.

Die Zusammenführung der Teilszenarien von einzelnen, autonomen logistischen Prozessen zu einem Szenario einer ganzheitlich autonomen Supply Chain bzw. Lieferkette von der automatisierten Rohstoffgewinnung über alle Produktions- und Logistikstufen hinweg bis hin zur Belieferung des Endkunden erfordert eine integrierte Betrachtung. Technologisch wurden hier in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt. Die Forschungsarbeiten müssen daher vor allem hinsichtlich des (notwendigen) Grads der Automatisierung einzelner logistischer Prozesse sowie der Feststellung von einzel- und gesamtwirtschaftlichen Nutzen und Kosten intensiviert werden. Auch rechtliche Fragen, vor allem Haftungsfragen, wenn es dann doch zu einem Unfall käme, müssen noch gelöst wer-

den. Zudem bedarf die Diskussion unbedingt der thematischen Erweiterung um eine ganzheitliche Umwelt- und Ressourcenbewertung.

Sollte sich die Rechtsauffassung der Vereinigten Staaten durchsetzen, nach der das System „can be overridden or switched off by the driver“ ausreicht, würde dies für Europa bedeuten, dass es immer eine übergeordnete Instanz geben muss, die in das Fahrzeug steuernd eingreifen kann. Im Bereich des Bahn-, See- und Luftverkehrs werden die Systeme heute schon so ausgelegt, und für den Bahn- und Luftverkehr existieren akzeptierte übergeordnete Instanzen. Für den Straßengüterverkehr muss eine derartige Instanz erst geschaffen werden. Hier werden die bisher autonomen Systementwicklungen im Bereich der anderen Verkehrsträger und der innerbetrieblichen Logistik zusammenwachsen. Der Autopilot in Flugzeugen ist schon seit Langem die Regel. Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts kamen dort Systeme zur Stabilisierung zum Einsatz.

Drohnen fliegen. Die ersten Forschungsprojekte zur unbenannten Schifffahrt auf europäischer Ebene laufen. Auch die Fernsteuerung von Eisenbahnen findet bereits seit Jahren statt. Neu ist die Qualität der autonomen Entscheidungsfindung bei veränderter Umweltsituation oder neuem bzw. verändertem Fahrt- bzw. Transportauftrag. Die Ausweitung der Einsatzgebiete, beispielsweise im Luftverkehr durch die Drohnen, zeigt die Notwendigkeit auf, dass sich Transportaufträge vollkommen neu über die Verkehrsträger verteilen können. Hier besteht Forschungsbedarf.

Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive könnten automatisierte Systeme einen Lösungsansatz für strukturelle Defizite im heutigen Verkehrswesen leisten. In Zeiten knapper öffentlicher Haushalte ist künftig nicht mit einem deutlichen Ausbau von Verkehrsinfrastruktur, insbesondere von Schiene und Binnenschiff, zu rechnen. Es wird davon ausgegangen, dass mit dem automatisierten Fahren die vorhandene Straßeninfrastrukturkapazität durch den geringeren Platzbedarf und durch die gleichmäßigere Geschwindigkeit mindestens verdoppelt werden könnte. Darüber hinaus könnte ein Beitrag zum Klimaziel geleistet werden, da automatisiertes Fahren durch einen gleichmäßigeren Verkehrsfluss und die Vermeidung von Staus den Treibstoffverbrauch reduziert.

Allerdings liefert nicht nur der Technikdeterminismus gewichtige Gründe gegen automatisierte Straßenfahrzeuge: Effizienzerhöhungen im Straßenverkehr rufen Konflikte mit den Massentransportmitteln hervor. Automatisiertes Platooning steht in direkter Konkurrenz zur Bahn. Auch wenn es derzeit in Deutschland einen Berufskraftfahreremangel gibt, so würde doch die Anzahl an Berufskraftfahrern insgesamt abneh-

men, und auch in anderen Ländern würden aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive dringend benötigte Arbeitsplätze entfallen.

Auf den ersten Blick erscheint es durchaus sinnvoll, einige der derzeit diskutierten Lösungsansätze zur Kapazitätserhöhung der Infrastruktur, Ressourcenschonung und des Umweltschutzes zu kombinieren. Der Beginn der Einführung des autonomen Fahrens in geschlossenen Systemen und in überschaubaren Szenarien (z. B. Autobahn, Flughafenvorfeld, Hafen) wird Vertrauensvorbehalte und fehlende Standardisierungen überwinden helfen. Die schrittweise Umsetzung des Platooning, ausgehend von bemannten Führungs- und Folgefahrzeugen, könnte die notwendige Akzeptanz in der Bevölkerung schaffen. Zu prüfen ist, ob die gleichzeitige Einführung von Oberleitungs-Lkw und damit die Schaffung einer separaten Fahrspur unter Kapazitäts- und Sicherheitsaspekten sinnvoll wären.

Letztlich sehen wir hier noch einen hohen Forschungsbedarf, um die Potenziale dieser Entwicklungsansätze zu heben.

## 2.4 Personenverkehr/Mobilität

### Fakten in Kürze

- Die Seniorenmobilität nimmt zu – dabei starke Erhöhung des Anteils der Automobilität
- Es gibt große Erwartungen an alternative Arten der Antriebstechnologie zur Lösung der Umweltprobleme im Stadtverkehr.
- Die Anzahl der Carsharing-Fahrberechtigten stieg seit 2010 von 150.000 auf über 1 Millionen Personen an.
- Das zunehmend multimodale Mobilitätsverhalten und die Potenziale, nichtmotorisierten Verkehr und den ÖV besser zu nutzen, beziehen die bessere Vernetzung zwischen motorisiertem Individualverkehr (MIV) und ÖV durch bauliche Maßnahmen und standardisierte Kommunikationsmittel ein.

### 2.4.1 Stand

So sieht Mobilität in Deutschland im nationalen Durchschnitt aus: Jeden Tag gehen 90 Prozent aller Menschen mindestens einmal aus dem Haus. Durchschnittlich werden pro Kopf der Bevölkerung täglich 3,4 Wege und 39 Kilometer zurückgelegt und dafür eine Stunde und 19 Minuten aufgewendet. Insgesamt

nimmt der Mobilitätsbedarf in den letzten Jahren nur noch langsam zu; allerdings variiert die Bedarfsentwicklung je nach Bevölkerungsgruppe erheblich. Immer mobiler werden vor allem die Senioren. Sie gehen häufiger aus dem Haus als noch vor wenigen Jahren und sind zunehmend automobil. Der Pkw ist weiterhin das dominierende Verkehrsmittel im Personenverkehr – sowohl im Alltag als auch bei Fernreisen. Im Alltagsverkehr werden fast 80 Prozent der über 3,2 Milliarden Personenkilometer eines durchschnittlichen Tages mit dem Auto zurückgelegt – das entspricht 55 Prozent aller Wege.

Das Bild, das sich für die Mobilität in Städten ergibt, weicht davon ab. Kennzeichnend für die größeren Städte sind vor allem deutlich höhere Anteile des Umweltverbunds – öffentlicher Verkehr, Fahrrad und zu Fuß. In den 15 Großstädten, das heißt den Städten mit 500.000 Einwohnern und mehr, werden bis zu 70 Prozent der Wege mit Verkehrsmitteln des Umweltverbunds zurückgelegt. Die Einwohner von Berlin legen mehr als die Hälfte ihrer Tagesstrecke mit dem öffentlichen Verkehr, dem Fahrrad oder zu Fuß zurück.

Der Verkehr in den Städten hat allerdings auch negative Wirkungen. Staus verlängern Fahrzeiten, Verkehrsunfälle führen zu Sach- und Personenschäden. Mit den Verbrennungsmotoren sind Geräusch- und Abgasemissionen verbunden und die Bewegung sowie das Abstellen der Fahrzeuge verbraucht Fläche, was insbesondere in hochverdichteten Gebieten zu Nutzungskonkurrenzen führt. Die Entwicklung der Infrastruktur konnte mit der seit 1970 um den Faktor 3 gestiegenen Fahrleistung nicht mitwachsen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der Pkw-Bestand enorm gewachsen ist; 1970 waren in Westdeutschland insgesamt knapp 14 Millionen Pkw angemeldet, im Jahr 2015 sind es in ganz Deutschland über 44 Millionen Pkw mit einem Stellflächenbedarf von 12 bis 14 m<sup>2</sup> pro Fahrzeug. Vor allem in der Stadt sind diese Stellflächen Teil des öffentlichen Raums. In den großen Städten werden 40 Prozent und mehr der privaten Pkw im öffentlichen Straßenraum abgestellt [8].

Durch Forschung und Entwicklung – getrieben nicht zuletzt durch Grenzwerte, die seitens der Politik gesetzt wurden – haben Industrie und Wissenschaft zwar erreicht, dass die negativen Auswirkungen des Straßenverkehrs zumindest reduziert werden konnten. So sind die straßenverkehrsbedingten Emissionen von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen so weit reduziert, dass die Luftqualitätsstandards eingehalten werden; auch bei Stickoxid- und Partikelemissionen konnten Verbesserungen erreicht werden. Allerdings besteht vor allem bei den Stickoxid- und Partikelemissionen noch erheblicher Handlungsbedarf.



Ein wichtiger Beitrag zur Problemlösung wird von den Antriebstechnologien erwartet. Die Fahrzeugentwicklung bei elektrischen Antrieben (Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge) hat wesentliche Fortschritte gemacht, sodass elektrisch angetriebene Fahrzeuge ein zunehmend wachsendes Potenzial zur Verringerung der Emissionen und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im städtischen Raum bieten. Allerdings ist der Anteil an Elektrofahrzeugen noch verschwindend gering. Außerdem sind Elektrofahrzeuge derzeit eher im suburbanen Raum zu finden, wo eine einfache Beladung der Batterie in der zum Wohnhaus gehörigen Garage möglich ist [9].

Noch sind reine Elektroautos vergleichsweise teuer und in ihrer Reichweite auf kürzere Strecken vor allem auf die Nutzung in Ballungsräumen ausgerichtet. Daher sind zur Umsetzung der Elektromobilität besondere Anstrengungen und Maßnahmen erforderlich. Im Rahmen der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE) hat die Bundesregierung bereits im Mai 2010 Vertreter von Industrie, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zusammengeführt, um Deutschland als „Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität 2020“ aufzustellen.

Einer der größten Erfolge im verkehrlichen Umfeld ist die Verbesserung der Verkehrssicherheit. Im Vergleich zu 1970 sank die Zahl der getöteten Verkehrsteilnehmer auf ein Sechstel trotz des signifikanten Anstiegs der Verkehrsleistung. Gerade auch im städtischen Umfeld, wo durch das Zusammentreffen der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer erhöhtes Gefahrenpotenzial besteht, lässt sich dieser Trend beobachten. Innerorts kamen laut Statistischem Bundesamt im Jahr 1991 3.349 Menschen bei Unfällen ums Leben. Diese Zahl reduzierte sich auf 983 Unfalltote innerorts in 2014 [10].

Allerdings passieren in Städten immer noch mehr Unfälle als auf Außerortsstraßen. Mehr als 1,75 Millionen Unfälle registrierte die Polizei im Jahr 2012 – fast genauso viele wie 1991 (1,7 Millionen). Trotz des steigenden Verkehrsaufkommens konnte die Zahl der Schwerverletzten in diesem Zeitraum aber halbiert werden [13].

Bei der für die Verkehrssicherheit wichtigen Fahrzeugführung ist der Fahrer heute nicht mehr nur auf seine eigenen sensorischen und intellektuellen Fähigkeiten angewiesen. Assistenzsysteme unterstützen ihn sowohl bei der Reiseplanung (Verkehrslageinformationen) als auch bei der Navigation (Navigationssysteme) und der sicheren Führung des Fahrzeugs (ABS, ESC, Abstandswarner, Regensensor, Parkhilfe, Spurhalteassistent etc.). Bisher haben sich Fahrzeug und Infrastruktur allerdings überwiegend nebeneinander entwickelt, das heißt, eine Integration fand entwicklungsseitig kaum statt. Das mögliche Potenzial

durch eine bessere Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur wurde aus diesem Grund bislang nicht ausreichend ausgeschöpft. Die weitere Ertüchtigung der Infrastruktur und die Bereitstellung der notwendigen Datengrundlagen für innovative Verkehrstechnologien bieten erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduzierung der negativen Auswirkungen des Verkehrs. Inwiefern mit der zunehmenden Automatisierung des Verkehrs weitere positive Wirkungen u. a. auf städtische Flächennutzungen möglich sind, ist derzeit aber noch offen, da sich die Forschung zur Automatisierung des Verkehrs entsprechenden Fragestellungen bisher kaum zugewandt hat.

Wichtige Fortschritte sind in den vergangenen Jahren im öffentlichen Verkehr erreicht worden. Neben den klassischen Verbesserungsmaßnahmen, wie Taktverdichtung oder Erhöhung des Fahrzeugkomforts, hat sich der Zugang zu den Beförderungsoptionen des öffentlichen Verkehrs – gerade in den Städten – durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien ganz wesentlich verbessert. Bei den städtischen Verkehrsbetreibern und -verbänden ist ein umfangreiches Informationsangebot zu Strecken, Fahrplänen und Tarifen heute eine Selbstverständlichkeit. Wesentliche Elemente sind dabei elektronische Anzeigesysteme an den Haltestellen sowie das Angebot von Smartphone-Apps für umfassende und dynamische Informationen, die auf diese Weise mobil verfügbar sind.

## 2.4.2 Tendenzen

Fortschritte in Fahrzeug- und Infrastrukturentwicklung können grundsätzlich dazu beitragen, dass trotz zunehmender Siedlungsdichte in den Agglomerationsräumen die unerwünschten Nebenwirkungen der Verkehrsnachfrage nicht zu-, sondern eher abnehmen.

Derzeit diskutierte alternative Antriebstechnologien sind neben Gasantrieben die Hybride, eine Kombination aus Verbrennungsmotor und Elektromotor, und die Elektrofahrzeuge, die mit Elektromotoren als Antriebsquelle fahren. Für die reine Elektromobilität ist die Batterietechnik die Schlüsseltechnologie. Derzeit sind aber die Kosten für leistungsfähige Batterien noch sehr hoch, die Systeme schwer und die Ladezeiten vergleichsweise lang. Die Käuferakzeptanz ist aktuell sehr gering. Der insbesondere im städtischen Raum als besonders wichtig erachtete Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur bedarf einer sehr sorgfältigen Planung, da Ladebedarf und Lademöglichkeiten im privaten, aber noch mehr im gewerblichen Bereich erhebliche Unterschiede aufweisen.

Auch Fahrzeuginnovationen im Zweiradbereich (eScooter und eBikes) bieten aufgrund des geringeren

Flächenbedarfs eine Chance, die Verkehrsbelastung in Ballungsräumen zu senken. So ist beispielsweise die Nachfrage nach Elektrofahrrädern in den vergangenen Jahren von 70.000 im Jahr 2007 auf 410.000 im Jahr 2013 angewachsen [12].

Die Ausstattung mit elektronischen Assistenzsystemen wird sich schnell weiterentwickeln. Das Fahrzeug wird nicht mehr ein zu jeder Zeit vom Fahrzeugführer solitär gelenktes Verkehrselement sein, sondern „integrierter Teil des Systems“ werden. Es wird mit der Infrastruktur (grüne Welle, Ampelbedarfsschaltung etc.) und mit anderen Fahrzeugen kommunizieren und unter bestimmten Umständen „teilautonom“ fahren. Die Erwartungen gehen dahin, dass Verkehrsfluss und „vorausschauendes Verhalten der Fahrzeuge“ Abgasemissionen und Verbrauch reduzieren, die vorhandene Infrastruktur besser ausnutzen (optimale Routenberechnung, Vermeidung von Parksuchverkehr etc.) und die Verkehrssicherheit deutlich erhöhen.

Die großen Städte sind auch diejenigen Orte, an denen bevorzugt neue Mobilitätskonzepte erprobt werden. Dies trifft insbesondere für Sharing-Konzepte zu. Sowohl Bikesharing als auch Carsharing bilden wachsende Segmente in Städten. Die Anzahl der Carsharing-Fahrberechtigten stieg seit 2010 von 150.000 auf über 1 Million Personen an. Entsprechend wuchs die Fahrzeugflotte von zirka 4.000 Pkw auf 15.400 an [13]. Großen Anteil an dieser Entwicklung haben stationsunabhängige Carsharing-Angebote. Die hohe Flexibilität der Verfügbarkeit eines Fahrzeugs macht dieses Angebot gerade für Menschen in Großstädten interessant. Carsharing hat das Potenzial, den hohen Parkdruck in Innenstädten zu senken.

Entscheidend wird allerdings die Entwicklung des Mobilitätsbedarfs und des Verkehrsverhaltens jenseits technischer und technisch-organisatorischer Entwicklungen sein. Angesichts des dynamisch sich verändernden städtischen Umfelds mit seinen ganz unterschiedlichen Ausprägungen ist es nur bedingt möglich, hierbei einheitliche Tendenzen festzustellen.

### 2.4.3 Schlussfolgerungen

Die Mobilität von Menschen in Deutschland hat sich in den letzten Jahren deutlich gewandelt. Neben Veränderungen in der Einstellung gegenüber den verschiedenen Verkehrsmitteln und ihrer Nutzung ist insbesondere in Städten eine Diversifizierung oder Kombination der Verkehrsmittelwahl zu beobachten. Sowohl der öffentliche Verkehr als auch Carsharing und Fahrradverleihsysteme werden zunehmend attraktiver, ohne jedoch damit die Dominanz des Pkw einzugrenzen.

Das zunehmend multimodale Mobilitätsverhalten und die Potenziale, nicht motorisierten Verkehr und den ÖV besser zu nutzen, beziehen auch die bessere Vernetzung zwischen MIV und ÖV durch bauliche Maßnahmen und standardisierte Kommunikationsmittel ein.

Die Elektromobilität kann sich in diese Entwicklung einklinken. Erste Lademanagementsysteme zum Aufladen von Elektrofahrzeugen sind auf dem Markt verfügbar (H2V, „home to vehicle“). Für eine kostengünstige Elektromobilität bedarf es weiterer Anstrengungen der Branchen Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau, Energieversorgung, Elektroindustrie, Chemieindustrie, Metallindustrie und IT-Technologie.

Die Entwicklung des automatisierten Fahrens lässt noch viel weiterreichende Wirkungen auf Mobilität, Verkehrssystem und städtische Strukturen erwarten. Während technologische Lösungen hier bereits in der Entwicklung sind, bestehen aber noch große Unsicherheiten bezüglich der Wirkungen auf das System Stadt.

## 2.5 Verkehrssicherheit

### Fakten in Kürze

- In den letzten Jahren konnte die Verkehrssicherheit durch die konsequente Weiterentwicklung von passiven Sicherheitsfunktionen und Fahrerassistenzsystemen bereits erheblich gesteigert werden
- Eine weitere Steigerung wird durch die konsequente Weiterentwicklung dieser Technik, jedoch im erheblichen Umfang nur durch die Einführung von Automatisierungs- und Vernetzungsfunktionen gelingen
- Dafür sind Standards und strukturelle Voraussetzungen zu schaffen, die über die Technik des Fahrzeugs hinausgehen. Im Verkehrssystem der Zukunft wird die Sicherheit durch Datenaustausch und kooperatives Verhalten im Gesamtsystem bestimmt.

### 2.5.1 Stand

Gemeinsam mit Verbänden und dem Gesetzgeber hat die Fahrzeugindustrie in den letzten Jahren durch die technologischen Möglichkeiten auf Seiten des Fahrzeugs bereits einen erheblichen Beitrag zur Verkehrssicherheit geliefert. Durch Innovationen und fortschreitende Weiterentwicklung von aktiven und pas-

siven Sicherheitssystemen, neue technologische Möglichkeiten der Sicherheitstechnik und der Vernetzung sowie zunehmende Unterstützung und Automatisierung der Fahraufgabe durch eine Reihe am Markt bereits erhältlicher Fahrerassistenzsysteme konnte die Zahl der im deutschen Straßenverkehr tödlich Verunglückten innerhalb der letzten 20 Jahre um 65 Prozent reduziert werden. Dem gegenüber stehen negative Effekte, wie der demografische Wandel mit einer steigenden Anzahl älterer Verkehrsteilnehmer, die Zunahme des Verkehrsaufkommens, ein steigender Unterschied der Größe und des Gewichts der Fahrzeuge im Straßenverkehr, vom kleinen Elektrofahrzeug bis zum Schwerlast-Lkw und die zunehmende Ablenkung des Fahrers durch moderne Informations-, Kommunikations- oder Entertainmentssysteme.

Trotz der generell sehr positiven Entwicklung bis heute ist aktuell eine Stagnation bei den Unfallzahlen festzustellen. Wie die Unfallstatistiken zeigen, liegt die Hauptursache von Verkehrsunfällen nach wie vor in menschlichem Fehlverhalten. Trotz verbesserter Sicherheitstechnik äußert sich dieses beispielsweise durch nicht angepasste Geschwindigkeiten oder fehlende Sicherheitsabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen, aber auch durch Unaufmerksamkeit in kritischen Situationen. So waren im Jahr 2014 rund 90 Prozent der Unfälle auf personenbezogene Ursachen zurückzuführen, während nicht einmal 1 Prozent in einem Zusammenhang mit technischen Mängeln stand. Daraus lässt sich schließen, dass der Einfluss der bisher etablierten Sicherheitstechnik auf Seiten des Fahrzeugs eine Sättigung erfahren hat und neue Aspekte betrachtet werden müssen, um die Zahl der Verkehrstoten weiter signifikant zu reduzieren. Dies kann nur mittels einer fortschreitenden Einführung von Fahrerassistenzsystemen und Automatisierung von Fahrfunktionen, mit zunehmender Vernetzung von Informationen über das gesamte Verkehrssystem, kooperativem Verhalten von Fahrzeugen, insbesondere auch zwischen verschiedenen Fahrzeugklassen, und entsprechenden Maßnahmen in der Infrastruktur erreicht werden.

Weitere Anstrengungen sind aus Sicht der Unfallstatistik ferner zu Themen der passiven Sicherheit, wie Fußgänger- und Zweiradschutz, sowie zur Fondsicherheit von Pkw erforderlich. Die passive Sicherheit wird weiterhin eine wichtige Grundlage zur Reduzierung der Unfallfolgen bilden, Unfallvermeidung durch Fahrerassistenzsysteme wird jedoch einen entscheidenden Beitrag zur Verringerung von Verkehrstoten leisten. Objekterkennung und entsprechende Warnungen z. B. durch Abbiegeassistenten sind hier ein erster Schritt in die richtige Richtung.

Während auf der Seite des Fahrzeugs somit zahlreiche etablierte und weiter ausbaubare technische Mittel zur Verfügung stehen und die technische Unterstützung

des Fahrers in kritischen Fahr- und Verkehrssituationen durch aktive und passive Systeme weiterhin ein wichtiger Faktor zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ist, steigt die Bedeutung der Einbeziehung von Informationen über Straße und Umfeld sowie den Menschen und seinen Zustand im Verkehrssystem als Fahrer oder Verkehrsteilnehmer. Nach heutigem Stand gibt es bezüglich der Aspekte Umwelt und Mensch viele Forschungsaktivitäten, aber noch wenige bereits in Anwendung befindliche Funktionen und Ansätze, die Beurteilung des Faktors Mensch in die integrierte Strategie der Verkehrssicherheit einzubeziehen. Ein Beispiel dafür sind Funktionen zur Müdigkeitserkennung auf Basis des Fahrverhaltens. Diese weisen den Fahrer darauf hin, dass er seine Fahraufgabe nicht mehr zuverlässig, beziehungsweise aufmerksam wahrnehmen kann und besser eine Pause einlegen sollte. Die Beachtung dieser Hinweise liegt bei diesen Systemen immer noch in der Verantwortung des Fahrers.

Bezüglich der Berücksichtigung von Informationen über die Straße und Infrastruktur gibt es heute erste Ansätze, aktuelle Verkehrsinformationen über Staus und Hindernisse oder Umfeldinformationen, wie beispielsweise Geschwindigkeitsregelungen, dem Fahrer zur Information zur Verfügung zu stellen, sodass er seine Route und Fahrweise entsprechend anpassen kann. So bieten beispielsweise Navigationssysteme auf der Basis des Kartenmaterials oder aktueller Verkehrsnachrichten Informationen über Geschwindigkeitsbeschränkungen oder andere Verkehrsregelungen. Automatisierte Anpassungen der Route sind ein erster Schritt, den Fahrer zu entlasten und kritische Situationen zu umgehen, werden aber noch nicht in automatische Fahrfunktionen umgesetzt. Im Bereich der Nutzfahrzeuge, in dem wirtschaftliches Fahren eine besondere Rolle spielt, gibt es erste Schritte in Richtung Automatisierung durch „Efficient-Cruise-Funktionen“, die entweder dem Fahrer entsprechende Hinweise geben oder aktiv in die Längsregelung eingreifen, um beispielsweise ein verbrauchsoptimales Ausrollen vor Ortseinfahrten oder bei Steigungen und Senken zu ermöglichen. Obwohl der Fokus dabei auf der Wirtschaftlichkeit und Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs liegt, liefern diese Funktionen auch einen Beitrag zur vorausschauenden Verkehrssicherheit.

## 2.5.2 Tendenzen

Wie beschrieben, spielt in der Mehrzahl der heutigen Unfälle menschliches Verhalten immer noch eine große Rolle. Signifikante Verbesserungen der Verkehrssicherheit werden also die Reduzierung oder Minimierung des Faktors Mensch erfordern. Die zunehmende Automatisierung von Fahraufgaben unter Einbeziehung von Fahrzeugsensorik und Umgebungs-

Informationen wird dabei eine wesentliche Rolle spielen. In Zukunft stehen durch die zunehmende Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit dem Umfeld neue Möglichkeiten für die aktive Verkehrssicherheit und somit zur Vermeidung von Unfällen und Schäden und für den vorbeugenden Schutz der Verkehrsteilnehmer zur Verfügung. Durch die optimale Verknüpfung der Informationen über Straße/ Umfeld, das Fahrzeug und den Menschen ergeben sich wesentliche Beiträge für die Verkehrssicherheit.

Relevante Informationen über Straße und Umgebung im Rahmen einer vernetzten Sicherheitsstrategie sind beispielsweise aktuelle Hinweise zu temporären Verkehrsregelungen und -störungen sowie regelmäßig aktualisierte Informationen über Verkehrszeichen. Informationen über geänderte Zustände sollten dabei in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden und können bei optimaler Vernetzung sowohl von Einrichtungen der Infrastruktur (Ampelanlagen, Verkehrsflussbeobachtung) als auch von anderen vorausfahrenden Fahrzeugen kommen. Ferner relevant sind aktuelle Informationen über den Fahrbahnzustand, insbesondere über Glätte oder Fahrbahnschäden, oder über Infrastrukturänderungen, z. B. neue Ampelanlagen, oder temporäre Zustände, z. B. Baustellen. Zur Erfassung all dieser Umgebungsinformationen ist die Nutzung neuer Möglichkeiten der Datenerfassung und des Verkehrsmanagements erforderlich.

Die heutigen Fahrerassistenzsysteme sind an die Anforderungen der Automatisierung und Vernetzung zu adaptieren, über die heutigen Lösungen hinaus sind neuartige Fahrerassistenzsysteme und Systeme zur Realisierung von automatischen und autonomen Fahrfunktionen zu realisieren. Im Fahrzeug ist die Anreicherung von Fahrzeugumfeldmodellen mit Objekten, die erst durch Kommunikation „sichtbar“ werden, erforderlich. Ferner müssen Möglichkeiten entwickelt werden, die Übertragung von Objektattributen an sensorisch schwach ausgestattete Fahrzeuge und die Kommunikation beziehungsweise Kooperation mit anderen Fahrzeugen und mit der Infrastruktur für angepasste Fahrstrategien zuverlässig und ausfallsicher zu ermöglichen. Bereits an der Schwelle der Markteinführung befindliche und zukünftige komplexe Fahrerassistenzsysteme sind beispielsweise aktive automatische Funktionen, wie der Notbremsassistent. Aber auch noch vorrangig assistierende Funktionen wie der Spurwechselassistent, „bird view“, Spiegelerersatzsysteme, Spurhalteassistenten und Abbiegeassistenten leisten einen wichtigen Beitrag und bilden zudem eine unverzichtbare Basis auch für zukünftiges automatisiertes Fahren. In Vorbereitung von hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen sind Erweiterungen der aktuell in Entwicklung befindlichen Systeme um redundante Funktionen und geeignete automatische Entscheidungsalgorithmen erforderlich. Automatische Fahrfunktionen wie das automatisierte

Fahren auf Autobahnen, bieten ein hohes Potenzial zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, werden sich jedoch erst nach 2020 realisieren lassen.

Bei der Kooperation zwischen Fahrzeugen lassen sich zwei Stufen unterscheiden. In der ersten Stufe ist die Bereitstellung von Informationen für andere Verkehrsteilnehmer über im Fahrzeug erkannte Situationen und Zustände zu realisieren. In der zweiten Stufe wird es um die Manöverabsprache mit anderen Verkehrsteilnehmern gehen, um eine zunehmende Automatisierung der Fahraufgabe zu ermöglichen. Dabei ist eine Vielzahl kooperativer Fahrmanöver zu untersuchen, von der geregelten Kolonnenfahrt bis zu kooperativen Überhol- und Einfädelmanövern. Wichtig für die Kooperation ist auch die Übermittlung erkannter Situationen und Objekte (z. B. Fußgänger) an direkt nachfolgende Fahrzeuge. Für eine mittelfristige Verbesserung der Verkehrssicherheit wird es schließlich wichtig sein, schneller eine Durchdringung bereits erfolgreich implementierter Assistenz- und Sicherheitssysteme zu erreichen. Beispielsweise müssen Standards über alle Fahrzeugklassen geschaffen werden und die in Pkw bereits etablierten Systeme schneller in die Flotten der Nutzfahrzeuge übernommen werden.

Um den Menschen als Fahrer oder Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen, müssen neue Möglichkeiten entwickelt werden, den Zustand von Fahrern zu erfassen und zu beurteilen. In diesem Bereich werden beispielsweise Technologien entwickelt, um den tatsächlichen Fitness- oder Gesundheitszustand von Fahrern zu ermitteln, beispielsweise durch „health monitoring“ mittels mobiler Endgeräte zur Messung von biometrischen Werten oder kamerabasierter Gesichtserkennung und Analyse von Augenbewegungen. Die Erkennung von akut kritischen Zuständen, wie beispielsweise Bewusstlosigkeit, kann hier für automatische Sicherheitsreaktionen wie einem kontrollierten Stopp des Fahrzeugs verwendet werden. Die weitere Entwicklung dieser Technologien ist dabei besonders für schwächere oder im Rahmen des demografischen Wandels ältere Verkehrsteilnehmer zu nutzen. Ferner ist eine Strategie zum Umgang mit zunehmender Ablenkung der Fahrer von der eigentlichen Fahraufgabe durch Kommunikation, Entertainment und andere Faktoren zu erarbeiten. Gerade durch die Entwicklung automatisierter Funktionen können hier aber auch Ruhephasen bzw. Freiräume entstehen, die diese Einflüsse auf Phasen konzentriert, in denen der Fahrer von der eigentlichen Fahraufgabe entlastet ist. Wesentlich für die Etablierung dieser Technologien wird eine schrittweise Strategie zur Automatisierung von Fahraufgaben im Rahmen von gesetzlichen Rahmenbedingungen und ein effektives Marketing zur Erhöhung der Akzeptanz durch die Fahrer, insbesondere bezüglich „privacy“ und Datensicherheit, sein.



Durch die Nutzung von vernetzten Informationen der Vorunfallphase in einem integrierten Sicherheitsansatz können noch große Potenziale für den Insassen- und Partnerschutz gehoben werden. Bei zunehmender Ausstattung der Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen bieten deren Sensoren dabei große Synergieeffekte. Neben der Weiterentwicklung der vorausschauenden, bremsenden und ausweichenden Fahrerassistenzsysteme kann dabei die Erfassung des Fahrzeugumfelds und die Verwendung vernetzter Informationen einen großen Beitrag zu einem präventiven Eingriff in der Vorunfallphase und Vermeidung von Unfällen, beispielsweise durch PRE-SAFE-Systeme liefern.

Schließlich ermöglicht die zukünftige optimale Vernetzung auch eine schnelle und optimierte Reaktion nach erfolgten Unfällen, beispielsweise zur Rettung von Personen und zur Vermeidung von Folgeunfällen. Denkbar sind dazu Infrastrukturmeldungen für Rettungsfahrzeuge, neuartige Fahrzeugsysteme speziell für Rettungsfahrzeuge und Möglichkeit für eCall/Telemedizin (Rettungswesen). Relevant ist dabei auch die Übertragung von Informationen über erfolgte Unfälle in die Informationensysteme oder automatischen Steuerfunktionen nachfolgender Fahrzeuge, um Folgeunfälle zu vermeiden.

### 2.5.3 Schlussfolgerungen

Zukünftige Mobilitätskonzepte müssen neben Komfort und Effizienz auch die Sicherheit im Verkehr thematisieren. Um die Verkehrssicherheit weiter signifikant zu erhöhen, ist eine optimale Vernetzung von Informationen und Funktionen sowohl in den Fahrzeugen selber, aber auch aus der Umgebung und unter Berücksichtigung des Faktors Mensch erforderlich. Eine zunehmende Automatisierung wird neue Herausforderungen bezüglich Haftung und anderer Aspekte aufwerfen, jedoch dazu führen, dass der Mensch als Risikofaktor zunehmend von kritischen Situationen

ausgenommen und entlastet wird. In Summe wird die Zusammenführung und Fusion sowie Weiterentwicklung bereits bewährter Fahrerassistenzsysteme, ergänzt durch neue Funktionalitäten und Anpassungen an die Erfordernisse des automatischen und autonomen Fahrens, einen erheblichen positiven Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten. Der Anspruch an teil- oder vollautomatisiert fahrende Fahrzeuge wird dabei jedoch trotz der erwähnten Vorteile gegenüber dem Menschen durch die Vermeidung von Ablenkung und Fahrfehlern sein, dass diese Systeme alle sonstigen Fahrsituationen ebenso gut wie der Mensch meistern müssen. Hierzu sind flexible Reaktionen und Interaktionen notwendig, die die Maschine aus heutiger Sicht noch nicht leisten kann.

Zusätzlich zur weiteren Entwicklung der passiven Sicherheitseinrichtungen sowie Fahrerassistenz- und Automatisierungsfunktionen müssen die Voraussetzungen in der Infrastruktur geschaffen werden, um in einem kooperativen Modell benötigte Informationen austauschen zu können und eine optimale Vernetzung zu ermöglichen. Dabei ist eine ausreichende Durchdringung mit vernetzten Funktionen notwendig, um eine Steigerung der Sicherheit im Gesamtverkehrssystem zu ermöglichen. Positive Effekte werden sich jedoch auch schon in einem Mischverkehr zeigen, in dem die bereits etablierten automatischen Funktionen und die weiterentwickelte Sensorik auch den nicht automatisierten Fahrzeugen zu Gute kommen. Für die Steigerung der Sicherheit im Gesamtsystem Verkehr muss schließlich auch die Kooperation zwischen den verschiedenen Gruppen von Verkehrsteilnehmern optimiert und ermöglicht werden. Vor allem vor dem Hintergrund des Verursacherprinzips von Unfällen müssen in einem vernetzten System Personenkraftwagen, Nutzfahrzeuge, Motorräder und sonstige Verkehrsteilnehmer vernetzt sein und Informationen über den eigenen Zustand und erkannte Umfeldzustände präventiv austauschen. Diese Daten sind durch gemeinsam und standardisiert genutzte Infrastrukturinformationen zu ergänzen. Der Schwerpunkt dabei liegt bei der Unfallvermeidung.

## Literatur

- [1] Roland Berger: Analysen zur Studie – Die digitale Transformation der Industrie – Detailbetrachtung von Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des BDI, 2015, S. 8; [https://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_Analysen\\_zur\\_Studie\\_Digitale\\_Transformation\\_20150317.pdf](https://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Analysen_zur_Studie_Digitale_Transformation_20150317.pdf)
- [2] Lars Reger: Die Autos der Zukunft reden miteinander – aber sicher! – Sichere und flexible Architekturen für Car-to-X-Kommunikation, in Automobil Elektronik, 02/2014, S. 31–33; [http://www.automobil-elektronik.de/wp-content/uploads/sites/7/2014/04/AEL-2\\_14\\_Internet.pdf](http://www.automobil-elektronik.de/wp-content/uploads/sites/7/2014/04/AEL-2_14_Internet.pdf)
- [3] A. Zlocki, P. Themann, F. Fahrenkrog, D. Will, L. Eckstein: Research activities on automated driving in Germany, TRBs Third Annual Workshop on Road Vehicle Automation, San Francisco, USA, 14.–18.07.2014,
- [4] Bundesanstalt für Straßenwesen: MDM – Die Herausforderung: Ein geordneter Markt für Verkehrsdaten. URL: <http://www.mdm-portal.de/> Bergisch Gladbach (30.11.2015)
- [5] Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement. URL: <http://urban-online.org/de/urban.html> (20.04.2015)
- [6] Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE Standard J3016, 2014
- [7] Automated Driving – Concept and Evaluation, 23. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 06.–08.10.2014, L. Eckstein, A. Zlocki
- [8] Technische Universität Dresden (2015): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013. Städtevergleich. URL:[http://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/srv/2013/SrV2013\\_Staedtevergleich.pdf](http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/srv/2013/SrV2013_Staedtevergleich.pdf)
- [9] Frenzel, Jarass, Trommer, Lenz (2015): Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung. URL: [http://www.dlr.de/vf/Portaldata/12/Resources/dokumente/projekte/pakt2/Ergebnisbericht\\_E-Nutzer\\_2015.pdf](http://www.dlr.de/vf/Portaldata/12/Resources/dokumente/projekte/pakt2/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf); Zugriff am 5. Oktober 2015
- [10] Straßenverkehrsunfälle innerhalb geschlossener Ortschaften. URL: [http://www.dvr.de/betriebe\\_bg/daten/unfallstatistik/de\\_innerorts.htm](http://www.dvr.de/betriebe_bg/daten/unfallstatistik/de_innerorts.htm); Zugriff am 5. Oktober 2015
- [11] Dekra Verkehrssicherheitsreport. URL: <http://www.dekra.de/de/verkehrssicherheitsreport-2014>; Zugriff am 5. Oktober 2015
- [12] Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) (2015): Radverkehr in Deutschland. Zahlen, Daten, Fakten. URL: <http://ziv-zweirad.de/uploads/media/radverkehr-in-zahlen.pdf>; Zugriff am 5. Oktober 2015
- [13] CarSharing wächst in der Fläche – mehr als ein Viertel neuer CarSharing-Orte gegenüber dem Vorjahr. Pressemitteilung des BCS vom 16.03.2015; URL: <http://www.carsharing.de/pressemitteilung-vom-16032015>; Zugriff am 5. Oktober 2015

## Der VDI

### Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 155.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als Sprecher der Ingenieure und der Technik gestalten wir die Zukunft aktiv mit. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.  
VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik  
Christof Kerkhoff  
Tel. +49 211 6214-645  
[kerkhoff@vdi.de](mailto:kerkhoff@vdi.de)  
[www.vdi.de](http://www.vdi.de)