



acatech STUDIE

# Neue autoMobilität

Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)



Ein Projekt von acatech



DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



Karsten Lemmer (Hrsg.)

## **Neue autoMobilität**

Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft

Herbert Utz Verlag · München 2016

acatech STUDIE

Ebook (PDF)-Ausgabe:

ISBN 978-3-8316-7270-7 Version: 1 vom 13.12.2016

Copyright© Herbert Utz Verlag 2016

Alternative Ausgabe: Softcover

ISBN 978-3-8316-4503-9

Copyright© Herbert Utz Verlag 2016

acatech STUDIE

# Neue autoMobilität

Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)



Ein Projekt von acatech



DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



## Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte aus Projekten der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter [www.acatech.de/publikationen](http://www.acatech.de/publikationen) zur Verfügung.





# Inhalt

<b>Kurzfassung</b>	<b>6</b>
<b>Projekt</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>12</b>
<b>2 Aktuelle Trends und internationaler Vergleich</b>	<b>18</b>
2.1 Die digitale Transformation der Mobilität	18
2.2 Automatisiertes Fahren und Mobilitätsdienste im internationalen Vergleich	19
<b>3 Nutzungsszenarien</b>	<b>24</b>
3.1 Sicher zu Fuß und per Rad unterwegs	24
3.2 Unterwegs gewonnene Zeit	26
3.3 Neue Flexibilität im öffentlichen Verkehr	29
3.4 Verbesserte Versorgung	31
3.5 Geschäftsmodelle für den vernetzten und automatisierten Straßenverkehr	33
<b>4 Aktionsfelder und Roadmaps</b>	<b>38</b>
4.1 Einführung	38
4.1.1 Architekturveränderung im vernetzten Mobilitätssystem	39
4.1.2 Mischverkehr 2030: Voraussetzung und Herausforderung für den automatisierten Straßenverkehr	40
4.2 Mensch	41
4.2.1 Mensch-Maschine-Interaktion	41
4.2.2 Mensch- und Fahrermodelle	41
4.2.3 Öffentliche Akzeptanz	42
4.3 Fahrzeug	47
4.3.1 Automation	49
4.3.2 Vernetzung	50
4.3.3 Umfeldwahrnehmung	51
4.4 Sicherheit	58
4.4.1 Safety	58
4.4.2 Security	60
4.4.3 Privacy und Datenschutz	62
4.4.4 Exkurs: Testverfahren	64

4.5	Vernetztes Mobilitätssystem	68
4.5.1	Straßenbauliche und verkehrstechnische Infrastruktur	68
4.5.2	Informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur	69
4.5.3	Digitale Karten	74
4.5.4	Verkehrsmanagement	74
4.6	Rahmenbedingungen	79
4.6.1	Allgemeine Rechtslage und Diskussionsstand	79
4.6.2	Verhaltenspflicht	80
4.6.3	Zulassung	80
4.6.4	Haftung	81
4.6.5	Datenspeicher	82
4.6.6	Testbetrieb und Erprobung in Living Labs	82
4.6.7	Beschäftigung und Arbeit	83
4.6.8	Ausbildung und Qualifizierung	84
4.7	Technische Normen und Standards	88
4.7.1	Bedeutung technischer Standardisierung und Normung	88
4.7.2	Gesamtarchitekturen im intelligenten Verkehrssystem	90
4.7.3	Funktionen und Verhalten	91
4.7.4	Kommunikation	92
4.7.5	Informations- und Datensicherheit	93
4.7.6	Entwicklung	94
4.7.7	Zulassung und Überwachung	96
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Roadmaps und Ausblick</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>Praxisbeispiele</b>	<b>105</b>
7.1	Vorhandene Testfelder und Teststrecken	105
7.2	Geplante Testfelder und Teststrecken	106
7.3	Testfelder und Teststrecken mit dem Fokus auf Vernetzung	108
	<b>Über das Projekt</b>	<b>109</b>
	<b>Literatur</b>	<b>110</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>118</b>



## Kurzfassung

Die 40 Institutionen umfassende Projektgruppe Neue autoMobilität aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft beschreibt in der vorliegenden acatech STUDIE den automatisierten Straßenverkehr der Zukunft. Längerfristig ist dieser ein Mischverkehr aus Fahrzeugen mit unterschiedlichen Automatisierungsstufen. Dabei ist die Interaktion von automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen ebenso zentral wie der Umgang mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden. Die Entwicklung bis 2030 wird stufenweise erfolgen. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich, zum Beispiel bei der automatisierten Parkplatzsuche (Valet Parking), kann fahrerloses Fahren bereits 2020 serienreif sein.

Das zugrunde liegende Zielbild beschreibt, wie ein automatisierter Straßenverkehr und fahrerloses Fahren einen wichtigen Beitrag zur Lösung der wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Herausforderungen leisten können, die sich uns gegenwärtig stellen und in Zukunft in Bezug auf multimodale Mobilität stellen werden.<sup>1</sup> Heute ist der automatisierte Straßenverkehr keine ferne Zukunftsvision mehr, sondern durch die zunehmende digitale Vernetzung und Automatisierung technisch bereits machbar. Der Wettlauf um die Technologieführerschaft sowie um die Leitanbieterschaft bei automatisierten Fahrzeugsystemen und den mit ihnen verbundenen Smart Services hat auch im Mobilitätssektor begonnen. Fahrerloses Fahren kann beispielsweise die Grenzen zwischen Individualverkehr und öffentlichem Verkehr neu definieren. Gleichzeitig gilt es, die technologische Entwicklung in Richtung gesellschaftlich erwünschter Ziele zu steuern, damit durch Technologie ein Zuwachs an Lebensqualität geschaffen werden kann.

Die STUDIE zeigt, welche Weichenstellungen erfolgen müssen, um das Zielbild eines automatisierten Straßenverkehrs zu erreichen. So erfordert die Einführung automatisierter Fahrfunktionen aus technischer Sicht beispielsweise eine zuverlässige und robuste Umfeldwahrnehmung. Besonders im Mischverkehr ist es notwendig, dass Intentionen und Gesten anderer Verkehrsteilnehmender interpretiert werden können. Die Vernetzung von

Verkehrsteilnehmenden untereinander und mit der jeweiligen Infrastruktur bietet dabei eine effektive Unterstützung. Darüber hinaus umfassen datenbasierte Mobilitätsdienste sowohl Anwendungen wie Routenplanung, Parkplatzinformationen und Assistenz bei Fahrzeugfernsteuerung als auch Carsharing und Mitfahrvermittlungen („Ride Sharing“). Mit zunehmender Vernetzung und Automatisierung werden Fahrzeugsysteme, Verkehrsinfrastrukturen sowie intelligente Verkehrssysteme (IVS) auch anfälliger für Funktionsausfälle und Angriffe von außen. Daher müssen sich die Systeme robust und widerstandsfähig gegenüber Störungen und unerwarteten Ereignissen verhalten. Diese erforderliche Resilienz kann vor allem durch redundante, lernfähige und adaptive Systeme erreicht werden.

Mit der Perspektive eines zunehmend automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs ist eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig. Für eine zügige Realisierung der unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Neuen autoMobilität und innovativen Geschäftsmodelle sind die bestehenden Rahmenbedingungen entscheidend. Der automatisierte und vernetzte Straßenverkehr, vor allem bis Stufe 4 (vollautomatisiertes Fahren), ist bereits innerhalb unseres bestehenden Rechtsrahmens zum Großteil möglich. Fahrerlose Fahrzeuge der Stufe 5 können hingegen nicht mit dem heutigen rechtlichen Rahmen in Europa in Einklang gebracht werden.

### Rahmenbedingungen für den automatisierten Straßenverkehr

Auch eine Vereinheitlichung auf der Ebene von technischen Normen und Standards ist erforderlich. Dies betrifft sowohl technische Einrichtungen der Kraftfahrzeuge, die Straßeninfrastruktur, die informations- und kommunikationstechnische Verkehrsinfrastruktur als auch den Ablauf autonomer Prozesse, die Fahrzeugentwicklung und Fahrzeugzulassung. Denn Vereinheitlichung ist ein Motor für Innovation: Mit der Etablierung von verlässlichen Rahmenbedingungen für Hersteller und Betreiber von Fahrzeugen werden die Voraussetzungen geschaffen für die Einführung, die Serienproduktion, den Betrieb, die Migration und die Instandhaltung automatisierter Fahrzeuge. Konkret erforderliche Anpassungen im Bereich von Normen und Standards werden von der vorliegenden STUDIE im Detail aufgeführt.

Um den Automatisierungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen und die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur zu verbessern, sind

<sup>1</sup> | acatech 2015.

Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E), Testfelder sowie in die Infrastruktur notwendig. Diese sollten über die im Rahmen der kontinuierlich stattfindenden Investitionen in Verkehrswege hinausgehen. Anzustreben wäre eine Integration der zum Teil bereits bestehenden Initiativen auf EU-, Bundes- und zum Teil Länderebene insbesondere im Bereich der Infrastrukturfinanzierung und deren Koordinierung. Auf diese Weise würde auch Gemeinden und Kommunen eine flächendeckende Ausstattung mit informations- und kommunikationstechnischen Verkehrsinfrastrukturen ermöglicht. Hierbei ist ferner die Förderung von Geschäftsmodellen des öffentlichen Verkehrs oder von innovativen Mobilitätsdiensten zu berücksichtigen, die gerade im ländlichen Raum einen besseren Zugang zu Mobilität ermöglichen können.

## Deutschland als Leitmarkt für intelligente Mobilitätssysteme

Die Neue autoMobilität spielt ebenso eine wichtige Rolle als Wettbewerbstreiber und Exportgut für die deutsche Wirtschaft. Deutschland ist heute bereits Vorreiter bei der Entwicklung und Markteinführung von (teil-)automatisierten Fahrzeugfunktionen. Gleichzeitig verändern sich mit dem Einzug des automatisierten Straßenverkehrs der Zukunft aber auch die klassischen Marktsegmente. Motorisierter Individualverkehr und öffentlicher Verkehr werden sich zu einem neuen und sehr wettbewerbsintensiven Markt für individuelle öffentliche Verkehrsangebote verbinden. Auch Unternehmen, die heute Mobilität nicht als ihr Kerngeschäft ansehen, werden zu wichtigen Anbietern rund um Mobilität werden, wenn sie es schaffen, den Kundinnen oder Kunden beziehungsweise den Nutzenden einen Mehrwert zu bieten. Deutsche Automobilhersteller, aber auch Anbieter von öffentlichen Verkehrsangeboten, werden ihre Position in einem derart veränderten Markt erst noch behaupten müssen.

Auch über die nationalen Grenzen hinweg gilt es, einen Leitmarkt für vernetztes und automatisiertes Fahren zu schaffen, einschließlich attraktiver Möglichkeiten für F&E-Projekte und Pilotprogramme innerhalb Europas. Der Erfolg intelligenter Technologien hängt im Zeitalter des gemeinsamen europäischen Marktes letztlich von der erfolgreichen Zusammenarbeit der europäischen Partner ab: Straßenverkehr endet nicht an Ländergrenzen.

Welche Angebote und welche Form von automatisierter Mobilität sich im Ergebnis durchsetzen, wird nicht nur von den technischen Möglichkeiten bestimmt, sondern auch davon, wie stringent politische Ziele zur Gestaltung eines zukünftigen Mobilitätssystems verfolgt werden. Politische Ziele können durchaus auch Anreize für Hersteller setzen, entsprechende Lösungen auf den Markt zu bringen. Um im Entwicklungsprozess frühzeitig die Nutzenden einzubeziehen und damit die technologische Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion gemeinsam mit den zukünftigen am Verkehr Teilnehmenden zu testen, bietet es sich an, öffentlich zugängliche Testfelder in begrenzten Gebieten oder auf Teilstrecken zu errichten. Im Vordergrund steht dabei der Erfahrungsgewinn für die Nutzenden, zum Beispiel durch teilautomatisierte Carsharing-Flotten in Städten. Gleichzeitig können Ingenieure, Städteplaner und Verkehrsforscher die Feldversuche für die Weiterentwicklung des automatisierten Straßenverkehrs nutzen.

## Handlungsbedarf für den automatisierten Straßenverkehr

Um das Zielbild der STUDIE Neue autoMobilität für das Jahr 2030 umzusetzen und durch die Verknüpfung von Automatisierung und Vernetzung die Lebensqualität und soziale Teilhabe von Menschen zu steigern, die Sicherheit im Verkehr zu erhöhen und dazu beizutragen, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sowie den Wirtschafts- und Beschäftigungsstandort Deutschland langfristig zu sichern, sieht die Projektgruppe Neue autoMobilität konkreten Handlungsbedarf. Dieser konkretisiert sich in neun Schlussfolgerungen:

### 1. Übergeordnete Governance-Struktur für vernetztes und automatisiertes Fahren

Der bereits existierende „Runde Tisch für automatisiertes Fahren“ sollte zum zentralen Umsetzungsgremium des automatisierten und vernetzten Straßenverkehrs weiterentwickelt werden. Darüber hinaus wird empfohlen, die verschiedenen Gremien durch ein interministerielles Programmbüro aufseiten der Bundesregierung und eine Koordinierungsstelle aufseiten der Industrie und Wissenschaft zu unterstützen.

### 2. F&E-Programm mit Begleit- und Wirkungsforschung

Für die zeitnahe Umsetzung des Zielbildes der Neuen autoMobilität ist ein Forschungsprogramm mit drei untergeordneten Förderlinien für die Komponentenentwicklung, für spezifische



Fragen zur Vernetzung sowie für den Bereich der komplexen Systemfunktionen an der Schnittstelle von Automatisierung und Vernetzung zu implementieren.

### 3. Koordination der Living Labs und Schaufenster

Im Zentrum der Einrichtung von Testfeldern und Living Labs steht die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion, welche die Erfahrbarkeit für die Nutzenden, aber auch die Weiterentwicklungen im Bereich der Fahrzeugtechnologien, Stadtplanung oder der Verkehrsforschung ermöglicht. In erster Linie soll dabei das Zusammenspiel der unterschiedlichen Systemkomponenten erforscht und Maßstäbe für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen etabliert werden.

### 4. Zertifizierung für das Verkehrsmanagement von Straßen und Daten

Die Qualitätssicherung der Infrastrukturelemente, die als kritisch für das automatisierte Fahren definiert werden, sollte durch eine Zertifizierungsstelle gewährleistet werden. Die notwendige Qualitätssicherung betrifft Baulastträger für straßenbauliche Standards sowie die Datenzertifizierung.

### 5. Integrierte Infrastrukturförderung für Bund, Länder, Kreise und Kommunen

Ein zentrales Planungs- und Finanzierungsinstrument wird benötigt, um eine zusammenhängende und baulastträgerübergreifende Infrastruktur für automatisiertes Fahren zu schaffen, die eine schrittweise und längerfristige Ausstattung der Städte, Kommunen und Regionen mit der nötigen Infrastruktur für automatisiertes und vernetztes Fahren gewährleistet.

### 6. Internationale Rahmendbedingungen weiterentwickeln

Zur Sicherstellung eines reibungslosen grenzüberschreitenden Verkehrs wird empfohlen, die Rahmenbedingungen wie Testbetrieb, Zulassungsrecht, Beschäftigung und Arbeit sowie Infrastruktur in den Fokus zu nehmen. Diese sind längerfristig auf die Einführung vollautomatisierter und fahrerloser Fahrfunktionen zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern.

### 7. Einheitliche Prinzipien der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich

Deutsche Hersteller, Prüforganisationen und Bundesbehörden sollten darauf hinarbeiten, bei der Entwicklung und der Etablierung von internationalen Standards der sicherheitsrelevanten Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeugbereich eine führende Rolle einzunehmen.

### 8. Normungs-Roadmap Neue autoMobilität

Die Projektgruppe empfiehlt die Umsetzung einer Normungs-Roadmap Neue autoMobilität, um die internationale Harmonisierung voranzubringen und die Einführung von technischen Standards zu beschleunigen.

### 9. Langfristig angelegter gesellschaftlicher Dialog

Automatisiertes Fahren muss durch öffentlich zugängliche Testfelder und einen öffentlich geführten Dialog sowohl zugänglich als auch erfahrbar gemacht werden. Die offene Kommunikation von Risiken und Chancen kann somit, neben der Weiterentwicklung des Rechtsrahmens, Vertrauen in den automatisierten Straßenverkehr schaffen und zu einer fundierten Diskussion beitragen.

Im Sinne der Nachhaltigkeit und eines gesellschaftlich verantwortungsvollen Umgangs mit neuen Technologien muss sich die beschriebene Neue autoMobilität in das bestehende Verkehrssystem und in das diesem zugrunde liegende sozio-kulturelle und rechtliche System Deutschlands einfügen. Die vorliegende acatech STUDIE bietet eine Informations- und Entscheidungsgrundlage für die notwendige Debatte zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, um die Ausgestaltung unseres zukünftigen Mobilitätssystems auszuhandeln.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter:  
[www.acatech.de/neue-automobilitaet.de](http://www.acatech.de/neue-automobilitaet.de)

# Projekt

## Projektleitung

Prof. Dr. Karsten Lemmer, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)/acatech

## Projektgruppe

### AG Forschung und Entwicklung

- Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR (AG-Sprecher)
- Gerrit Bagschik, TU Braunschweig
- Jörg Belz, DLR
- Prof. Dr. Werner Damm, OFFIS
- Björn Filzek, Continental AG
- Dr. Martin Fischer, DLR
- Prof. Dr. Bernhard Friedrich, TU Braunschweig/acatech
- Roland Galbas, Robert Bosch GmbH
- Dr. Tobias Hesse, DLR
- Prof. Dr. Achim Kampker, Deutsche Post DHL Group/ Streetscooter GmbH
- Dr. Steffen Knapp, Opel AG
- Stephan Lapoehn, DLR
- Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig
- Stephan Pfeiffer, DB Mobility Logistics
- Andreas Reschka, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Raúl Rojas, FU Berlin
- Dr. Uli Siebold, Fraunhofer EMI
- Christoph Steimel, Continental AG
- Dr. Alexander Stolz, Fraunhofer EMI
- Dr. Chung-Anh Tran, DB Mobility Logistics AG
- Dr. Dirk Wisselmann, BMW AG

### AG Standardisierung und Normung

- Prof. Dr.-Ing. Eckehard Schnieder, TU Braunschweig/acatech (AG-Sprecher)
- Dr. Gereon Meyer, VDI/VDE-IT
- Dr. Gerd Neumann, DEKRA
- Philipp Niermann, VDA
- Prof. Dr. Klaus Vieweg, Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

### AG Rahmenbedingungen

- Prof. Dr. Achim Kampker, Deutsche Post DHL Group/ StreetScooter GmbH (AG-Sprecher)
- Christian Brunkhorst, IG Metall
- Matthias Krämer, BDI
- Henry Kuhle, VDA
- Michael Lohmeier, Deutsche Post DHL Group/ StreetScooter GmbH
- Stephan Pfeiffer, DB Mobility Logistics AG
- Petra Richter, BDI
- Jan Schepmann, Verband der TÜV e. V. (VdTÜV)
- Dr. Klaus Scheuerer, BMW AG
- Dr. Thomas Schwarz, Audi AG
- Anne Swierzy, Opel AG
- Prof. Dr. Klaus Vieweg, Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

### AG Infrastruktur

- Prof. Dr. Bernhard Friedrich, TU Braunschweig/acatech (AG-Sprecher)
- Dr.-Ing. Uwe Becker, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Manfred Broy, TU München
- Dr. Andreas Festag, TU Dresden
- Prof. Dr. Gerhard Fettweis, TU Dresden
- Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig
- Prof. Dr. Katharina Morik, TU Dortmund
- Dr. Uwe Pützschler, Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG
- Andreas Reschka, TU Braunschweig
- Dr. Thomas Schwarz, Audi AG
- Johannes Springer, T-Systems International GmbH

### AG Geschäftsmodelle

- Michael Bültmann, HERE Deutschland GmbH (AG-Sprecher)
- Dr. Till Ackermann, VDV
- Dr. Andreas Becker, DB Mobility Logistics
- Aline-Florence Buttkeireit, MedienCampus Bayern
- Bernd Fastenrath, HERE Deutschland GmbH
- Dr. Barbara Flügge, SAP SE
- Markus Gützlaff, Munich RE AG
- Christoph Hohenberger, TU München
- Markus Kaiser, MedienCampus Bayern
- Michael Püschner, acatech Geschäftsstelle
- Stefan Schulz, Munich RE AG
- Anne Swierzy, Opel AG
- Dr. Rittmar von Helmholt, Opel AG