



acatech STUDIE

# Neue autoMobilität II

Kooperativer Straßenverkehr und intelligente  
Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)

 Neue  
autoMobilität II

Ein Projekt von acatech

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



Karsten Lemmer (Hrsg.)

## **Neue autoMobilität II**

Kooperativer Straßenverkehr und intelligente  
Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft

utzverlag · München 2019

acatech STUDIE

Ebook (PDF)-Ausgabe:

ISBN 978-3-8316-7507-4 Version: 1 vom 22.10.2019

Copyright© utzverlag 2019

Alternative Ausgabe: Softcover

ISBN 978-3-8316-4724-8

Copyright© utzverlag 2019

acatech STUDIE

# Neue autoMobilität II

Kooperativer Straßenverkehr und intelligente  
Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft

Karsten Lemmer (Hrsg.)



Ein Projekt von acatech



DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



## Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen 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>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>Projekt</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>2 Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte MOBILITÄT 2030+</b>	<b>12</b>
<b>3 Zukunftsbilder der Mobilität</b>	<b>18</b>
3.1 Kooperativer Mischverkehr	18
3.2 Ländlicher Mobilitäts-Hub	20
3.3 Automatisierter und vernetzter Güterfernverkehr	21
3.4 Sektorenkopplung	22
3.5 Verkehrsträgerübergreifend unterwegs	24
3.6 Flächenumnutzung und Parkraummanagement	26
3.7 Gebündelte Paketzulieferung	28
3.8 Intelligente Verkehrssteuerung und prognosebasiertes Routing	30
3.9 Sicherheit und neue Interaktionsmöglichkeiten	32
3.10 Rundumversorgung mit Sharing-Angeboten	34
3.11 Dynamische Fahrspuraufteilung	35
3.12 Ökonomische Verkehrssteuerung	36
<b>4 Die Rolle der Kommunen beim automatisierten und vernetzten Fahren</b>	<b>38</b>
4.1 Daseinsvorsorge und Gemeinwohlverpflichtung	39
4.2 ÖPNV neu denken: hybrider öffentlicher Verkehr	40
4.3 Rechtliche Rahmenbedingungen	41
4.4 Finanzierung	42
4.5 Unterstützung, Vernetzung und Lernen in Experimentierräumen	43



<b>5 Kooperativer Mischverkehr</b>	<b>44</b>
5.1 Umfelderkennung, Kooperation und Verhaltensgenerierung	44
5.2 Funktionale Sicherheit automatisierter, vernetzter Fahrzeuge	52
<b>6 Intelligente Verkehrssteuerung</b>	<b>57</b>
6.1 Prognosebasierte Mehrebenen-Steuerung	58
6.2 Virtuelles Abbild der realen Lage – digitaler Zwilling	60
6.3 Ökonomische Steuerungsmechanismen	61
6.4 Verkehrsdaten	62
6.5 Sektorenkopplung und Verkehrssteuerung	69
6.6 Automatisierter und vernetzter Güterverkehr	71
<b>7 Die gesellschaftliche und internationale Dimension der neuen autoMobilität</b>	<b>76</b>
7.1 Gesellschaftliche Akzeptanz – eine Auswertung repräsentativer Befragungen potenzieller Nutzerinnen und Nutzer	76
7.2 Ethik	83
7.3 Gesellschaftliche Partizipation und Transparenz	84
7.4 Internationaler Vergleich: kulturelle und regulative Aspekte	89
<b>8 Schlussfolgerungen</b>	<b>95</b>
<b>Anhang</b>	<b>100</b>
Anhang A: Abkürzungen und Glossar	100
Anhang B: Abbildungen	102
Anhang C: Tabellen	103
<b>Literatur</b>	<b>104</b>

# Zusammenfassung

Die vorliegende acatech STUDIE *Neue autoMobilität II* beschreibt, wie sich automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sinnvoll in ein erstrebenswertes automatisiertes und vernetztes Mobilitätssystem der Zukunft einbinden lassen. Denn Mobilität eröffnet Chancen und ermöglicht Teilhabe und ist so Voraussetzung zu Selbstbestimmung und individuelle Lebensführung. Gleichzeitig steht sie vor wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Herausforderungen. Innovative Mobilitätssysteme auf Basis von Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung sollen einen entscheidenden Beitrag zu einer Zukunft leisten, in der Ressourcen, Raum, Fahrzeuge und Infrastrukturen effizienter genutzt werden.

## Systemisches Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+

Das systemische Zielbild automatisierte und vernetzte Mobilität 2030+ zeigt auf, wie ein automatisiertes und vernetztes Mobilitätssystem zukünftig gestaltet werden kann. Dabei wird zwischen drei unterschiedlichen Ebenen differenziert: der physischen Ebene des Verkehrsraums, der Ebene des Mobilitäts- und Verkehrsmanagements sowie der Ebene der Werte und Ziele. Die „neue autoMobilität“ steht dabei für leistungsfähige Personenbeförderung und Gütertransporte, eine erhöhte Lebensraumqualität, eine gleichwertige Versorgung mit Mobilitätsdiensten, einen Beitrag zu Klima- und Umweltschutz, die Wahrung von Persönlichkeits- und Datenschutzrechten sowie eine gute Wettbewerbsposition deutscher Hersteller und Anbieter im internationalen Vergleich.

## Die Rolle der Kommunen beim automatisierten und vernetzten Fahren

Kommunen stehen vor der Herausforderung, auch zukünftig die Mobilität ihrer Bürgerinnen und Bürger sicherzustellen, denn Mobilität ist ein wesentlicher Bestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge. Auf dem Weg zu einem integrierten und multimodalen Mobilitätssystem der Zukunft kann automatisiertes und vernetztes Fahren als Mittel zur Lösung dieser Aufgaben entwickelt und eingesetzt werden. Kommunen müssen dafür allerdings dazu befähigt werden, die Verkehrsentwicklung auf

gemeinwohlorientierte Ziele hin zu steuern. Die Verfügbarkeit und Nutzbarmachung von Daten sind dabei Schlüsselfaktoren für ein kommunales Mobilitätsmanagement und eine nutzergerechte Vernetzung von Verkehrsmitteln und Verkehrsteilnehmenden. Denn mit der Digitalisierung des Verkehrssystems lassen sich Mobilitätsbedarfe und -angebote flexibler, bedarfsorientierter und individueller aufeinander abstimmen. Mit dem gemeinsamen Ziel eines integrierten Verkehrskonzepts, in dem verschiedene öffentliche und private Diensteanbieter den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) mit individueller Mobilität nahtlos vernetzen, kann eine insgesamt bessere Mobilitätsversorgung bereitgestellt werden. Multi- und Intermodalität, also die gezielte Inanspruchnahme verschiedener und vor allem umweltfreundlicher Verkehrsträger, spielen in einem hybriden öffentlichen Verkehrssystem (ÖV-System) eine entscheidende Rolle. Ein vernetztes Mobilitätssystem kann dazu beitragen, einer möglichen Verkehrszunahme durch mehrheitlich privat oder individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge entgegenzuwirken. Damit lassen sich auch die Potenziale des automatisierten und vernetzten Fahrens ausschöpfen, um den Ressourcen-, Energie- und Flächenverbrauch zu vermindern.

## Kooperativer Mischverkehr

Vernetzung und Automatisierung schließen immer auch Kooperation mit ein. Kooperation bezieht alle Fahrzeuge von manuell bis automatisiert gesteuert genauso mit ein wie die lokale Infrastruktur, Fußgänger und Fußgängerinnen und Radfahrer. Das Ziel von Kooperation ist es, die Anzahl sicherheitskritischer Ereignisse zu reduzieren und den Verkehrsfluss zu optimieren.

Eine wesentliche technische Voraussetzung für Kooperation ist die Umfelderkennung. Weitere Vorteile verspricht hier eine verteilte kooperative Umfelderkennung, die alle Möglichkeiten der umgebenden Fahrzeuge und infrastrukturbasierter Sensorik zusammenfasst. Um neue Datenquellen zu erschließen, insbesondere für die Fahrwegabsicherung, ist eine herstellerübergreifende Standardisierung von Schnittstellen und abgesicherten architektonischen Konzepten notwendig.

Herausforderungen entstehen beim Zusammenwirken von technischen Systemen und menschlichen Akteuren. Hier braucht es mensch-kompatible und konsistente Interaktionsprinzipien und -designs. Die technische Vernetzung ist eine wichtige Grundlage, um eine kooperative Verhaltensgenerierung etablieren und neue Algorithmen zur verteilten Entscheidungsfindung nutzen zu können. Unabhängig vom Übertragungsstandard bedarf es eines gemeinsamen Protokollmodells, mit dem Kooperation in



unterschiedlichen Situationen und mit unterschiedlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern sicher und nutzbringend realisiert werden kann. Insgesamt müssen Interoperabilität und Konformität mindestens europaweit harmonisiert und in den Zulassungsprozess integriert werden. Unabhängige Prüfeinrichtungen müssen standardisierte und frei zugängliche Testfälle beziehungsweise Testszenarios durchführen und somit einen möglichst reibungslosen und effizienten Betrieb vorbereiten. Eine wesentliche Erkenntnis aus bisherigen Forschungsprojekten ist, dass zum Nachweis der Sicherheit automatisierter und vernetzter Fahrzeuge ein szenarienbasierter Ansatz zugrunde gelegt werden sollte, der potenziell kritische Verkehrssituationen in den Mittelpunkt rückt. Eines der wichtigen Werkzeuge sind in diesem Zusammenhang die Testfelder für automatisiertes und vernetztes Fahren. Darüber hinaus müssen insbesondere mit Blick auf das Thema KI zum Testen von sicherheitsrelevanten Funktionen wie zum Beispiel der Fußgängererkennung Alternativen zum bisherigen Vorgehen entwickelt werden.

## Intelligente Verkehrssteuerung

Um die gesellschaftlichen Ziele im Bereich der Mobilität zu erreichen und den Beitrag von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen im Verkehrssystem zu maximieren, ist eine intelligente Verkehrssteuerung unabdingbar. Während bisher oft noch statische Verkehrssteuerungsmaßnahmen wie feste Ampelschaltungen oder einfache, regelbasierte Steuerungen wie Umleitungsempfehlungen bei Stau genutzt werden, muss die Verkehrssteuerung in Zukunft dynamischer und vorausschauender werden.

Dafür sind die Kenntnis des Mobilitätsangebots und des Mobilitätsbedarfs sowie die Erfassung der Verkehrslage in Echtzeit auf Basis aller dafür verfügbaren Datenquellen insbesondere aus Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugen notwendig. Simulationsbasierte Methoden und Algorithmen der künstlichen Intelligenz erlauben eine zuverlässige Vorhersage, die auch die Auswirkung von Ereignissen, Störungen und Gegenmaßnahmen berücksichtigt. Die vorausschauende, intelligente Verkehrssteuerung sollte als ganzheitliche Mehrebenen-Steuerung aufgebaut sein, die netzweite Steuerung, lokale dynamische Optimierung an Kreuzungen und kooperative Fähigkeiten der Fahrzeuge optimal zu einer resilienten Gesamtsteuerung verbindet. Dabei können auch neue Elemente virtueller Verkehrsinfrastruktur genutzt werden, wie beispielsweise die dynamische Anpassung von Fahrtrichtungen auf flexibel nutzbaren Fahrspuren oder die dynamische Einrichtung von Bedarfshaltestellen.

Den organisatorisch-technischen Rahmen setzt eine leistungsfähige Dateninfrastruktur. Diese benötigt die Integration von IT-Netzwerken und Großdatenspeichern, aber auch Supporteinrichtungen sowie Authentifizierungs- und Zertifizierungsstellen. Wichtig ist, dass die beteiligten Akteure zum Zwecke einer gemeinwohlorientierten Verkehrssteuerung die benötigten Daten ohne Zeitverzögerung und frei zur Verfügung stellen. Fairer Wettbewerb, Teilhabe sowie die Wahrung von Grundrechten und Geschäftsgeheimnissen sind hier wichtige regulative und normative Leitplanken.

Neben den technologischen Erfordernissen ist auch ein entsprechendes Anreizsystem nötig, um eine bessere räumliche oder zeitliche Verteilung der Verkehrsströme oder eine Verlagerung auf andere Verkehrsmittel und einen bewussteren Mobilitätskonsum zu bewirken. Ökonomische Steuerungsmechanismen wie dynamische Straßennutzungsgebühren könnten hier eine wichtige Rolle spielen.

Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen über alle Transportmodi hinweg lässt die vorhandene Infrastruktur in Deutschland an vielen Orten bereits heute an ihre Grenzen stoßen. Digitalisierungs- und Automatisierungsprozesse in der Logistik wie die Einbindung von automatisierten Fahrzeugen in die digitale Supply-Chain, neue ganzheitliche Logistikkonzepte für Städte, Platooning im Güterverkehr und eine bessere Aufteilung auf die Verkehrsträger können einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, dem entgegenzuwirken.

## Die gesellschaftliche und internationale Dimension der neuen autoMobilität

Akzeptanz von automatisiertem und vernetztem Fahren wird in der vorliegenden STUDIE nicht nur unmittelbar, sondern auch mit Blick auf Faktoren betrachtet, die den Nutzen der neuen Technologie in der öffentlichen oder in der individuellen Wahrnehmung beeinflussen. Dazu zählen die Erwartungen und Wünsche der Bevölkerung und verschiedener Nutzergruppen, Techniksicherheit, die Akzeptanz von Komponenten künstlicher Intelligenz (KI) sowie der Umgang mit Daten. Resultate aus Meinungserhebungen zeichnen in Bezug auf diese Fragen ein sehr gemischtes Bild.

In der Diskussion um ethische Leitlinien werden zwei Kernpunkte als essenziell erachtet: zum einen, dass dem Schutz menschlichen Lebens höchste Priorität gebührt, und zum anderen, dass bei etwaigen Personenschäden keine Bewertung von Menschen nach persönlichen Merkmalen stattfinden darf.

Gleichzeitig muss der rechtliche Rahmen die maximale persönliche Entscheidungsfreiheit gewährleisten. Um die öffentliche Akzeptanz zu erhöhen, sollen nutzerorientierte Designs für die Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens gestärkt und die gesellschaftliche Debatte über die Rolle der Ethik gefördert werden.

Wesentlich für eine erfolgreiche Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens ist die aktive Partizipation von Verkehrsteilnehmenden sowie Bürgerinnen und Bürgern. Beteiligung reicht von der Nutzung und Inanspruchnahme von Angeboten bis hin zur Mitwirkung an der Erarbeitung politischer Zielsetzungen und Handlungsempfehlungen. Erlebnis- und Experimentierräume eignen sich ganz besonders, um die Bürgerinnen und Bürger vor Ort in die Gestaltung systemischer Mobilitätslösungen einzubinden.

Im internationalen Vergleich sind zahlreiche Faktoren bestimmend für die weitere Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr. Zu diesen zählen Siedlungsstrukturen, Pkw-Besitz, Prestigegewinn durch Pkw-Besitz, ÖPNV-Angebot und -Nutzung, Technikakzeptanz, Einkommensniveau, die Existenz von Demonstrationsprojekten und Testgeländen, technologische Infrastruktur, industrielle Basis sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen. Es zeigt sich, dass in Bezug auf diese Faktoren große Unterschiede bestehen. Dies erschwert die weitere Entwicklung zum automatisierten Fahren zu prognostizieren.

## Schlussfolgerungen

### Verkehrsträger vernetzen und zusammenführen

Attraktive Mobilitätsangebote und intermodale Reiseketten setzen Anreize für Veränderungen im Mobilitätsverhalten. Für eine optimierte multimodale Verkehrs- und Mobilitätssteuerung sollten alle Verkehrsträger auch kommunikationstechnisch als Teil einer Internet-der-Dinge-Vision zukünftiger Mobilität vernetzt werden. Wichtig für eine unkomplizierte intermodale Verkehrsmittelnutzung sind die Erleichterung von physischen Umsteigesituationen (Hubs) und die Möglichkeit flexibel nutzbarer Flächen für bedarfsgerechte Übergabepunkte.

### Kommunen stärken und fit für die Gestaltung des automatisierten und vernetzten Fahrens machen

Im Sinne der Daseinsvorsorge sollten Kommunen ihre Rolle als Mobilitätsanbieter und Betreiber zentraler Verkehrsinfrastruktur nutzen und Rahmenbedingungen für öffentlich nutzbare Mobilitätsangebote vorgeben können. Kommunen müssen darüber hinaus

ermächtigt werden, von Akteuren der privaten Wirtschaft den Zugang zu fahrzeugseitig erzeugten Informationen zur aktuellen Verkehrslage in angemessener Form einfordern zu können.

### Kooperations- und Interaktionsprinzipien für den Mischverkehr entwickeln

Für einen funktionierenden kooperativen Mischverkehr müssen Forschungseinrichtungen, Hersteller, Zulieferer und beteiligte Behörden gemeinsam geeignete einheitliche Interaktions- und Kooperationsprinzipien entwickeln und einführen. Unter anderem sollten neben den Automatisierungsgraden auch einheitliche Kooperationsstufen definiert werden.

### Zulassungsmethoden für kooperative Fahrzeuge auf den Weg bringen

Eine sichere Einführung von automatisierten vernetzten Fahrzeugen für einen kooperativen Mischverkehr der Zukunft erfordert die Erarbeitung von Verifikations- und Validierungsmethoden für den Nachweis von funktionaler Sicherheit. Wie Erfahrungen aus verschiedenen Domänen zeigen, sollten dazu unabhängige Testeinrichtungen für die Durchführung von Conformance-Tests etabliert werden, um Interoperabilität auch herstellerübergreifend und bei Funktionsupdates sicherzustellen.

### Ein Ökosystem für Mobilitätsdaten schaffen

Ein Großteil der Verkehrsdaten – ob infrastrukturseitig erfasst, durch Fahrzeuge oder auch andere Verkehrsteilnehmer erfasst – befindet sich derzeit noch in unverbundenen Datenspeichern. Nur mit Vernetzung und zielgerichteten Zugriffsmöglichkeiten auf detaillierte Echtzeit-Informationen und Vorhersagen zu Verkehrslage, Mobilitätsnachfrage und Mobilitätsangebot jedoch kann das volle Datenpotenzial zum Nutzen einer verbesserten Verkehrssteuerung ausgeschöpft werden. Zum gemeinwohlorientierten Ziel der Verkehrssteuerung sollen diese Daten frei zur Verfügung stehen. Durch den Aufbau eines Datenökosystems, das zu fairen Bedingungen allen Anbietern und Nutzern offensteht, können innovative Angebote und Anreize für neue Lösungen entstehen.

### Intelligente Verkehrssteuerung einführen und föderale Kompetenzen abstimmen

Für die flächendeckende Umsetzung von raum- und zeitabhängigen Steuerungsstrategien müssen neue politische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Hierfür bedarf es vor allem einheitlicher Regulierungen, um die Zuständigkeiten zwischen Bund, Ländern und Städten abzustimmen. Dies beinhaltet die Ermöglichung von ökonomischen Steuerungsmechanismen wie beispielsweise Roadpricing durch die Kommunen.



### **Erlebnis- und Experimentierräume mit gesellschaftlichem Dialog und Beteiligungsformaten verbinden**

Damit die Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens und die Transformation unseres Mobilitätssystems gelingen, muss der Prozess von einem breiten gesellschaftlichen Dialog und der nötigen Sensibilität für Akzeptanzfragen begleitet werden. Wichtig dabei ist eine starke Einbindung von Kommunen in Forschungsaktivitäten, etwa in Form von Erlebnisräumen und Living Labs, in denen Kommunen ganzheitliche Lösungen für neue Mobilitätssysteme mit allen Beteiligten gestalten können.

### **In Forschung & Entwicklung investieren, Industrie und Wissenschaft stärken**

Um die deutsche Markt- und Technologieführerschaft bei Themen wie Sensorik, Elektronik und Assistenzsystemen zu wahren und strategische Wertschöpfungsketten für vernetztes automatisiertes Fahren aufzubauen, bedarf es zielgerichteter Kooperationen in Forschung, Entwicklung und Demonstration. Für eine frühe Umsetzung ist eine kohärente Koordination der Testfelder und Erprobungsprojekte notwendig. Zu fördernde Forschungsthemen beinhalten Methoden zur Absicherung von Fahrzeugen insbesondere bei Funktionsupdates, Methoden zur verteilten, kooperativen Erfassung und Bewegungsplanung, Algorithmen für eine resiliente, prognosebasierte Mehrebenen-Verkehrssteuerung sowie die Erforschung virtueller Verkehrsinfrastruktur.