

Autonomes Fahren – steuern oder überrollt werden?

Die Aufregung rund ums autonome Fahren scheint in 2018 einen vorläufigen Höhepunkt erreicht zu haben. Teils hochfliegende Erwartungen der vergangenen Jahre machen einer gewissen Ernüchterung Platz. Nichtsdestotrotz sind die Potenziale dieser technologischen Entwicklung derart weitreichend, dass sich Stadt- und Verkehrsplaner und -politiker mit dem Thema auseinandersetzen müssen. Zur Unterstützung fasst der Beitrag jüngere Studien und Prognosen sowie aktuelle Entwicklungen zusammen. Dabei werden laufende Entwicklungen, die Ausbreitung autonomer Fahrzeuge, die Strategien verschiedener Akteure und die Konsequenzen für die kommunale Verkehrsplanung behandelt. Wesentlich sind die Berücksichtigung der Thematik in den Prognosen und die frühzeitige Regelung der Einsatzbereiche autonomer Fahrzeuge.

Excitement about autonomous driving seems to have hit an intermediate peak in 2018. Some high-flying expectations of recent years have given way to a somewhat sober outlook. Nevertheless the potential of this technological development is such that town and transport planners and politicians must keep an eye on it. To support this, the article compiles recent studies and forecasts with current developments, addressing current developments, the spread of autonomous vehicles, strategies of various stakeholders and consequences for municipal transport planning. Essential conclusions are the need to deal with autonomous vehicles in transport related forecasts and to timely define operating conditions.

1 Veranlassung und Zielsetzung

Bei der Abstimmung mittel- und langfristiger Planungsszenarien gewinnen die Themen „Sharing Economy“ und „Autonome Fahrzeuge“ zunehmend an Raum, und diese Tendenz ist bei Verkehrsprognosen, städtebaulichen Planungen und konkreten Infrastrukturmaßnahmen gleichermaßen zu beobachten. Auch wenn man in den Niederungen der Praxis mitunter dazu neigen mag, die einschlägigen Visionen in der Fach- und Tagespresse unter BaaS („Bullshit as a Service“) einzuordnen, verdienen die vor- und nachteiligen Potenziale dieser beiden Themen die aufmerksamen Beobachtungen von Planungspraktikern und politischen Akteuren gleichermaßen, und lassen sich unter Berücksichtigung von Prognosehorizonten über 15 Jahren kaum noch ignorieren. Wir haben diesen Umstand zum Anlass genommen,

allgemein zugängliche Studien und die laufende Berichterstattung hinsichtlich konkreter Hinweise zu absehbaren Entwicklungen und zu konkreten Handlungsempfehlungen zu durchforsten.

In einem Positionspapier des VDV wird bereits 2015 nachdrücklich darauf hingewiesen, dass im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren *„derart große Chancen und Risiken [bestehen], dass eine grundsätzliche Berücksichtigung für alle Marktteilnehmer auf jeden Fall geboten“* scheint [1]. Henzelmann et al. sehen in Sharing Konzepten und den autonomen Fahrzeugen zwei der drei gegenwärtig dominierenden Trends – neben der Elektromobilität – der urbanen Mobilität [2]. Diese und zahlreiche weitere Autoren weisen darauf hin, dass bereits heute die Weichen zu stellen sind, um eine chaotische und nachteilige Entwicklung urbaner Mobilität zu verhindern. Im Rahmen dieses Beitrags wollen wir einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Entwicklungen im Bereich Sharing Economy und Autonomes Fahren geben [2] sowie über die Erwartungen hinsichtlich der Zusammensetzung des motorisierten Verkehrs [3], einen Blick auf die Strategien der industriellen Treiber der Entwicklung werfen [4] und die Konsequenzen für die kommunale und regionale Verkehrsplanung umreißen [5]. Bewusst ausgeklammert haben wir in diesem Beitrag die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt, die ebenfalls Gegenstand umfangreicher Studien sind (z. B. [3, 4]).

2 Laufende Entwicklungen

Die Entwicklung zum autonomen Fahren wurde vom Verband der Automobilingenieure¹ in 5 Stufen eingeteilt, von denen die 3. Stufe, das so genannte „bedingt autonome“ Fahren bereits 2017 in der Erprobung war [2] und kurzfristig bei Oberklassefahrzeugen wie dem Audi A8 verfügbar sein soll [5, 6]. Viele OEMs (Original Equipment Manufacturers) sehen allerdings keinen hinreichenden Mehrwert darin, autonome Fahrzeuge für Stufe 3 zu entwickeln, da der Nutzen und die spezifischen Probleme solcher Systeme, namentlich das „handoff problem“, die Übergabe der Steuerung an einen Fahrer in kritischen Situationen, in keinem attraktiven Verhältnis stehen [7, 5]. Auch sind die planerischen Implikationen der Autonomie auf Stufe 3 nicht mit der des hochautomatisierten Fahrens auf Stufe 4 (ohne regelmäßige Überwachung durch Fahrer, „Eyes off“) bzw. 5 (ohne Fahrer, „Mind off“) zu vergleichen.

Rothfuchs et al. konstatieren, dass es nur wenige belastbare Einschätzungen zur Zeitschiene der Entwicklung autonomen Fahrens gibt [8]. In den zahlreichen Publikationen zum Thema zeichnet sich jedoch sowohl ein zeitlicher Korridor der technischen Entwicklung, d. h. der Angebotsseite ab, als auch die Entwicklung der Nachfrageseite, d. h. der Erwartungen an die und die Bewertung der neuen Technologie. Bei Einführungsszenari-

■ Verfasser

Dipl.-Ing. Timotheus Andreas Klein

t.klein@argus-hh.de

ARGUS Stadt und Verkehr
Admiralitätstraße 59
20459 Hamburg

Sven Altenburg

sven.altenburg@prognos.com

Prognos AG
Schwanenmarkt 21
40213 Düsseldorf

¹ Society of Automotive Engineers SAE, <https://www.sae.org/>

en der Technologien ist zudem zu beachten, dass die Steigerung des Automatisierungsgrades nicht in allen Teilen des Straßennetzes gleich schnell verlaufen wird: Wenig komplexe Umfelder wie Autobahnen werden deutlich früher hohe Automatisierungsgrade ermöglichen als innerstädtische Bereiche oder Landstraßen. Somit ist nicht allein die Frage „Welchen Automatisierungsgrad erreicht die Technologie des Fahrzeugs?“ relevant, für die Nachfrage und die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf Sicherheit, Fahrkomfort und Verkehrsfluss ist viel entscheidender, wann auf welchen Streckentypen welcher Automatisierungsgrad erreicht werden kann.

2.1 Angebot

Nach wie vor gibt es skeptische Stimmen zur Entwicklung des autonomen Fahrens, die selbst langfristig keinen Einsatz von hochautonomen, fahrerlosen Fahrzeugen im urbanen Verkehr erwarten. Als schwer oder gar nicht zu überwindende Hürden wird die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern im Mischverkehr angesehen, die aus Sicherheitsgründen eine betont und mitunter unangenehm defensive Fahrweise autonomer Fahrzeuge bedingt [9]. Auch die Erfordernis umfassender und redundanter Information über die Umgebung und die dafür erforderlichen Mobilfunknetze sowie die generelle Komplexität der Problematik wird als Hindernis angeführt, deren finale Bewältigung sich im Sinne des Pareto-Prinzips unverhältnismäßig aufwendig gestalten werde. In Kenntnis einer Reihe dieser Hürden hält z. B. Kühn es für wahrscheinlich, dass der Betrieb von Roboterfahrzeugen im Mischverkehr Vision bleibt [10]. Die Beurteilung der weiteren Entwicklung hängt dabei offensichtlich vom Standpunkt des Betrachters ab: Während eine Redundanz in der Datenversorgung durch Sensorik im Straßenraum bei den Entwicklern von BMW nicht als sinnvoll erachtet wird – die Fahrzeuge sollen auch „allein klarkommen, wenn die Verbindung gestört ist“, hält man bei Siemens die Interaktion von Fahrzeug und Umfeld im Sinne von C2X für erforderlich, weil „das Auto nicht um die Ecke sehen kann“ [11]. Technologieführer wie die Alphabet-Tochter WAYMO nutzen neben kartografischen Daten unterschiedliche Detektionssysteme – 360°-Kameras, Radar und LiDaR², sowie zusätzliche Sensoren wie z. B. Mikrofone für Polizeisirenen etc., und schaffen damit eine gewisse Redundanz [7]. Die Risikobereitschaft, die die amerikanischen Behörden

dabei an den Tag legen, wird dabei – für den deutschen Beobachter vielleicht überraschend – mit den potenziellen Gewinnen für die Verkehrssicherheit durch autonomes Fahren begründet. Beispielhaft argumentieren Kalra et al., dass es nur dann Sinn ergibt, vor praktischen Tests ein sehr hohes Sicherheitsniveau autonomer Fahrzeuge abzuwarten, wenn man davon ausgeht, dass ebenjene Praxistests nicht wesentlich zur Sicherheit autonomer Fahrzeuge beitragen [12]; außerdem könne das tatsächliche Sicherheitsniveau autonomer Fahrzeuge nur im Straßenverkehr gemessen und mit dem manuell gesteuerten Fahrzeuge verglichen werden (Kalra et al. [13]).

Angesichts solch grundsätzlicher Meinungsverschiedenheiten finden sich erstaunlich viele konkrete Aussagen zur Terminierung technologischer Durchbrüche, die nicht ausschließlich unternehmenspolitischen Erwägungen zuzuschreiben sind. In der Mehrzahl dieser Statements wird jedoch lediglich die generelle Reife und Verfügbarkeit hochautomatisierter Fahrfunktionen thematisiert; differenziertere Aussagen dazu, auf welchen Straßentypen und in welchen Situationen dieser Automatisierungsgrad realisiert werden kann, sind deutlich seltener. Isaac berichtet 2016, dass Autohersteller und Entwickler die Technologie für autonome Fahrzeuge im Zeitraum 2018–2020 für allgemein verfügbar halten, und dass autonome Fahrzeuge ab 2030 marktreif sind [14]. Passend dazu gibt die Intel-Tochter Mobileye an, ab 2020 die erforderliche Hardware (EyeQ5) für Autonomie der Stufen 4 und 5 zu liefern [15]. WAYMO berichtet bereits heute 5 Mio. im öffentlichen Straßennetz autonom, wenn auch unter menschlicher Überwachung gefahren Meilen [7] und startete im Herbst 2018 Tests mit 36 vollautonomen (Stufe 4 bis 5) Fahrzeugen in Santa Clara County, Kalifornien, die bis zu 105 km/h schnell fahren dürfen, sowie in Phoenix [16], wo noch 2018 ein Ride-Hailing Service mit fahrerlosen Fahrzeugen gestartet werden sollte [17]. Einer Studie des DLR zufolge ist das vollautomatisierte Fahrzeug, das die Bedienung in allen Fahrsituationen von Tür zu Tür ermöglicht und auch in der Lage ist, ohne Fahrer Wege zurückzulegen, nicht vor 2028 zu erwarten [18]. Dies deckt sich mit der Einschätzung des ERTRAC³, nach der Stufe 4 in Pkw ab ca. 2026, Stufe 5 nach 2030 zu erwarten sei [19]. Die EU-Kommission erwartet, dass unter der Voraussetzung regulatorischer und sonstiger Rahmenbedingungen ab 2020 die ersten selbstfahrenden Fahrzeuge auf gewerblicher Basis verfügbar sein können [20]. Die SB

Drive Corporation (SoftBank, Japan) plant die Einführung selbstfahrender Busse bis 2020, die derzeit in Pilotprojekten erprobt werden [21]. Henzelmann et al. erwarten, dass Autonomie der Stufen 4 und 5 bis 2030 serienmäßig eingeführt ist [2]. Hinsichtlich der Einsatzbereiche bleiben viele Studien jedoch vage. Bisher operieren die Pilotprojekte im öffentlichen Raum nur in sehr beschränkten Bereichen [22], teilweise nur auf vorgegebenen Strecken [23].

In Bild 1 sind die vom Verband der Automobilingenieure⁴ definierten Stufen bedingt (III) und hochautomatisierten (IV, V) Fahrens über einem Zeitstrahl bis 2050 aufgetragen. Die Punkte der Abbildung repräsentieren den Zeitpunkt, ab dem die genannten Autoren von der Marktreife bzw. Verfügbarkeit der jeweiligen Stufe ausgehen. Keine Publikation erwartet die Realisierung autonomer Fahrzeuge der Stufe 3 später als 2020. Grundsätzlich scheinen die Voraussetzungen für die mittelfristige Einführung autonomer Fahrzeuge gegeben. Einige Beobachter erwarten allerdings, dass sich die Realisierung hochautonomer Fahrzeuge weiter verzögern und dass sich der Hype in 2019 erledigen wird (z. B. [24]), und auch Waymo-CEO John Krafcik rechnet nicht damit, dass sich vollautonome Fahrzeuge kurzfristig und umfassend durchsetzen [25].

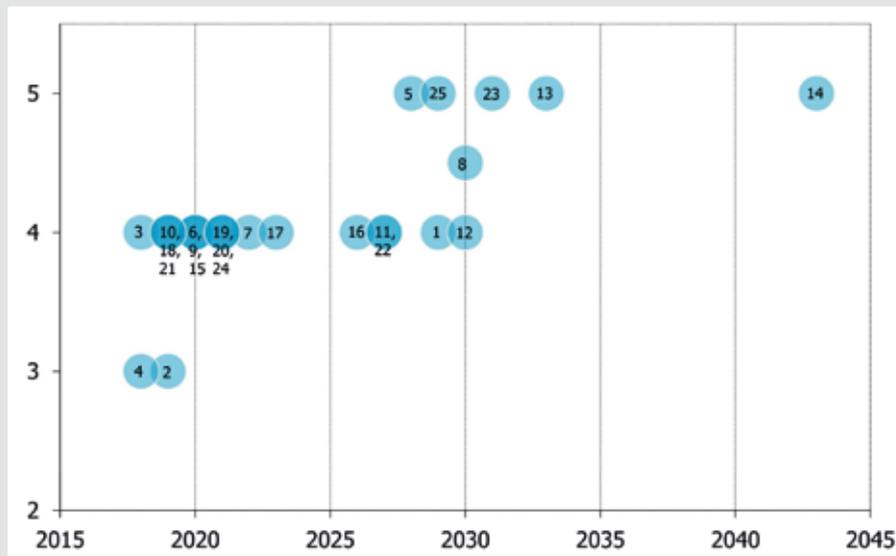
Die Relevanz des autonomen Fahrens für die kommunale Verkehrsplanung und -politik ergibt sich offensichtlich nicht allein aus einem neuen Fahrassistenzsystem, sondern aus dem Auftritt einer neuartigen Transportdienstleistung mit kaum absehbaren Netzwerk- und Skaleneffekten. Henzelmann et al. beziffern beispielsweise den Preisvorteil autonomer zu konventionellen Taxen auf 60 % [2], sodass die autonomen Taxen preislich mit gegenwärtigen Carsharing- und Mietwagen-Anbietern konkurrieren und diese ersetzen könnten. Als moderne Form des Anrufsammeltaxis können Ride-Hailing, -Pooling oder -Sharing-Services möglicherweise noch günstiger und attraktiver operieren. Kurzfristig ist daher mit dem vermehrten Auftritt von Car- und Ridesharing-Diensten zu rechnen. Allein in Hamburg bietet IOKI⁵ einen On-Demand ÖPNV in den Stadtteilen Osdorf und Lurup an, Clevershut-

² Light Detection and Ranging, ein 360°-Laser-„Sonar“

³ European Road Transport Research Advisory Council

⁴ Society of Automotive Engineers SAE, <https://www.sae.org/>

⁵ <https://vhhs.de/ioki-hamburg/>



1	VDA 2018 – Fahren in der Stadt	(VDA 2018)
2	VDA 2018 – Fahren auf der Autobahn	(VDA 2018)
3	WAYMO 2018	(Shepardson & Sage 2018)
4	Zmud et al./NCHRP 2017	(Zmud, Goodin, Moran, Kalra & Thorn 2017)
5	Zmud et al./NCHRP 2017	(Zmud, Goodin, Moran, Kalra & Thorn 2017)
6	Toyota/SoftBank 2018	(Toyota 2018)
7	VW/MobilEye/Champion 2018 (kommerzieller RideHailing Service in Israel)	(BusinessWire 2018)
8	Roland Berger 2017	(Henzelmann, Frei, Schönberg, Wunder & Neuenhahn 2017)
9	Europäische Kommission	(European Commission 2018)
10	PB/Isaac 2016: Technologie verfügbar	(Isaac 2016)
11	ERTRAC 2017 – Pkw Stufe 4	(ERTRAC 2017)
12	ERTRAC 2017 – Lkw Stufe 4	(ERTRAC 2017)
13	Milakis et al. 2017 – Szenarien schnelle technolog. Entwicklung	(Milakis, Snelder, van Arem, van Wee & Correia 2017)
14	Milakis et al. 2017 – Szenarien langsame technolog. Entwicklung	(Milakis, Snelder, van Arem, van Wee & Correia 2017)
15	DCI 2017 – Erwartungen ÖPNV-Unternehmen	(Barthelmes, Czeh, Guo, Landfester, Lönne & Schumann 2017)
16	DCI 2017 – Erwartungen OEM	(Barthelmes, Czeh, Guo, Landfester, Lönne & Schumann 2017)
17	DCI 2017 – Erwartungen Städte	(Barthelmes, Czeh, Guo, Landfester, Lönne & Schumann 2017)
18	DCI 2017 – Erwartungen Mobilitätsdienstleister	(Barthelmes, Czeh, Guo, Landfester, Lönne & Schumann 2017)
19	FORD 2018	(Holland 2018)
20	Toyota/Uber 2018	(Wilkens 2018)
21	Baidu	(Baidu, Inc. 2018)
22	Kindig, Beth	(Kindig 2018)
23	Kindig, Beth	(Kindig 2018)
24	Viereckl et al./pwc	(Viereckl, Krings, Weber, Seyfferth, Deppner & Bühnen 2018)
25	Viereckl et al. / pwc	(Viereckl, Krings, Weber, Seyfferth, Deppner, & Bühnen, 2018)

Bild 1: Technologischer Fortschritt autonomer Fahrzeuge – aktueller Stand und Erwartungen (*Level IV: „Eyes Off“; V „Mind Off“)

tle⁶ einen „individuellen Chauffeurservice mit einem neuartigen RidePooling-Prinzip“ und MOIA⁷ bereitet den Start eines aus Kundensicht vergleichbaren Ride-Sharing-Angebots vor. Mittelfristig ist mit verstärktem Auftreten von Mitfahrdiensten wie Uber und Lyft zu rechnen, nachdem das BMVI die rechtlichen Voraussetzungen dafür bis 2021 schaffen will [36]. Diese stehen in unmittelbarer Konkurrenz zum Taxi und haben dieses vielerorts ersetzt. Uber bietet in Deutschland unter anderem Fahrdienste von und zum Flughafen Berlin-Tegel an, wobei aus einer Reihe unterschiedlicher Fahrzeugtypen gewählt werden kann⁸. Das Angebot von Uber wird dort zum Teil von Autovermietern organisiert [37]. Eine besondere Form des Carsharings stellt das Peer to Peer (P2P) – Carsharing dar, bei dem Privatpersonen ihre Fahrzeuge verleihen.

2.2 Nachfrage

Die Nachfrage nach autonomen Fahrzeugen ergibt sich mittelbar aus dem Interesse von einzelnen Verkehrsteilnehmern, ihre Mobilitätsbedürfnisse preiswert und komfortabel zu decken, und aus dem gesellschaftlichen Interesse, nachteilige Effekte der Verkehrsabwicklung zu reduzieren.

Zwar sieht z. B. das ERTRAC noch 2017 eine besondere Herausforderung in der Akzeptanz autonomer Fahrzeuge [19], und einer Studie des ADAC zufolge [11] glauben 45 % der deutschen Autofahrer nicht an die Verlässlichkeit der Fahrzeugtechnologie oder haben Angst vor Hackern. Dieser Anteil lag 2017 allerdings noch bei 72 % [38], und schon damals (2017) gaben 53 % der befragten Europäer an, die Anschaffung eines autonomen Fahrzeugs zu erwägen [4]. Dementsprechend halten es 38 % der Befragten einer Studie der DHBW Ravensburg für wichtig, dass sich Autohersteller mit autonomem Fahren beschäftigen; 41 % geben dies für Mobilitätsdienstleistungen an [39]. Weitere stated preference Befragungen versprechen vor diesem Hintergrund keine bahnbrechenden Erkenntnisse mehr: An grundsätzlichen Vorbehalten gegenüber der Technologie wird die Verbreitung autonomer Fahrzeuge wohl nicht scheitern. Es ist allerdings zu bezweifeln, dass der motorisierte Verkehr im öffentlichen Straßenraum in absehbarer Zukunft vollständig autonom wird.

Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen auf

⁶ <https://www.clevershuttle.de/>

⁷ <https://www.moia.io/de/blog/2018/endlich-zuhause/>

⁸ <https://www.uber.com/de/airports/txl/>

die Verkehrssicherheit, auf die z. B. [8] noch hinweisen, treten zunehmend hinter die Erwartung bzw. Forderung zurück, den Straßenverkehr durch autonome Fahrzeuge sicherer zu machen [18] [29]. Die herrschende Meinung in den USA ist bereits heute, dass die Verzögerung oder Behinderung von Tests mit autonomen Fahrzeugen die Verminderung von Sicherheitsrisiken im Straßenverkehr weltweit verzögert [3]. Diese Auffassung stützt sich unter anderem auf Modelle zur Prognose der im Straßenverkehr getöteten Personen. Kalra et al. verwenden ein Modell („MAVS“ = RAND Model of Automated Vehicle Safety) zur Entwicklung von 500 unterschiedlichen Szenarien zur Einführung des autonomen Fahrens, die sich hinsichtlich technologischem Fortschritt, Entwicklung der Flottenzusammensetzung und der Fahrleistung u. a. Variablen unterscheiden. In der weitaus überwiegenden Zahl der Szenarien sinkt die über die Jahre kumulierte Zahl der Getöteten bei einer früheren Einführung des autonomen Fahrens erheblich, trotz des bei einer früheren Einführung niedrigeren Sicherheitsvorsprungs der autonomen Fahrzeuge [12].

Ein attraktives und preiswertes Angebot zur Bedienung von Mobilitätsbedürfnissen wird in Netzwerken zum Car- und Ridesharing gesehen. Autonome Carsharing – Fahrzeuge könnten automatisch zu den richtigen Zeiten in Gebieten mit bekanntermaßen hoher Nachfrage bereit gestellt werden [31]. Die Zugangszeiten könnten sich verbessern, wenn das benötigte Fahrzeug – des gewünschten Fahrzeugtyps – zur gewünschten Zeit zum Einsatzort beordert werden kann [18]. Nutzer von P2P-Carsharing – Netzwerken benennen unter anderem den Vorteil der Verfügbarkeit eines Fahrzeugs in der unmittelbaren Nachbarschaft [40], die unter Umständen nicht zu den Geschäftsgebieten des Free-Floating Carsharing Anbieter gehört und auch keinen wirtschaftlichen Einsatz stationsgebundenen Carsharings erlaubt.

In mittleren und kleinen Städten sowie im ländlichen Raum könnte die Erschließung auf den ersten bzw. letzten Metern bis zum ÖPNV-Knotenpunkt sichergestellt und verbessert werden [41] – nicht zuletzt aufgrund der infolge Personaleinsparung verminderten Betriebskosten [11]. Vor allem Personen ohne Führerschein, Kinder und Jugendliche, Senioren und Mobilitätseingeschränkte würden von entsprechenden Mobilitätsangeboten profitieren [1, 42, 21]. Insoweit autonomes Fahren die Freizügigkeit mobilitätseingeschränkter Personen unterstützt, könnten

diese grundsätzlich eine Berechtigung zu derartigen Mobilitätsformen geltend machen [43]. In Japan, wo sich die Problematik einer überalternden Gesellschaft und schwer erschließbarer Regionen noch drängender stellt, kooperieren bereits heute NGOs mit Einzelhändlern und Krankenhäusern, um lokale Bussysteme bereit zu stellen [21]. Shinzo Abe wird zitiert, zur Abhilfe bei den Problemen Arbeitskräftemangel und Mobilitätseinschränkungen bis zum Jahr 2020 autonomes Fahren einführen zu wollen [21]. Aber nicht nur für die Alltagsmobilität können autonome Fahrdienste ein konkurrenzfähiges Angebot darstellen: auch für lange Strecken ist der Einsatz denkbar [31] und attraktiv: Tür zu Tür, mit Gepäck, ohne Umsteigen, über Nacht.

Je nachdem, wie sich die Handhabung autonomer Mobilität auf Anbieter- und Kundenseite entwickelt, sind zahlreiche weitere Begleiterscheinungen im Verkehrsfluss und bei den Verkehrsemissionen denkbar. Zwar können autonome und vernetzte Fahrzeuge Unfälle, Stau und Luftverschmutzung durch koordinierte und effiziente Fahrweise reduzieren, jedoch kann preiswertere und komfortablere Mobilität auch zu zunehmender Zersiedelung, wachsender Verkehrsleistung und am Ende wieder zu mehr Staus und Emissionen führen [5]: wenn der Preis als limitierender Faktor der Reisedistanzen wegfällt, wird er durch Fahrzeit bzw. Stau ersetzt [44].

Die EU-Kommission postuliert aktuell vor allem die Potenziale des autonomen Fahrens, Mobilität sicherer, sauberer, effizienter und allgemein verfügbarer zu machen [29]. Auch für den Güterverkehr werden überwiegend positive Effekte, z. B. hinsichtlich Energieverbrauch, Sicherheit etc. erwartet [4], die Daimler jüngst relativiert hat [45]. Aktuelle Modellierungen wie etwa von Busch et al. legen allerdings nahe, dass die erhofften positiven Effekte erst ab einem sehr hohen Anteil automatisierter Fahrzeuge eintreten werden. Im Mischverkehr mit hohen Anteilen nicht-kommunizierender Fahrzeuge sind „im Mittel leichte Kapazitätsverluste zu erwarten“ [46].

3 Ausbreitung

Ein Meilenstein in der Entwicklung hochautonomer Fahrzeuge besteht darin, dass der Betrieb hochautonomer Fahrzeuge durch Privatpersonen und kleine Unternehmen möglich ist. Ab diesem Zeitpunkt dürfte sich die Ausbreitung autonomer Fahrzeuge erheb-

lich beschleunigen. Dabei ist aufgrund der neuartigen Einsatzmöglichkeiten autonomer Fahrzeuge nicht davon auszugehen, dass sich die Ausbreitung so vollzieht wie die anderer Fahrzeugtechnologien: während z. B. die Elektrifizierung der Pkw-Flotten ohne erhebliche regulatorische und steuerliche Unterstützung kaum vorankommt, verheißen autonome Fahrzeuge unabhängig von der lokalen Förderkulisse erhebliche und offensichtliche Vorzüge in den Punkten Verkehrssicherheit, Komfort und ökonomische Effizienz. Erhöhte Anschaffungskosten können durch geteilte Nutzung in Ridesharing-Flotten aufgefangen werden. Damit würde sich die Einführung entsprechender Dienste zunächst in großen Metropolen entwickeln, in denen sich die dazu passenden Märkte finden [42]. McKinsey mutmaßt 2016, dass 2030 1 von 10 verkauften Fahrzeugen ein geteiltes sein könnte [47].

Viele der publizierten Erwartungen zur Ausbreitung autonomer Fahrzeuge platzieren den technologischen Durchbruch mittelfristig (5 bis 15 Jahre) und die darauffolgende Ausbreitung autonomer Fahrzeuge bis zu einem relevanten Anteil an den Fahrzeugflotten und der Verkehrsleistung langfristig (über 15 Jahre). Dabei liegen die konkreten Erwartungen noch sehr weit auseinander. Die von Nieuwenhuijsen befragten Experten erwarteten die Markteinführung autonomer Fahrzeuge im Mittel um das Jahr 2033, und einen Marktanteil von 10 % um 2048 [48]. Isaac hingegen ging 2016 von einer wachsenden Zahl autonomer Fahrzeuge ab 2025 – 2030 aus [14], und McKinsey&Company hielt es 2016 für möglich, dass 2030 bis zu 15 % der verkauften Fahrzeuge autonom sein könnten. Die Bandbreite der diesbezüglichen Erwartungen und Pläne zeigt Bild 2.

Allgemeine Aussagen zum Anteil autonomer Fahrzeuge am Modal Split oder an der Verkehrsleistung gibt es nur wenige, da hierbei zahlreiche örtliche Faktoren zu berücksichtigen sind. Raposo et al. arbeiten mit 3 Szenarien – langsame, mittlere und schnelle Einführung autonomer Fahrzeuge – und geben für 2025 den Anteil hochautonomer Fahrzeuge in Bezug auf die Pkw-Fahrleistung mit 0 %, 15 % und 58 %, für 2050 4 %, 88 % und 99 % an [4]. Die EU-Kommission strebt bis 2030 einen Anteil autonomer Fahrzeuge am Modal Split in Städten von 25 % an [29]. Für Prognosehorizonte jenseits des Jahres 2030 ist daraus zu schlussfolgern, dass die möglichen Auswirkungen autonomen Fahrens zumindest verbal thematisiert werden sollten.

4 Strategien verschiedener Akteure

4.1 ÖPNV und Verkehrsunternehmen

Die Auswirkungen autonomen Fahrens auf den ÖPNV und die Verkehrsunternehmen hängen davon ab, ob die geteilte Mobilität in Zukunft als private Dienstleistung oder wie bisher als Grundversorgung und Gemeinschaftsaufgabe durch regional organisierte Verkehrsverbünde und -unternehmen verstanden und organisiert wird. Zunächst einmal sollte die erwartete Aufwandssenkung um bis zu 60 % bei Bussen im ÖPNV durch Einsparung von Fahrpersonal [2] eine Verbesserung des Angebots bei gleichbleibenden Kosten ermöglichen. Diese Angebotsverbesserungen könnten in Shuttleverkehren, kürzeren und flexibleren Taktzeiten durch den Einsatz kleinerer Fahrzeuge und einer besseren spontanen Anpassung des Angebots an die Nachfrage bestehen, was durchaus die Ansprache neuer Kundengruppen ermöglichen könnte [31]. Bei ungebremster privatwirtschaftlicher Konkurrenz könnten die angestammten Unternehmen des ÖPNV jedoch auch in einen Teufelskreis aus rückläufigen Fahrgastzahlen zugunsten autonomer Taxiflotten und steigenden Fahrpreisen geraten [2]. Der VDV hat sich bereits 2015 in einem Positionspapier [1] mit dem Thema auseinandergesetzt, in dem diese möglichen Entwicklungspfade beschrieben werden. Aktuell gehören die Verkehrsunternehmen in Deutschland zu den Vorreitern der autonomen Mobilität (Olli, HEAT, etc.), wobei parallel mit Car- und RideSharing-Konzepten experimentiert wird (switchh, Ioki, Berlkönig ...).

4.2 Neue Dienstleister

Als neuartige Dienstleister seien hier die Shared Mobility Anbieter und Transportation Network Companies (TNC) zusammengefasst, die sich in Reinform dadurch auszeichnen, Fahrdienstleistungen auf Abruf zu vermitteln, ohne sich selber mit Fahrzeugen oder Fahrern zu belasten – was aus der Perspektive von Investoren besonders vorteilhaft zu bewerten ist [51]. Fahrgäste suchen ad hoc eine Fahrdienstleistung per Smartphone-App und bekommen darauf verschiedene Angebote, allein oder gemeinsam mit anderen Fahrgästen zum Ziel gefahren zu werden. Da die Recherche- und Buchungsvorgänge eines Nutzers über eine überschaubare Anzahl von Smartphone-Apps vollzogen werden, gehen die neuen Dienstleister wie Uber, Lyft, Maven, Didi etc. von erheblichen Netzwerkeffekten

aus: Langfristig soll die Alltagsmobilität über einen „One-Stop-Mobilitätsshop“ organisiert werden [35, 52]. Der Gewinn liegt dabei in der Vermittlung von Mobilitätsdienstleistungen sowie der Sammlung und Verwertung von Nutzerdaten. In den USA gehört mit WAYMO einer dieser neuartigen Dienstleister zu den Technologieführern. Ähnlich wie Alphabet bzw. WAYMO in den USA ist in China der Internetkonzern Baidu im Bereich des autonomen Fahrens aktiv. In Zusammenarbeit mit der SoftBank-Tochter SB Drive und dem Fahrzeugbauer King Long plant Baidu ab 2019 hochautonome Minibusse vom Typ Apolong in Tokyo einzusetzen [34].

Die Fahrzeuge können langfristig von lokalen privaten und gewerblichen Akteuren bereitgestellt werden, wie dies bei den genannten Shared Mobility Anbietern teilweise schon heute der Fall ist. Das können Taxi-, Mietwagen und Carsharing-Unternehmen sein, aber auch private Personen: „Die Verschwendung, die das Auto darstellt, wenn es 95 % der Zeit nur rumsteht, ist lächerlich. Also will man die Möglichkeit haben, es zu versilbern“ erklärte die damalige Chefin von Maven im vergangenen November [53]. P2P – Carsharing Teilnehmer in Deutschland äußern ähnliche Motive [40].

4.3 Original Equipment Manufacturers

Für Massenhersteller stellt sich die Frage, wie ein Markt für autonome Flottenfahrzeuge erfolgreich bedient oder kontrolliert werden kann. Zahlreiche regionale Kooperationen und wechselseitige Unternehmensbeteiligungen erwecken den Anschein, dass sich nachhaltige Strategien erst noch herauskristallisieren müssen. Einige Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit oder Repräsentativität:

- General Motors arbeitet mit GM Cruise an autonomen Fahrzeugflotten. Mit Maven gehört GM auch ein Carsharing-Unternehmen, eine Ausweitung des Geschäftsfeldes auf Fahrdienste wie Uber ist bisher jedoch nicht vorgesehen [53], eine aktive Kooperation mit Lyft besteht zur Zeit nicht [54].
- Daimler und die BMW-Gruppe sind bereits seit mehreren Jahren als Carsharing-Anbieter aktiv und planen gemeinsamen den strategischen Ausbau ihrer „bestehenden Angebote für On-Demand-Mobilität in den Bereichen Carsharing, Ride-Hailing, Parking, Charging und Multimodalität“ [55]. Beide halten gemeinsam mit Volkswagen Anteile am Kartendienst HERE.

- Volkswagen entwickelt Technologie zum autonomen Fahren relativ eigenständig und bietet mit dem Staupilot kurzfristig bedingt automatisiertes Fahren (Stufe 3) in Stausituationen auf Autobahnen bis 60 km/h an, beim dem der Fahrer das System nicht dauerhaft überwachen muss. Das VW-eigene Mobilitätsunternehmen MOIA startet 2018 in Kooperation mit Hamburger Hochbahn HHA einen „Shuttle-on-Demand-Service mit umweltfreundlichen Elektrofahrzeugen“ [56]. Für Israel haben Volkswagen, Mobileye und Champion Motors einen ersten Ride-Hailing Service „New Mobility“ mit autonomen Fahrzeugen für 2019 angekündigt, ab 2022 soll eine kommerzielle Anwendung starten [28].
- Ford hat 2016 seine Aktivitäten im Bereich vernetzter und autonomer Fahrzeuge und neuer Mobilitätsdienstleistungen in einer eigenen Tochterfirma gebündelt und eine Reihe von Firmen für Sensortechnik, Kartendienste und künstliche Intelligenz aufgekauft [54]. Bisher testet Ford Technologie autonomer Fahrzeuge in Miami, Pittsburgh, Detroit und Washington D. C. [32], in Kooperation mit Baidu soll Ende 2018 ein Projekt zum Test von autonomen Fahrzeugen in Peking und evtl. weiteren chinesischen Großstädten starten. Am Ende der Testphase soll Level-4-Autonomie stehen [57].
- Toyota plant Machbarkeitsstudien und praktische Tests mit dem e-Palette Concept u. a. in den USA in den frühen 2020er-Jahren. Partner sind u. a. Amazon, Didi, Mazda, Pizza Hut und Uber [27]. Bis 2021 will Toyota zusammen mit Uber eine autonome Ridesharing-Flotte auf die Straße bringen [33].

Eine interessante Zusammenstellung über die Aktivitäten bekannter Unternehmen im Bereich des autonomen Fahrens hat CB INSIGHTS online gestellt [54].

5 Konsequenzen für die kommunale Verkehrsplanung

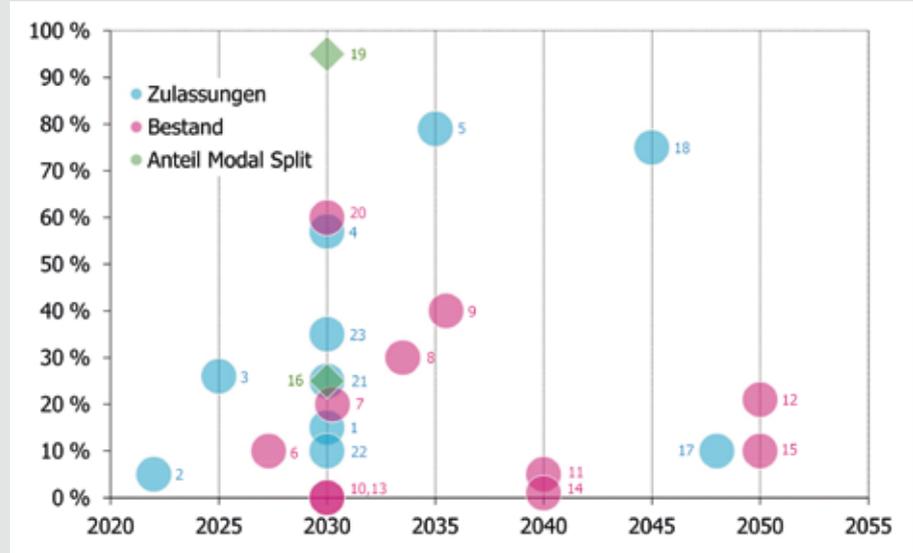
5.1 Politische Rahmensetzungen

Derzeit untersagt die deutsche Rechtslage (StVO) hohe Automatisierungsstufen [49]. Die von Barthelmes et al. Befragten sehen dem entsprechend rechtliche Hindernisse als größte Hürde des autonomen Fahrens an [31]. Regulatorische und politische Aspekte zählen auch nach Einschätzung von Milkis et

al. zu den einflussreichsten Treibern der Entwicklung autonomer Fahrzeuge [30]. Zu den zahlreichen offenen Fragen zählen so grundsätzliche Themen wie die Notwendigkeit spezieller Fahrerlaubnisse zur Nutzung oder Überwachung von autonomen Fahrzeugen [18], die rechtliche, technische und personelle Befähigung der Polizei, autonome Fahrzeuge zu kontrollieren [43] bis hin zu ethischen Fragestellungen, die zuletzt sehr öffentlichkeitswirksam mit einer ‚moral machine‘ untersucht wurden [58]. Das Verkehrsministerium der USA fokussiert sich vor allem auf eine zügige Modernisierung bestehender bzw. Eliminierung veralteter Regularien, die die Entwicklung autonomer Fahrzeuge behindern oder keine elementaren Sicherheitsbedürfnisse adressieren. So weit wie möglich wird die Entwicklung freiwilliger und anpassungsfähiger technischer Standards unterstützt [3]. Auch dort ist man jedoch von einem hinreichenden rechtlichen Rahmen für den Regelbetrieb weit entfernt [6].

Das US-Verkehrsministerium hat bereits im September 2016 eine Richtlinie zum automatisierten Fahren der Stufen 3 bis 5 veröffentlicht, die u. a. eine 15-stufige Sicherheitsbewertung beinhaltet, sowie Empfehlungen für die Handhabung der Thematik auf administrativer Seite – z. B. durch Regularien und Gesetzgebung zu Testfeldern und zur Genehmigung autonomer Fahrzeuge [59]. Ein wesentlicher Baustein der Richtlinie mit verkehrsplanerischem Bezug sind die Operational Design Domains, d. h. abgegrenzte (geofenced) Regionen, in denen das Fahrzeug autonom operieren kann. Ziele außerhalb dieser Regionen werden nicht angefahren. Eine Operational Design Domain kann auch nach Umweltfaktoren (Wetter, Tageszeit etc.) begrenzt werden – bisher kommt keins der autonomen Systeme mit schlechtem Wetter klar [60]. ODDs zählen in den Richtlinien der US-Bundesbehörde für Straßen- und Fahrzeugsicherheit (NHTSA) zu einem der wesentlichen 12 Sicherheitselemente und werden dort durch die Straßenklassifikation, die geographische Ausdehnung, die Bandbreiten der Geschwindigkeit, die Umwelteinflüsse und andere Faktoren definiert [61].

Es liegt allerdings für die meisten Autorinnen und Autoren auf der Hand, dass es die Politik nicht bei der Reglementierung von Pilotprojekten belassen kann. Isaac fordert bereits 2016, dass die Politik die Rahmensetzungen für die Steuerung möglicher Auswirkungen auf die Fahrleistung schaffen müsse – einschließlich der Anpassung von Steuern, Abgaben und Gebühren [14]. Z m u d et al.



1	McKinsey & Company 2016, Neuzulassungen	(McKinsey & Company 2016)
2	DLR 2017 – Neuzulassungen	(DLR 2017)
3	DLR 2017 – Neuzulassungen	(DLR 2017)
4	DLR 2017 – Neuzulassungen	(DLR 2017)
5	DLR 2017 – Neuzulassungen	(DLR 2017)
6	DLR 2017 – Bestandsflotte	(DLR 2017)
7	DLR 2017 – Bestandsflotte	(DLR 2017)
8	DLR 2017 – Bestandsflotte	(DLR 2017)
9	DLR 2017 – Bestandsflotte	(DLR 2017)
10	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, optimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
11	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, optimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
12	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, optimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
13	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, pessimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
14	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, pessimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
15	Altenburg et al. 2018 – City-Pilot, pessimistisch	(Altenburg, Kienzler & Auf der Maur 2018)
16	European Commission, 2018	(Europäische Kommission 2018)
17	Nieuwenhuijsen 2015: Expertenbefragung, Stufe 5	(Nieuwenhuijsen 2015)
18	Nieuwenhuijsen, 2015: AV in bloom, konservativ	(Nieuwenhuijsen 2015)
19	Arbib et al. 2017: Fahrleistung USA	(Arbib & Seba 2017)
20	Arbib et al. 2017: Anteil Flotte USA	(Arbib & Seba 2017)
21	Viereckl et al./pwc – EU Stufe 4/5	(Viereckl, Krings, Weber, Seyfferth, Deppner & Bühnen 2018)
22	Viereckl et al./pwc – USA Stufe 4/5	(Viereckl, Krings, Weber, Seyfferth, Deppner & Bühnen 2018)
23	Viereckl et al. / pwc – China Stufe 4/5	(Viereckl, Krings, Weber, Seyfferth, Deppner & Bühnen 2018)

Bild 2: Anteile hochautonomer Fahrzeuge an Neuzulassungen, Flotten und Modal Split bzw. Fahrleistung

empfehlen konkret Straßennutzungsgebühren (Road Pricing), um eine Zunahme der Fahrleistung zu vermeiden und den Einsatz geteilter autonomer Fahrzeuge zur Verbesserung des Mobilitätsangebots ausgewählter Bevölkerungsgruppen zu fördern [5]. Auch

Hen z e l m a n n et al. halten die Stärkung des ÖPNV mit Letzte-Meile Angeboten in Verbindung mit Lenkungsabgaben (City Maut) für geeignet, um ein unkontrolliertes Wachstum des motorisierten Individualverkehrs entsprechend seines „Anarchie“-Sze-

narios zu vermeiden [2]. Nicht zuletzt der wissenschaftliche Beirat beim BMVI fordert, „den Kommunen die Möglichkeit [zu] geben, die Nutzung öffentlicher Straßen abhängig vom Besetzungsgrad zu bepreisen.“ [62].

5.2 Regularien für den Betrieb

Offensichtlich geht autonomes Fahren mit einer Menge elektronischer Datenverwaltung und -verarbeitung einher. Das wirft nicht nur kuriose Datenschutzrechtliche Fragen z. B. hinsichtlich der Einwilligung minderjähriger Nutzer zur Erfassung personenbezogener Daten auf [43]. Die Datenerfassung ist auch Teil der Geschäftsmodelle neuer Mobilitätsdienstleister (s. o.) und wäre gleichzeitig Grundlage für die Steuerung der Entwicklung des autonomen Fahrens. Bereits heute wird gefordert, Ridesharing-Anbieter als Voraussetzung zur Kooperation zum Teilen ihrer Daten zu zwingen [41]. G e h r k e et al. bedauern, dass die gegenwärtige Gesetzgebung die privaten Ridesharing-Anbieter nicht dazu verpflichtet, ihre Daten mit den öffentlichen Einrichtungen zu teilen, die für die Instandhaltung und Entwicklung der Infrastruktur verantwortlich sind. Darüber hinaus ist die Datenbereitstellung Voraussetzung für die Verfolgung gesellschaftlicher und umweltpolitischer Ziele in der Planung [63]. Umso mehr ist mit Hinblick auf autonome Fahrzeuge auf nationaler Ebene auf die Freigabe der Daten hinzuwirken, um diese in der Planung berücksichtigen zu können [14], unabhängig davon, dass dies aus haftungsrechtlichen Gründen notwendig sein könnte [64].

Die Bedeutung einer daten- und auslastungsbasierten Steuerung autonomer Fahrzeuge wird nicht mehr nur durch Prognoseszenarien begründet wie z. B. die des DLR, dass Parkgebühren unter Umständen durch leeres Herumfahren vermieden werden [18] oder die Prognosen von R o d i e r et al., die alle mehr oder weniger starke Verluste für den Umweltverbund und wachsende Fahrleistung zeigen – mit Ausnahme des Szenarios mit Straßennutzungsgebühren [65]. Einen kurzfristigen Ausblick erlauben die Erfahrungen mit Ridesharing-Diensten in den USA: Diese haben in San Francisco durch die Substitution von Fahrten im Umweltverbund, Leerfahrten und Haltevorgänge am Straßenrand zu etwa der Hälfte der wachsenden Verkehrsleistung, Verlustzeiten und Geschwindigkeitsreduktion zwischen 2010 und 2016 beigetragen [66]. Im Raum Boston nähert sich der Anteil der Ridesharing-Dienste zu über der Hälfte aus dem Umweltverbund (Fuß, Rad, ÖPNV); ca. 15 %

der Ridesharing-Wege ersetzen in den Stoßzeiten verträglichere Verkehrsmittel [63]. Die Hoffnungen auf Verkehrsreduktion und Verkehrsflussverbesserung durch derartige Dienste wurden überwiegend enttäuscht [67].

5.3 Verwaltung

Auf Seite der Verwaltung sind Zuständigkeiten zu klären, bzw. zu schaffen und mit qualifiziertem Personal zu besetzen [14]. Zmud et al. stellen mögliche Auswirkungen des autonomen Fahrens auf unterschiedlichen Ebenen der Straßenbau- und Verkehrsverwaltung dar und benennen z. B. verstärkten Einkauf entsprechender IT-Services aufgrund mangelndem Fachpersonal in der Verwaltung, veränderte Anforderungen an den Straßenentwurf, verminderte Nachfrage nach klassischem ÖPNV, unterschiedliche Auswirkungen hinsichtlich der Auslastung der Straßeninfrastruktur, verminderte Einnahmen durch sinkende Fahrzeugzahlen und Mineralölsteuereinnahmen und kürzere Halbwertszeiten von ITS-Investitionen [5]. Dabei sollten es die Gebietskörperschaften im Interesse der Verkehrsteilnehmer und Steuerzahler vermeiden, sich mit einer flächendeckenden ITS-Infrastruktur in eine Abhängigkeit von entsprechenden Dienstleistern zu begeben.

Gleichzeitig sind autonome Fahrzeuge in der strategischen Stadtplanung zu berücksichtigen – z. B. indem ihre Wirkung auf bestehende stadt- und regional-planerische Ziele bewertet wird. Dabei kann der Kontakt zu Interessenvertretern und Akteuren des autonomen Fahrens helfen, um angemessene politische und planerische Rahmensetzungen einzuleiten. Testanwendungen im halböffentlichen Bereich stellen einen sinnvollen Aufhänger für derartige Kooperationen dar. Aufseiten der Verkehrsplanung können auf Grundlage geeigneter Verkehrsnachfragemodelle die Anforderungen an die Straßeninfrastruktur untersucht und ggf. gesteuert werden. Eine zentrale Aufgabe besteht dabei in der offensiven Integration der Last-Mile-Lösungen in das öffentliche Verkehrsangebot [14].

5.4 Zukünftige Verkehrsprognosen

In Anbetracht der vielfältigen Auswirkungen, die von der Ausbreitung autonomer Fahrzeuge erwartet werden, verwundert die Bandbreite nicht, die die gängigen Szenarien zur Verkehrsentwicklung abdecken: Isaac z. B. steckt bereits 2016 das Spektrum mit einem

Albtraum- und einem Utopia-Szenario ab: Während sich ersteres durch einen ungebremsten Anstieg an Leerfahrten privater autonomer Fahrzeuge auszeichnet, vollzieht sich in letzterem eine deutliche Reduktion der Privatfahrzeuge infolge allgemeinen Ride- und Carsharings [14].

Ähnliche Szenarien finden sich in zahlreichen (vor allem frühen) Publikationen (z. B. [1, 68, 18, 2]). Bei einer quantitativen Betrachtung sind zahlreiche Faktoren zu bewerten und zu quantifizieren. Benannt werden folgende Aspekte, die in makroskopischen aggregierten 4-Stufen-Modellen abgebildet werden könnten: Flottenzusammensetzung, Fahrzeugbesitz, das Angebot an Carsharing- bzw. autonomen Flottenfahrzeugen und deren Geschäftsgebiete; die damit in Zusammenhang stehende Veränderung der Anteile unterschiedlich mobiler bzw. verhaltenshomogener Personengruppen; Anpassung der Verkehrsmittelwahlmodelle durch Berücksichtigung neuer Modi; wachsende Kapazitäten im Netz und sinkende Zeitwerte [14, 18, 69, 70]. Für einige dieser Faktoren finden sich Tendenzaussagen, die bei der Entwicklung plausibler Szenarien hilfreich sein können.

Hinsichtlich der Motorisierung erwarten viele Autoren eine Reduktion infolge der Ausbreitung von Ridesharing-Angeboten [31, 4]. Die verminderte Motorisierung hätte veränderte Anteile verhaltenshomogener Personengruppen zur Folge. F e i g o n et al. beobachten in den USA, dass eine häufigere Nutzung von geteilten Verkehrsmitteln mit geringerem Autobesitz und stärkerer Nutzung des ÖPNV bei insgesamt geringeren Ausgaben für Verkehr einhergehen [71]. Angesichts jüngerer Beobachtungen ist jedoch nicht davon auszugehen, dass geteilte Verkehrsmittel in jedem Fall den Umweltverbund stärken [72]. Was die Zusammensetzung der motorisierten Fahrzeuge selber angeht, geben M i l a k i s et al. Anteile autonomer Fahrzeuge am Kfz-Bestand für 2030 mit 1 bis 11 % und für 2050 mit 7 bis 61 % an.

Bei der Fahrtzielwahl gehen die meisten Autoren davon aus, dass längere Distanzen günstiger, schneller und bequemer zurückgelegt werden können und dass die Summe der gefahrenen Strecken zunimmt [18, 50, 73, 74]. Milakis et al. erwarten für den Zeitwert (Value of Time, VOT) einen Rückgang zwischen 1 und 18 % bis 2030, und zwischen 2 und 31 % bis 2050, sowie eine Zunahme der Fahrleistung um bis zu 3 % bzw. 27 % [30]. Rodier et al. gehen bei ihrer Mikrosimulation der Verkehrsnachfrage in der San Francisco

Bay Area davon aus, dass die Bewertung der Fahrzeit im Sinne generalisierter Kosten um 25 % und die Betriebskosten um 20 % zurückgehen [65]. Kapazitätsgewinne werden in Abhängigkeit von Örtlichkeit und Durchdringungsrate autonomer Fahrzeuge bei 20 bis 25 % gesehen [73, 30]. Allerdings gehen nicht alle Studien davon aus, dass autonome Fahrzeuge die Kapazität der Straßeninfrastruktur erhöhen: Eine Fallstudie für die Ringstraße von Antwerpen zeigte sinkende Durchschnittsgeschwindigkeiten infolge zunehmender Anteile autonomer Fahrzeuge, da autonome Fahrzeuge im verwendeten Modell weniger stark beschleunigen und bremsen und unter keinen Umständen Risiken eingehen dürfen. Die Wirkung vernetzter Fahrzeuge war hingegen positiv, insbesondere bei höheren Anteilen in der Flottenzusammensetzung [75]. Langfristig wird mit zunehmenden Fahrdistanzen auch Zersiedelung befürchtet [5].

Im Modal Split sind mit dem Markteintritt von Ridesharing-Diensten, autonomen Flotten- und Privatfahrzeugen mehrere neue Verkehrssysteme zu berücksichtigen, die sich in einem fließenden Übergang zwischen IV und ÖV bewegen. Für die Verkehrsmittelwahl werden widerstrebende Effekte diskutiert, die in Unkenntnis der rechtlichen Rahmenbedingungen und Kosten autonomer Verkehrssysteme nur schwer gegeneinander abgewogen werden können. Z. B. erwartet der VDV einerseits, dass autonome Fahrzeuge Pkw zu Lasten des ÖV attraktiver machen [1], andererseits können sie als Teil des ÖPNV und zu dessen Ausbau eingesetzt werden. Die Schweizerischen Bundesbahnen haben 2016 ein entsprechendes Konzept präsentiert, bei denen die Schließung von schwach ausgelasteten Bahnhöfen zur Beschleunigung des SPNV in der Flächenerschließung durch autonom angeordnete Mobilitätshubs überkompensiert wird [76]. Bernhart et al. sehen Potenzial, durch die Einführung autonomer Fahrzeuge im ÖV den Teufelskreis ländlicher Verödung und schlechterer Erschließung auszuhebeln [21]. Allerdings könnten autonome Shuttlefahrzeuge den bestehenden SPNV karnalisieren [31], mit fragwürdigen langfristigen Auswirkungen auf Erschließungsqualität und Verkehrsleistung. Verwendet man bestehende Car- und Ridesharing-Angebote als Indikator für die zukünftige Nutzung autonomer Systeme, so sind einerseits die Hauptbeweggründe für die Nutzung anstelle des ÖPNV zu beachten – Fahrt- und Wartezeiten [41], ferner Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit (regional, tageszeitlich) – und

andererseits die vorrangigen Wegezwecke bzw. -ziele, bei denen Sharing-Systeme genutzt werden: Stadtzentren, Flughäfen, Bereiche mit kundenorientierten Dienstleistungen (Freizeit, Gastronomie) [41].

Die Bewertung und der Anteil dieser Verkehrssysteme bei Betrachtung der Verkehrsmittelwahl auf einzelnen Wegen einerseits und in Wegekettensituationen andererseits lassen sich mit konventionellen Prognosemethoden abschätzen. Dabei kann die Betrachtung der Konkurrenzsituation konventioneller und autonomer Verkehrssysteme unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzer und Wegezwecke helfen, eine plausible Entwicklung einzukreisen. Bei der Verkehrsmittelwahl schlagen sie explizit Entscheidungsbäume vor [77], deren Implementierung z. B. über Nested-Logit-Modelle in der deutschen Planungspraxis noch nicht weit verbreitet ist. Friedrich et al. stellen makroskopische Werkzeuge für die Berücksichtigung autonomer Fahrzeuge in Visum und Vissim vor [78]; die Verkehrsmittelwahl ist hier allerdings manuell vorzugeben, sodass an dieser Stelle mit Plausibilitätsüberlegungen und Szenarien gearbeitet werden muss. Ein interessantes Detail dieses Werkzeugkastens ist die Kennzeichnung von für autonome Fahrzeuge zulässigen Strecken, mit denen sich die Auswirkungen von Pilotprojekten oder unterschiedlichen Operational Design Domains untersuchen lassen. Eine völlig neue Herausforderung besteht jedoch in der Prognose autonomer Fahrzeugbewegungen – um z. B. den Besitzer an Ort A abzusetzen und an Ort B wieder aufzunehmen.

5.5 Straßenraum

Über die Auswirkungen autonomen Fahrens auf den Straßenraum und dessen Aufteilung und Ausstattung wurde schon frühzeitig spekuliert, Isaac z. B. zählt hinsichtlich der Anpassung der Infrastruktur 8 Beispiele auf, zu denen reduzierte Fahrstreifenbreiten, elektronische Fahrbahnmarkierungen, veränderte Geschwindigkeitsbeschränkungen und eine Reduktion von Parkplätzen zugunsten von Ein- und Ausstiegshaltestellen zählen [14]. Ein- und Ausstiegstellen bzw. entsprechende Haltebuchten wären in Gebieten mit Ridesharing-Angeboten bereits heute sinnvoll [41] und sollten grundsätzlich in der Planung des Straßenraums in Bereichen mit viel Hol- und Bringverkehr berücksichtigt werden – z. B. bei Verkehrsknoten wie Bahnhöfen und Flughäfen, aber auch Bildungs- und Freizeiteinrichtungen. Der

Hamburger Anbieter IOKI nutzt vordefinierte Haltepunkte in einem maximalen Abstand von 200 m voneinander zum Aufnehmen und Absetzen der Fahrgäste [79], Aptiv und Lyft hatten in Las Vegas Ende 2018 insgesamt 1.600 Ein- und Ausstiegspunkte [80]. Barthelmes et al. halten eine gut lesbare physische Infrastruktur für notwendig, jedoch keine zusätzliche intelligente Infrastruktur [31]. Bernhart et al. sehen vor allem im ländlichen Raum Bedarf, den Straßenzustand den Anforderungen des autonomen Fahrens anzupassen [21]. Darüber hinaus gibt es unter Berücksichtigung von gemischtem Verkehr autonomer und konventioneller Fahrzeuge wenige konkrete Forderungen zur Anpassung des Straßenraums – auf Quartiersebene könnten allerdings die schwächeren, nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer eine dominierende Rolle erlangen [81].

6 Fazit

Grundsätzlich sollte der Vorgeschmack, den Ridesharing-Dienste vom Potenzial autonomen Fahrens vermitteln, Anlass genug sein, das Thema im Auge zu behalten: Der Modal Split-Anteil von Ridesharing-Diensten liegt z. B. im Großraum Boston je nach Herkunfts- und Zielgebiet bereits heute zwischen 0,4 und 3,9 % [72]. Eine Reduktion der Betriebskosten und Fahrpreise dieser Dienste durch die Automatisierung verheißt wenig Gutes. Beispielsweise könnten Bürostandorte, die gegenwärtig mangels Parkplätzen nur im Umweltverbund erreichbar sind, zukünftig mit Privat-Pkw erreicht werden. Ein besonderes Problem stellen bei solchen Szenarien Leerfahrten autonomer Fahrzeuge dar: im Extremfall könnte nach der morgendlichen Zielverkehrsspitze in Innenstadtlagen und Gewerbegebieten eine Quellverkehrsspitze entstehen durch autonome Privatfahrzeuge, die einen günstigen Parkplatz suchen. Der Effekt, dass Fahrzeiten als weniger belastend wahrgenommen werden, könnte für die Siedlungsentwicklung schwerwiegende Konsequenzen haben: Steht uns eine neue Suburbanisierungswelle bislang nie gekannter geographischer Ausmaße bevor, wenn die als akzeptabel empfundenen Pendelzeit dramatisch ansteigt? Dieser Effekt könnte zwar Druck von den Wohnungsmärkten der Kernstädte nehmen, die verkehrlichen Konsequenzen wären aber kaum absehbar.

Das Potenzial, das autonomes Fahren, und dessen Regulierung, in positiver wie negati-

ver Hinsicht für das Geschehen im öffentlichen Straßenraum hat, ist gewaltig. Kleinmann et al. verweisen zum Vergleich auf die unterschiedlichen Ansätze zur Organisation des Fußgänger- und des Autoverkehrs seit dem Aufkommen des Automobils, und wie diese – Kriminalisierung ungeregelter Überquerung der Fahrbahn („Jaywalking“) einerseits, Shared Space andererseits – das äußere Erscheinungsbild und das Lebensgefühl in den Städten beeinflusst haben [82]. Wesentlich ist dabei, dass Kommunalpolitik, Verwaltung und Planer sich über Nutzung autonomer Fahrzeuge Gedanken machen, bevor sie auf die Straße kommen. Ein sinnvoller erster Schritt wäre, Straßennutzungsgebühren für autonome Fahrzeuge in Abhängigkeit vom Besetzungsgrad zumindest auf symbolischem Niveau zu implementieren, ehe diese von weiten Teilen der Bevölkerung genutzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] VDV (2015): Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. [Positionspapier]. Köln: s. n., 2015
- [2] Henzelmann, T. et al. (2017): Urbane Mobilität 2030. Roland Berger GmbH. München: s. n. 2017, Roland Berger, Focus
- [3] U. S. DOT. Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0. [Online] 2018. [Zitat vom: 31.10.2018] <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/320711/preparing-future-transportation-automated-vehicle-30.pdf>
- [4] Raposo, M. A. et al. (2018): An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe – Effects – Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC science for policy report JRC111477. ISBN 978-92-79-85857-4, doi:10.2760/777
- [5] Zmud, J. et al. (2017): Advancing Automated and Connected Vehicles: Policy and Planning Strategies for State and Local Transportation Agencies. Transportation Research Board. Washington, D. C.: National Academy of Sciences. NCHRP Research Report 845. ISSN 2572-3774
- [6] Paukert, C.: Why the 2019 Audi A8 won't get Level 3 Traffic Jam Pilot in the US. [Online] Roadshow, 14.5.2018. [Zitat vom: 7.12.2018] <https://www.cnet.com/roadshow/news/2019-audi-a8-level-3-traffic-jam-pilot-self-driving-automation-not-for-us/>
- [7] WAYMO: waymo Safety Report 2018. [Online] 2018. [Zitat vom: 26.10.2018] <https://waymo.com/safety/>
- [8] Rothfuchs, K.; Engler, P. (2018): Auswirkungen des autonomen Fahrens aus Sicht der Verkehrsplanung. Internationales Verkehrswesen. 2018, (70) 3, S. 60–64
- [9] Coppola, G.: Can Neuroscience Teach Robot Cars to Be Less Annoying? [Online] 9.10.2018. [Zitat vom: 31.12.2018] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-09/can-neuroscience-teach-robot-cars-to-be-less-annoying>
- [10] Kühn, W.: Hochautomatisiertes Fahren und Straßeninfrastruktur. [Hrsg.] Straßenverkehrstechnik, 9.2018, S. 623–630. Kirschbaum Verlag, Bonn
- [11] ADAC: Autonomes Fahren: So sieht die digitale Zukunft aus. [Online] 17.10.2018. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autonomes-fahren/autonomes-fahren-aktuelle-technik/>
- [12] Kalra, N.; Groves, D. G. (2017): The Enemy of Good. Estimating the Cost of Waiting for Nearly Perfect Automated Vehicles. Santa Monica: RAND Corporation. ISBN: 978-0-8330-9937-2
- [13] Baumann, M.: Why Waiting for Perfect Autonomous Vehicles May Cost Lives | RAND. [Online] RAND Corporation, 7.11.2017. [Zitat vom: 2.11.2018] <https://www.rand.org/blog/articles/2017/11/why-waiting-for-perfect-autonomous-vehicles-may-cost-lives.html>
- [14] Isaac, L. (2016): Driving towards driverless: a guide for government agencies. WSP | Parsons Brinckerhoff. New York: s. n., 2016
- [15] Mobileye: The Evolution of EyeQ. [Online] 2018. [Zitat vom: 30.10.2018] <https://www.mobileye.com/our-technology/evolution-eyeq-chip/>
- [16] Stevens, T.: A ride in Waymo One as the self-driving service goes 'live'. [Online] roadshow, 5.12.2018. [Zitat vom: 7.12.2018] <https://www.cnet.com/roadshow/news/waymo-one-google-self-driving-car-project/>
- [17] Shepardon, D.; Sage, A.: Waymo gets first California OK for driverless testing without backup driver | Reuters. [Online] 30.10.2018. [Zitat vom: 31.10.2018] <https://www.reuters.com/article/us-autos-selfdriving-waymo/waymo-gets-first-california-ok-for-driverless-testing-without-backup-driver-idUSKCN1N42S1>
- [18] DLR: Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verkehrsforschung. Stuttgart: e-mobil BW GmbH, 2017
- [19] ETRAC (2017): Automated Driving Roadmap. ETRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving”, European Road Transport Research Advisory Council. Brussels: s. n., 2017
- [20] Europäische Kommission: On the road to automated mobility: AN EU strategy for mobility of the future COM/2018/283 final. [Online] 17.5.2018. [Zitat vom: 2.11.2018] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0283>
- [21] Bernhart, W. et al. (2018): Reconnecting the rural. Autonomous driving as a solution for non-urban mobility. Roland Berger GmbH. Frankfurt: s. n., 2018. Roland Berger, Focus
- [22] Lee, T. B.: We finally talked to an actual Waymo passenger—here's what he told us. [Online] 13.12.2018. [Zitat vom: 22.12.2018] <https://arstechnica.com/cars/2018/12/we-finally-talked-to-an-actual-waymo-passenger-heres-what-he-told-us/>
- [23] Breigleb, V.: Autos auf der CES: Autonom ist noch Zukunftsmusik. [Online] 21.1.2019. [Zitat vom: 24.1.2019] <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Autos-auf-CES-Autonom-ist-noch-Zukunftsmusik-4282797.html>
- [24] Kindig, B.: The Level 2 Autonomous Vehicle Bubble – Tesla, GM, Audi, BMW, Waymo, Nvidia, and Intel. [Online] Beth.technology, 17.10.2018. [Zitat vom: 7.12.2018] <https://beth.technology/autonomous-vehicle-bubble/>
- [25] Gurmán, M.: Waymo CEO Says Self-Driving Cars Won't Be Ubiquitous for Decades. [Online] 13.11.2018. [Zitat vom: 20.12.2018] www.bloomberg.com/news/articles/2018-11-13/waymo-ceo-says-self-driving-cars-wont-be-ubiquitous-for-decades
- [26] VDA: Automatisiertes Fahren (2018): [Online] Verband der Automobilindustrie e. V., 2018. [Zitat vom: 1.11.2018] <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren>
- [27] Toyota: Toyota Launches New Mobility Ecosystem and Concept Vehicle at 2018 CES® | Toyota USA Newsroom. [Online] 8.1.2018. [Zitat vom: 31.10.2018] <https://pressroom.toyota.com/releases/toyota+launches+new+mobility+ecosystem+concept+vehicle+2018+ces.htm>
- [28] BusinessWire: Volkswagen, Mobileye and Champion Motors to Invest in Israel and Deploy First Autonomous EV Ride-Hailing Service. [Online] 29.10.2018. [Zitat vom: 29.10.2018] <https://www.businesswire.com/news/home/20181029005630/en/Volkswagen-Mobileye-Champion-M>
- [29] European Commission: Europe on the Move: Commission completes its agenda for safe, clean and connected mobility. [Online] 17.5.2018. [Zitat vom: 2.11.2018] <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/3rd-mobility-pack/3rd-mobility-pack-factsheets-automatedconnected.pdf>
- [30] Milakis, D. et al. (2017): Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 17(1), S. 63–85
- [31] Barthelmes, S. et al. (2017): Autonomes Fahren. Erwartungen an die Mobilität der Zukunft. Dornier Consulting International. Berlin: s. n., 2017
- [32] Holland, F. Ford hits the road in Miami, in a big bet on autonomous vehicles, ride sharing and delivery services. [Online] 15.11.2018. [Zitat vom: 30.11.2018] <https://www.cnbc.com/2018/11/15/ford-plans-a-ride-sharing-service-with-its-self-driving-cars-by-2021.html>
- [33] Wilkens, A.: Autonomes Fahren: Toyota investiert 500 Millionen US-Dollar in Uber. [Online] 28.8.2018. [Zitat vom: 2.12.2018] <https://www.heise.de/autos/artikel/Toyota-investiert-500-Millionen-Dollar-in-Uber-4146900.html>
- [34] Baidu, Inc. Baidu Reaches New Milestone in Autonomous Driving with Volume Production of China's First Commercially Deployed Fully Autonomous Bus. [Online] 3.7.2018. [Zitat vom: 3.12.2018] <https://globenewswire.com/news-release/2018/07/04/1533216/0/en/Baidu-Reaches-New-Milestone-in-Autonomous-Driving-with-Volume-Production-of-China-s-First-Commercially-Deployed-Fully-Autonomous-Bus.html>
- [35] Viereckl, R. et al. (2018): The 2018 Strategy & Digital Auto Report. The future is here: winning carmakers balance metal and mobility. PwC Strategy & Frankfurt: s. n., 2018. <https://www.strategyand.pwc.com/de/studie/future-is-here>
- [36] FAZ: Scheuer will Uber 2021 in Deutschland zulassen. [Online] 17.11.2018. [Zitat vom: 22.11.2018] <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/diginomics/andreas-scheuer-will-uber-2021-in-deutschland-zulassen-15895637.html>
- [37] Loy, T.: Mit Uber in Berlin unterwegs – Wenn die Taxi-Innung die Konkurrenz testet. [Online] 30.3.2018. [Zitat vom: 22.11.2018] <https://www.tagesspiegel.de/berlin/mit-uber-in-berlin-unterwegs-wenn-die-taxi-innung-die-konkur>

Unsere Fachliteratur für Straßenverkehrstechnik



Straßenverkehrstechnik Fachzeitschrift

12 Ausgaben pro Jahr
Abonnement als Printausgabe mit E-Paper inkl. Archivlizenz



HAV Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen

J. S. Bald, K. Stumpf
13. Auflage 2014, 792 Seiten
ISBN 978-3-7812-1700-3



RSA-Handbuch

H. D. Schönborn, W. Schulte
4. Auflage 2012
516 Seiten, DIN A4, kartoniert
ISBN 978-3-7812-1790-4



RSA-Textausgabe

Ausgabe 1995 mit Kurzkommentar zu den Änderungen in StVO, VwV-StVO und VzKat 2017
6. überarbeitete Auflage 2017
184 Seiten, DIN A4, kartoniert
ISBN 978-3-7812-1999-1

Auch als E-Book inkl. KV-Reader (Einzelplatz-Lizenz) erhältlich!



Lärmschutz in der Verkehrs- und Stadtplanung

Handbuch für Vorsorge – Sanierung – Ausführung

C. Popp, W. Bartolomaeus, F. Berka, J. Claussen-Seggelke, J. Gerlach, E. Heinrichs, D. Kupfer, J. Ortscheid, G. Rodehack
1. Auflage 2016
388 Seiten, DIN B5, Hardcover
ISBN 978-3-7812-1951-9



Kooperatives Management der Lärmsanierung

F. Hornfischer, D. Kuper, C. Popp, U. Weese
1. Auflage 2014
168 Seiten, DIN A5, kartoniert
ISBN 978-3-7812-1919-9



Schöne Straßen und Plätze Funktion Sicherheit Gestaltung

H. Heinz
2014, 312 Seiten, DIN A4, kartoniert
ISBN 978-3-7812-1860-4



StVO Kommentar zur Straßenverkehrs-Ordnung mit VwV-StVO

R. Schurig
16. Auflage 2018
863 Seiten, 12,5 x 19 cm, kartoniert
ISBN 978-3-7812-2045-4

Auch als E-Book inkl. KV-Reader (Einzelplatz-Lizenz) erhältlich!

BESTELLKARTE

Menge	Bezeichnung	Bitte ankreuzen für E-Book-Version	Bestell-Nr.	€ (inkl. MwSt., zzgl. Versandkosten*)
	Straßenverkehrstechnik – Abonnement (s.o.)			128,00 (2019)
	HAV	<input type="checkbox"/>	1700	94,00
	RSA-Handbuch Band 1	<input type="checkbox"/>	1790	89,00
	RSA-Textausgabe (ab 5 Expl. à 25,80 €)		1999	27,80
	RSA-Sparpaket (Handbuch und Textausgabe)		1884	99,00
	Lärmschutz in der Verkehrs- und Stadtplanung	<input type="checkbox"/>	1951	89,00
	Kooperatives Management	<input type="checkbox"/>	1919	44,00
	Lärmschutz-Sparpaket (1951 + 1919)	<input type="checkbox"/>	1976	113,00
	Schöne Straßen und Plätze	<input type="checkbox"/>	1860	79,00
	StVO-Kommentar	<input type="checkbox"/>	2045	49,20

* Buchbestellungen ab 75,- € im Inland versandkostenfrei.

Bitte senden Sie Ihr Bestellfax an:

02 28 / 9 54 53-27

Kirschbaum Verlag GmbH · Postfach 21 02 09 · 53157 Bonn
Weitere Infos/Online-Bestellung unter www.kirschbaum.de

Firma, Abteilung

Name, Vorname

Straße/Nr.

PLZ/Ort

Telefon/Fax

E-Mail

Zusätzliche Einwilligung in die Datennutzung zu Werbezwecken
Ich willige ein, dass mir der Kirschbaum Verlag Empfehlungen zu seinen Produkten bzw. Veranstaltungen übersenden darf:
 per E-Mail per Infoletter beides
Wollen Sie keine Einwilligung erteilen, lassen Sie diese Ankreuzfelder bitte frei.

Ort, Datum

Unterschrift

Von Ihnen angegebene personenbezogene Daten, die zum Zweck der Durchführung des entstehenden Vertragsverhältnisses notwendig und erforderlich sind, werden durch die Kirschbaum Verlag GmbH auf Grundlage gesetzlicher Berechtigung erhoben, gespeichert und verarbeitet. Eine Weitergabe Ihrer Daten an Dritte erfolgt nur im Rahmen der Vertragserfüllung (Versanddienstleister, z.B. Deutsche Post). Die Löschung Ihrer Daten richtet sich nach unseren gesetzlichen Aufbewahrungsverpflichtungen und -rechten. Eine weitergehende Übermittlung an sonstige Dritte findet nicht statt, ausgenommen ggf. in besonderen Fällen auf Anordnung einer staatlichen Behörde.

Gemäß §§ 34ff. BDSG und DSGVO sind Sie jederzeit berechtigt, unentgeltlich gegenüber dem Kirschbaum Verlag umfangreiche **Auskunftserteilung** zu den zu Ihrer Person gespeicherten Daten, sowie **Berichtigung, Löschung, Sperrung und/oder Übertragung** einzelner personenbezogener Daten zu verlangen.

Sie können darüber hinaus jederzeit ohne Angabe von Gründen von Ihrem **Widerspruchsrecht** Gebrauch machen und erteilte Einwilligungserklärungen zur Datennutzung mit Wirkung für die Zukunft abändern oder gänzlich widerrufen. Bitte kontaktieren Sie uns in allen diesen Fällen formlos postalisch (s.u.) oder per Mail an datenschutz@kirschbaum.de. Unsere kompletten Datenschutzhinweise finden Sie unter www.kirschbaum.de/datenschutz.

- renz-testet/21120000.html
- [38] Giffi, C. A. et al. (2018): A reality check on advanced vehicle technologies. [Hrsg] Deloitte Developments LLC. Deloitte. Insights Automotive News Supplement – Great Expectations. 12.1.2018, S. 8–15
- [39] Internationales Verkehrswesen (2018): Autonomes Fahren: Großes Interesse, aber auch Skepsis. Internationales Verkehrswesen, (70) 4
- [40] Pakusch, C. et al. (2018): P2P-Carsharing. Internationales Verkehrswesen. (70)4, S. 54–59
- [41] Feigon, S.; Murphy, C. (2018): Broadening Understanding of the Interplay Among Public Transit, Shared Mobility and Personal Automobiles. Transportation Research Board. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, TCRP Research Report 195. ISSN 2572-3782
- [42] Bits and Atoms (2017): Taming the Autonomous Vehicle: A Primer for Cities. Long Island City, NY: Bloomberg Philanthropies
- [43] Stender-Vorwachs, J.; Steege, H. (2018): Legal aspects of autonomous driving. International Transportation, (70) 1, S. 18–20
- [44] An, Q.; Gordon, P.; Moore, I. L.; James, E. (2014): An note on commuting times and city size: testing variances as well as means. Journal of Transport and Land Use, 2014 (2), S. 105–110
- [45] Hubik, F.: Technik ineffizient: Vernetzte Trucks – Daimler beerdigt die Hoffnungstechnik Platooning. [Online] 7.1.2019. [Zitat vom: 28.1.2019] <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/technik-ineffizient-vernetzte-trucks-daimler-beerdigt-die-hoffnungstechnik-platooning/23836178.html>
- [46] Busch, F. et al. (2017): Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur. FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (Hg.), Verband der Automobilindustrie VDA. Berlin: s. n., 2017. FAT-Schriftenreihe Nr. 296. ISSN 2192-7863
- [47] McKinsey&Company (2016): Automotive revolution – perspective towards 2030
- [48] Nieuwenhuisen, J. (2015): Diffusion of Automated Vehicles. A quantitative method to model the diffusion of automated vehicles with system dynamics. TU Delft. Delft: s. n., 2015. Master Thesis
- [49] Altenburg, S., Kienzler, H.-P.; Auf der Maur, A. (2018): Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte. Prognos AG. Berlin: s. n., 2018. Studie im Auftrag des ADAC
- [50] Arbib, J.; Seba, T.: Download Rethinking Transportation. [Online] 5.2017. [Zitat vom: 7.12.2018] <https://www.rethinkx.com/transportation>
- [51] Hoda, O.; Vitale, J.; Giffi, C. A. (2018): The Revenue Multiplier Effect. [Hrsg] Deloitte Developments LLC. Deloitte. Insights Automotive News Supplement – Great Expectations. 12.1.2018, S. 3–7
- [52] Foljanty, L.; Gossen, M.; Ruoff, P. (2017): Sharing: Nische oder Massenmarkt? Internationales Verkehrswesen. (69) 1, S. 45–47
- [53] Steyn, J. (2018): General Motors Company (GM) Presents at UBS 2018 Global Technology Conference (Transcript). [Befragte Person] Colin Langan. San Francisco, 12.11.2018. <https://seekingalpha.com/article/4221482-general-motors-company-gm-presents-ubs-2018-global-technology-conference-transcript>
- [54] CB INSIGHTS: 46 Corporations Working on Autonomous Vehicles. [Online] CB INSIGHTS, 4.9.2018. [Zitat vom: 4.12.2018] <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>
- [55] Daimler AG: Ausblick Daimler. [Online] 26.10.2018. <https://www.daimler.com/investoren/berichte/ausblick/>
- [56] Volkswagen AG: Volkswagen Investor Relations. [Online] 26.10.2018. https://www.volkswagenag.com/de/InvestorRelations/news-and-publications/Annual_Reports.html#
- [57] Sun, Y.; Jourdan, A.: Ford, Baidu to start self-driving road tests in China | Reuters. [Online] 31.10.2018. [Zitat vom: 31.10.2018] <https://uk.reuters.com/article/uk-ford-baidu-autonomous-driving/ford-baidu-to-start-self-driving-road-tests-in-china-idUKKCN1N50WG>
- [58] Smith, O.: A Huge Global Study On Driverless Car Ethics Found The Elderly Are Expendable. [Online] 21.3.2018. [Zitat vom: 4.12.2018] <https://www.forbes.com/sites/olivermith/2018/03/21/the-results-of-the-biggest-global-study-on-driverless-car-ethics-are-in/#666e7c014a9f>
- [59] U. S. DOT: Federal Automated Vehicles Policy. [Online] 17.9.2016. [Zitat vom: 4.2.2019] <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>
- [60] Stock, K.: Self-Driving Cars Still Can't Handle Bad Weather. [Online] 17.9.2018. [Zitat vom: 31.12.2018] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-09-17/self-driving-cars-still-cant-handle-bad-weather?smid=hyperdrive>
- [61] NHTSA. Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety. [Online] 2017. [Zitat vom: 31.10.2018] <https://www.nhtsa.gov/document/automated-driving-systems-20-voluntary-guidance>. DOT HS 812 442
- [62] Wissenschaftlicher Beirat beim BMVI (2017): Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr
- [63] Gehrke, S. R.; Felix, A.; Reardon, T. (2018): Fare Choices. A Survey of Ride-Hailing Passengers in Metro Boston. Metropolitan Area Planning Council. Boston: s. n., 2018. Research Brief
- [64] Brunnert, M.: Autonomes Fahren: Wer haftet bei Verkehrsunfällen? [Online] 24.1.2019. [Zitat vom: 24.1.2019] <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Autonomes-Fahren-Werhaftet-bei-Verkehrsunfaellen-4286037.html>
- [65] Rodier, C. et al. (2018): Automated Vehicle Scenarios: Simulation of System-Level Travel Effects Using Agent-Based Demand and Supply Models in the San Francisco Bay Area. s. l.: UC Davis National Center for Sustainable Transportation. <https://escholarship.org/uc/item/4dk3n531>
- [66] Castiglione, J. et al. (2018): TNCs & Congestion. San Francisco County Transportation Authority. San Francisco: s. n., 2018. Draft Report
- [67] Deutsch, V. (2018): Weniger oder mehr Verkehr – Auswirkungen von Uber, Lyft & Co. auf das Verkehrsaufkommen in Städten. Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn 11.2018
- [68] Just, U. (2016): Wirkungen des autonomen/fahrerlosen Fahrens in der Stadt – Entwicklung von Szenarien und Ableitung der Wirkungsketten – Handlungsansätze aus bremsischer Sicht. [Präsentation beim 45. Verkehrsplanerischen und Verkehrsökologischen Kolloquium]. Bremen: s. n., 23.11.2016
- [69] Friedrich, M. et al. (2018): Guide for the simulation of AVs with a macroscopic modelling tool. Stuttgart: s. n., 2018. CoExist Deliverable 2.8, Version 3.0
- [70] Zmud, J. et al. (2018): Updating Regional Transportation Planning and Modeling Tools to Address Impacts of Connected and Automated Vehicles Vol. 1: Executive Summary. Transportation Research Board. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, NCHRP Research Report 896. ISSN 2572-3774
- [71] Feigon, S.; Murphy, C. (2016): Shared Mobility and the Transformation of Public Transit. Transportation Research Board. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 2016. TCRP Research Report 188. ISSN 1073-4872
- [72] Gehrke, S. R.; Reardon, T. (2018): Share of Choices. Further Evidence of the ride-hailing effect in Metro Boston and Massachusetts. Metropolitan Area Planning Council. Boston: s. n., 2018. Research Brief
- [73] Fellendorf, M. et al. (2017): Bewertung des Verkehrsgeschehens durch automatisiertes Fahren auf Autobahnen und Schnellstraßen VEGAS. TU Graz, Institut für Straßen- und Verkehrswesen. Graz: s. n., 2017. Forschungsbericht/-projekt im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.)
- [74] Meyer, J. et al.: Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge. Internationales Verkehrswesen. 2017, (69) 1, S. 56–59
- [75] Connected and Automated Vehicles on a freeway scenario (2018): Effect on traffic congestion and network capacity. Makridis, M. et al. Wien: s. n., 2018. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 4.2018, 16–19, Vienna, Austria
- [76] Morizet, J.; Buchmüller, S.; Scherr, W. (2016): Bahnangebot mit Mobilitätshubs. [Vortrag beim PTV Anwenderseminar]. Karlsruhe: s. n., 19.10.2016
- [77] Zmud, J. et al. (2018): Updating Regional Transportation Planning and Modeling Tools to Address Impacts of Connected and Automated Vehicles Vol. 2: Guidance. Transportation Research Board. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, NCHRP Research Report 896. ISSN 2572-3774
- [78] Friedrich, M. et al. (2018): AV-ready macroscopic modelling tool. Stuttgart: s. n., 2018. CoExist Deliverable 2.7, Version 4.0
- [79] VHH. ioki Hamburg – On-Demand Shuttle. [Online] Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH (VHH), 2018. [Zitat vom: 7.12.2018] <https://vhbus.de/ioki-hamburg/>
- [80] Lee, T. B.: The hype around driverless cars came crashing down in 2018. [Online] 30.12.2018. [Zitat vom: 3.1.2019] <https://ars.technica.com/cars/2018/12/uber-tesla-and-waymo-all-struggled-with-self-driving-in-2018/>
- [81] Rothfuchs, K.; Engler, P. (2018): Das öffentliche Interesse muss die Entwicklung bestimmen! [Hrsg] Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn 8.2018, S. 564–571
- [82] Kleinmann, M.; Rohrer, C.: What if autonomous vehicles actually make us more dependent on cars? [Online] The Conversation, 18.6.2018. [Zitat vom: 10.11.2018] <https://theconversation.com/what-if-autonomous-vehicles-actually-make-us-more-dependent-on-cars-98498>