

Entwicklung konsistenter Szenarien für die Einführung autonomer Fahrzeuge

Working Paper

Author(s):

Becker, Felix; Bösch, Patrick M.; Ciari, Francesco; Axhausen, Kay W. 

Publication date:

2016-06

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000249260>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 1168

Entwicklung konsistenter Szenarien für die Einführung autonomer Fahrzeuge

Arbeitsbericht

Felix Becker
Patrick Bösch
Francesco Ciari
Kay W. Axhausen

XXXX

Entwicklung konsistenter Szenarien für die Einführung autonomer Fahrzeuge

Felix Becker
Institut für Verkehrsplanung
und Transportsysteme (IVT)
Eidgenössische Hochschule
Zürich (ETH)
Stefano-Frascini-Platz 5
8093 Zürich

Telefon: +41 44 633 65 29
e-Mail-Adresse:
felix.becker@ivt.baug.ethz.ch

Kay Axhausen
Institut für Verkehrsplanung
und Transportsysteme (IVT)
Eidgenössische Hochschule
Zürich (ETH)
Stefano-Frascini-Platz 5
8093 Zürich

Telefon: +41 44 633 39 43
e-Mail-Adresse:
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

Patrick Bösch
Institut für Verkehrsplanung
und Transportsysteme (IVT)
Eidgenössische Hochschule
Zürich (ETH)
Stefano-Frascini-Platz 5
8093 Zürich

Telefon: +41 44 633 39 52
e-Mail-Adresse:
patrick.boesch@ivt.baug.ethz.ch

Francesco Ciari
Institut für Verkehrsplanung
und Transportsysteme (IVT)
Eidgenössische Hochschule
Zürich (ETH)
Stefano-Frascini-Platz 5
8093 Zürich

Telefon: +41 44 633 71 65
e-Mail-Adresse:
ciari@ivt.baug.ethz.ch

Kurzfassung

Die unmittelbaren Vorteile der Einführung vollautonomer Fahrzeuge sind bereits heute sehr gut absehbar. So werden lange Reisen und Pendeln angenehmer und die Sicherheit auf Schweizerischen Strassen wird nicht mehr durch menschliches Versagen beeinträchtigt. Zudem wird der Führerschein keine Voraussetzung mehr für individuelle, günstige und komfortable Transportangebote darstellen. Nichtsdestotrotz bestehen erhebliche Unsicherheiten über die positiven und negativen Auswirkungen für das gesamte Verkehrssystem. Darüber hinaus ist unklar wann und in welcher Form autonome Fahrzeuge den Kunden zur Verfügung stehen werden. In diesem Beitrag werden daher Prognosen und Szenarien unterschiedlichster Quellen miteinander verglichen und ein Überblick über mögliche Veränderungen gegeben, die für die Verkehrsplanung relevant sind. Zudem wird ein Forschungsvorhaben vorgestellt, welches Antworten auf die sich daraus ergebenden Fragestellungen bieten soll. In dessen Rahmen sollen Befragungen und agentenbasierten Simulationen verwendet werden.

Schlagworte

Autonome Fahrzeuge; Agentenbasierte Simulation; Stated-Preference Befragung; Szenarioanalyse autonome Fahrzeuge

Zitierungsvorschlag

Becker, F., Bösch P., Ciari F. und K. Axhausen (2016) Entwicklung konsistenter Szenarien für die Einführung autonomer Fahrzeuge, *Arbeitsbericht*, IVT, ETH Zürich, Zürich.

1 Einleitung

Einige Autohersteller und Technologieunternehmen haben angekündigt, zumindest teilautonome Autos bereits zu Beginn des nächsten Jahrzehnts zur Marktreife führen zu wollen. Solche Ankündigungen stossen auf ein zunehmendes Interesse seitens der Bevölkerung (Google Trends, 2016) und verleiten zu revolutionären, visionären und aufregenden Verkehrsszenarien. Diese Überlegungen fordern aber auch Wissenschaft und Gesellschaft auf, Wahrscheinlichkeiten, Auswirkungen und Güte dieser zahlreichen Szenarien zu bestimmen, und so möglichst optimal auf die Einführung (teil-)autonomer Fahrzeuge vorbereitet zu sein. So verweisen Artikel und Diskussionsbeiträge sinnvoller Weise nicht nur auf die unmittelbaren Konsequenzen des Wegfallens der Aufgabe des Fahrens, sondern u.a. auch auf die Auswirkungen einer zusätzlichen Verkehrsbelastung (Litman, 2014; Walker, 2015) und auf deren Folgen für das Stadtbild (Folsom, 2011).

Ziel des ersten Teils dieses Beitrags ist daher die Identifizierung und Beschreibung der verschiedenen Komponenten, die Szenarien für autonome Fahrzeuge aus verkehrsplanerischer Perspektive definieren. Im zweiten Teil wird hingegen ein Forschungsvorhaben vorgestellt, welches Antworten auf die sich daraus ergebenden Fragestellungen liefern soll.

Für die Verkehrsplanung relevante Szenarien müssen sich an den technologischen und rechtlichen Entwicklungen orientieren und die daraus entstehenden Mobilitätsangebote samt der Zeitpunkte ihres Markteintritts berücksichtigen. Es muss kritisch betrachtet werden, welche derzeitigen Verkehrsmittel aus Kundenperspektive welche Vorteile gegenüber den neuen Mobilitätsangeboten haben und ob sie durch Automatisierungen oder regulatorische Eingriffe wettbewerbsfähig bleiben können. Gleichzeitig müssen aber auch die neuen Angebote kritisch auf ihre Wettbewerbsfähigkeit hin geprüft werden. Dabei sollten insbesondere individuelle Präferenzen und Gewohnheiten der Nutzer berücksichtigt werden. Wird ein Szenario als technologisch realistisch und aus der Kundenperspektive als wünschenswert beurteilt, sind in einem weiteren Schritt die Auswirkungen auf das gesamte Verkehrssystem zu analysieren. Diesem Punkt schliessen sich wiederum Untersuchungen der Konsequenzen regulatorischer Eingriffe an, sollten die Folgen eines Szenarios negativ sein.

Im Forschungsprojekt sollen die Instrumente Stated-Preferences-Befragungen und agentenbasierte Simulationen iterativ genutzt werden, um Kundenpräferenzen und die Auswirkungen auf

den Verkehrsfluss zu eruieren. Betriebswirtschaftliche Analysen der Wettbewerbsfähigkeit und die Definition konsistenter Szenarien ergänzen das Methodenportfolio.

Abschnitt 2 des Beitrags befasst sich mit der Identifizierung und Darstellung der relevanten Szenarien-Dimensionen. Nachdem in Abschnitt 2.1 aktuelle Meldungen bezüglich des erwarteten Zeitrahmens der Einführung verschiedener Angebote abgewogen und weitere rechtliche und ethische Hürden genannt werden, befasst sich Abschnitt 2.2 mit der Darstellung der zu erwartenden Mobilitätsangebote und deren Vergleich mit vorhandenen Verkehrsmitteln. Erste Einblicke in die Kundenwahrnehmung und das daraus resultierende Verhalten bietet Abschnitt 2.3. Mögliche regulatorische Handlungsspielräume sind in Abschnitt 2.4 zusammengefasst. In Abschnitt 3 wird das Forschungskonzept vorgestellt und eine beispielhafte Ausführung beschrieben.

2 Dimensionen der Szenarien

2.1 Zeitpunkte und Reihenfolge der Einführung

Zu welchen Zeitpunkten welche autonomen Verkehrsmittel den Konsumenten zur Verfügung stehen, hängt von der Zuverlässigkeit der neuen technologischen Entwicklungen und den rechtlichen Rahmenbedingungen ab. Des Weiteren können ungeklärte ethische Bedenken einen Einfluss auf den Eintritt des Markteintrittes der neuen Transportalternativen haben. Obwohl nicht weiter ausgeführt, sind auch der Datenschutz und kriminelles Hacking für diesen Punkt relevant.

Bezüglich der technologischen Dimension ist es notwendig, Zeitungsartikelüberschriften wie “Self-driving cars: from 2020 you will become a permanent backseat driver” (Adams, 2015) den Einschätzungen der Wissenschaft und der Hersteller gegenüberzustellen. So suggeriert das Zitat in naher Zukunft die Einführung vollautonomer Fahrzeuge, welche das Eingreifen des Fahrers in jeglicher Verkehrssituation obsolet machen. Bezogen auf die NHTSA-Skala (NHTSA, 2013) sind diese Fahrzeuge Level 4 zuzuordnen, während Fahrzeuge niedrigerer Level in bestimmten Situationen die Kontrolle an der Fahrer zurückgeben (Level 3) oder lediglich wenige Kontrollfunktionen übernehmen (Level 2). Im Gegensatz dazu signalisiert Raul Rojas, Leiter der Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz der Freien Universität Berlin, dass autonome Fahrzeuge erst zwischen den Jahren 2035 und 2045 die technische Reife für den Einsatz im Stadtverkehr erlangt haben werden (Raths, 2015). Eine ähnliche Einschätzung teilt an dieser Stelle Herr Roland Siegwart, Direktor des Autonomous Systems Lab der ETH Zürich, mit der

Aussage, dass mit autonomen Autos in strukturierten Umgebungen, bspw. der Autobahn, erst ab 2025 bis 2035 zu rechnen ist (Schoop, 2015).

Interessanterweise stimmt auch Chris Urmson, Leiter des Google Self-Driving Car Project (2016), welches im Jahr 2012 durch das ambitionierte Ziel der Einführung von autonomen Flotten bis zum Jahr 2017 für Schlagzeilen sorgte (Tam, 2015), in etwa diesen Auffassungen zu. In einem Vortrag im Rahmen der South by Southwest Interactive-Konferenz in Austin, Texas, verwies er dieses Jahr darauf, dass die Einführung in limitierten Umgebungen, sprich einem übersichtlichen Verkehrsgeschehen und guten Wetterbedingungen, in wenigen Jahren möglich sei (Urmson, 2016). Als Zeitraum für die technologische Reife selbstfahrender Autos, welche allgemeingültig auf einen Fahrer verzichten können, nannte er jedoch die nächsten dreissig Jahre. Auch der Autohersteller Volvo verspricht autonomes Fahren in bestimmten Abschnitten ab dem Jahr 2021 (Elfström, 2016), während Toyota autonomes Fahren auf Autobahnen ab dem Jahr 2020 einführen möchte (Toyota, 2015).

Im Gegensatz zu den genannten Zeitplänen gibt einzig Tesla, bzw. dessen Teileigentümer Elon Musk, bedeutend ambitioniertere Ziele vor. So kündigte er in einem Interview mit dem US-Magazin Fortune im Dezember des letzten Jahres an, Tesla sei bereits im Jahr 2017 in der Lage, vollautonome Autos des Levels 4 herzustellen (Korošec, 2015).

Es ist zudem davon auszugehen, dass rechtliche Fragestellungen zu einer weiteren Verzögerung der tatsächlichen Einführung auf Schweizer Strassen führen können, selbst wenn die technologische Machbarkeit gegeben sein wird. Bezüglich des Zulassungsverfahrens bietet die Revision des Wiener Übereinkommens (Working Party on Road Traffic Safety (WP.1), 2014) nach der Auffassung von Lohmann (2015) das Potenzial, autonome Autos zuzulassen. Allerdings argumentieren Lohmann und Rusch (2015), dass die zivil- und strafrechtliche Haftung vollautonomer Autos im Lichte der Schweizer Gesetze noch Fragen aufwerfen. So stellen sie infrage, ob der Hersteller bei Fahrzeugen des vierten NHTSA-Levels bei Unfällen haftet. Der Hersteller könnte argumentieren, dass Wartung, Pflege und Abänderungen des Fahrzeuges für das Fehlverhalten verantwortlich seien. Lohmann und Rusch (2015) schlagen daher vor, dass der versicherte Halter weiterhin für Unfälle haftet und dessen Versicherung beim Autohersteller Regress nehmen kann. Teilautonome Fahrzeuge (d.h. bis und mit NHTSA-Level 3) sind nach heutigem Strassenverkehrsrecht und Zulassungsregelung auf Schweizer Strassen bereits erlaubt (Probst, 2016). Strafrechtlich ist nach heutiger Gesetzeslage jedoch der Fahrzeugführer verantwortlich, sein Fahrzeug im Rahmen seiner Sorgfaltspflicht ständig zu beherrschen, d.h. auch in teilautonomen Situationen (Riedo und Maeder, 2016). In wie weit diese Gesetzeslage die Verbreitung hochautonomer Systeme verzögert, bleibt abzuwarten. Es gilt weiterhin zu bedenken, dass auch politische Gründe Einfluss auf das Zulassungsverfahren ausüben können, etwa wegen allfälliger Umstrukturierungen der Arbeitsmärkte.

Neben rechtlichen Bedenken sind es zusätzlich ethische Bedenken, welche die Einführung autonomer Autos verzögern können. Zwar können Befürworter der Technik argumentieren, dass drei Viertel der schweren oder tödlichen Unfälle in der Schweiz u.a. auf einer Missachtung der Verkehrsregeln zurückzuführen sind (Blum, 2007) und die parallele und schnelle Erörterung diverser Optionen kurz vor einem Unfall in der Gesamtheit zu einer höheren Sicherheit auf den Schweizer Strassen führen. Nichtsdestotrotz ist anzunehmen, dass der Umstand, dass einem Algorithmus die Entscheidungsgewalt in Situationen übertragen wird, in welchen Überlebenswahrscheinlichkeiten abgewogen werden müssen, in der Bevölkerung Unbehagen auslöst.

Wie zu Beginn des Abschnittes erläutert, dienten die vorangegangenen Absätze dazu, eine abwägende Zusammenfassung der diversen Ankündigungen über den Zeitpunkt der technologischen Reife zu bieten, sowie weitere Aspekte zu benennen, welche den Einführungsprozess verlangsamten könnten. Die Absätze verstehen sich aber ausdrücklich nicht als eine Aufforderung, verkehrsplanerische Forschungsarbeiten an (voll-)autonomen Fahrzeugen in die Zukunft zu verschieben. Vielmehr ist sinnvoll abzuwägen, in welcher Reihenfolge neue Produkte und Dienstleistungen auf dem Markt verfügbar werden und welchen Einfluss dies auf die Entwicklung der Verkehrswelt haben wird.

2.2 Neue Mobilitätsangebote

Sobald erste autonome Fahrzeuge die technologischen, rechtlichen und ethischen Hürden überwunden haben, sind die Konsequenzen für das Verkehrsgeschehen und weiterer davon betroffener Aspekte potenziell gravierend. Nachfolgend soll ein Überblick über neue mögliche Mobilitätsprodukte und ein Vergleich zu bestehenden Angeboten gegeben werden.

Als neue Dienstleistungen schlagen Johnson et al. (2015) private, geteilte und gepoolte autonome Fahrzeuge vor. Der Einsatz eines privaten autonomen Autos unterscheidet sich von einem traditionellen privaten Auto dadurch, dass ersteres über autonome Standortwechsel die gesamte Mobilitätsnachfrage eines Haushalts abdecken kann, vorausgesetzt die Haushaltsmitglieder sprechen sich zeitlich entsprechend ab. Bei einer Analyse der sich zeitlich überlappenden Fahrten im U.S. National Household Survey, wurde errechnet, dass die Anzahl der Autos pro Haushalt in den USA allein durch private autonome Fahrzeuge von 2.1 auf 1.2 fallen könnte (Schoettle und Sivak, 2015b). Zusätzlich bieten selbstfahrende Fahrzeuge die Möglichkeit, das heutige Car-Sharing mit heutigen Taxiservices zu verschmelzen. Sogenannte Robotaxis könnten den Kunden abholen und, da der Fahrer wegfällt, bei sehr kompetitiven Preisen zum exakten Ziel chauffieren. Es wird angenommen, dass Uber und Lyft an diesem Modell interessiert sind, wenn sie sich an der Erforschung selbstfahrender Fahrzeuge beteiligen (Eadicicco, 2016).

Eine Studie durch Bösch et al. (2016), welche Robotaxis in Zürich betrachtete, kommt zur Erkenntnis, dass bei der Inkaufnahme einer maximal zehn-minütigen Wartezeit bis zu 90% der heutigen Autos durch die effizientere Nutzung eingespart werden könnten. Ähnliche Studien (Fagnant und Kockelman, 2014; Zachariah, Gao, Kornhauser und Mufti, 2014; Zhang, Spieser, Frazzoli und Pavone, 2015) bestätigen dieses Potential für andere Städte. Da der Flottenbetreiber über die exakten und vollständigen Reiseinformationen der Kunden verfügt, ist es zudem denkbar, dass sich Kunden mit sich überschneidenden Wegabschnitten ein gemietetes autonomes Fahrzeug zwecks einer weiteren Kostenreduktion teilen können. Erste solche Pooling-Dienste gibt es bereits heute, allerdings noch mit Taxis mit menschlichen Fahrern (Bridj, 2016; Uber, 2016). Für die vorliegende Betrachtung soll betont werden, dass die potentielle Bandbreite dieser Angebote nicht auf Taxis beschränkt bleiben muss. Sie reicht im Gegenteil im weitesten Sinne von einem zweisitzigen Auto bis zu einem liniengebunden autonomen Bus. Kritisch zu beurteilen ist bei diesem Mobilitätsangebot vor allem die empfundene Sicherheit der Kunden, sollten diese das Fahrzeug mit einigen wenigen anderen Kunden teilen müssen. So gaben in einer Studie in Texas lediglich 16,4% der Befragten an, mit Fremden ein Auto teilen zu wollen (Bansal und Kockelman, 2016). Sicherheitserhöhende Massnahmen, wie z.B. Videoüberwachung und strikte Zugangskontrollen, könnten gleichwohl Kunden abschrecken.

Stellt man diese Angebote den bereits zur Verfügung stehenden Mobilitätsangeboten gegenüber, zeigt sich das Potenzial substantieller Veränderungen des Modalsplits. Dadurch, dass bei vollautonomen Autos kein Führerschein mehr notwendig ist, sind Minderjährige und Menschen, die aus gesundheitlichen Gründen kein Auto führen dürfen, nicht mehr auf den Öffentlichen Verkehr (ÖV) und Taxis angewiesen. In diesem Zusammenhang ist bspw. auch denkbar, dass Schulkinder nicht mehr den Langsamverkehr oder den Schulbus wählen, sondern das private autonome Fahrzeug oder ein Robotaxi nutzen. Wird davon ausgegangen, dass der derzeitige ÖV sich bis zur Einführung autonomer Autos nicht ändert und die Kostenstrukturen daher gleich bleiben, werden die Fahrpreise im Vergleich zu einem selbstfahrenden Taxi oder gar pooled Taxi vermutlich nicht mehr kompetitiv sein. So errechnen Johnson et al. (2015), dass ein elektrischer, zweisitziger und als Robotaxi genutzter Kleinwagen, mit Kosten von \$0,12 pro Passagiermeile in den USA betrieben werden könnte. Es besteht die Möglichkeit, dass die öffentlichen Verkehrsbetriebe durch analoge Automatisierungen und / oder neue Zusatzdienste reagieren.

Zudem bieten Robotaxis verschiedene Vorteile gegenüber privaten Fahrzeugen, die über diejenigen der bestehenden Car-Sharing-Angebote weit hinausgehen. Wird der Kunde innerhalb von Minuten direkt an seinem Startort abgeholt und am Zielort von der Parkplatzsuche befreit, stellt sich, v.a. auch gegeben die oben genannten Preisstrukturen, vehement die Frage, ob sich der Besitz eines privaten Autos noch lohnt. Ebenfalls würden Robotaxis den administrativen

und finanziellen Aufwand für den Nutzer im Vergleich zu Privatfahrzeugen erheblich verringern. Es wird hierbei bspw. an den Steuern und Versicherungen, das Anmieten eines Parkplatzes und an die Notwendigkeit von Werkstattbesuchen gedacht. Nichtsdestotrotz gilt es zu bedenken, dass die Abdeckung in ländlichen Gebieten mit Robotaxis geringer sein wird und der Besitz eines privaten Fahrzeugs nicht frei von jeglicher emotionalen Komponente ist. So weisen Fraedrich und Lenz (2015) darauf hin, dass das „eigene Auto“ oft eine Bedeutung hat, die weit über die eines reinen Fortbewegungsmittels hinausgeht.

Im Gegensatz zu den oben genannten Verkehrsmitteln sind die möglichen Auswirkungen auf den Langsamverkehr weniger eindeutig. Sollte der Preis pro Passagierkilometer tatsächlich sehr niedrig sein und die Preise keine Fixkostenkomponente enthalten, besteht die Möglichkeit, dass die Kunden auch für kürzeste Strecken auf Robotaxis umsteigen. Demgegenüber steht jedoch ein Trend hin zu gesunden und grünen Lebensstilen, der allenfalls dem Langsamverkehr zugutekommt (Froböse und Kühne, 2013). Ebenfalls sollte die Kapazitätsbegrenzung des Verkehrssystems, gerade in dicht besiedelten Gebieten, einen zu starken Einbruch des Langsamverkehrs verhindern. Nichtsdestotrotz sind nach Auffassung der Autoren in diesem Punkt insbesondere die Städte gefragt, präventiv Massnahmen zu ergreifen, die ein verkehrspolitisch wünschenswertes Ergebnis fördern.

2.3 Präferenzen und Verhalten der Einwohner

Aus verkehrsplanerischer Perspektive sind jedoch nicht nur die künftigen Angebote samt derer verhältnismässig objektiv beurteilbaren Wettbewerbsvorteile relevant, sondern auch die Einstellung der Bevölkerung diesen gegenüber, sowie das durch sie induzierte Verhalten.

Es müssen deshalb deren Einstellungen gegenüber den verschiedenen Aspekten der vorhin beschriebenen Modelle untersucht werden. Es ist dabei sinnvoll, anzunehmen, dass die Software autonomer Fahrzeuge über bessere Fahreigenschaften als menschliche Fahrer verfügt. Diese Annahme scheint angesichts der bisherigen Unfallraten des Google-Prototyps (Schoettle und Sivak, 2015a) vertretbar. Des Weiteren ist anzunehmen, dass umweltschonende Antriebsarten das Verhalten umweltbewusster Einwohner beeinflussen. Von hoher Relevanz ist auch die Fragestellung, ob die Kunden bereit sind, das Fahrzeug an sich, bzw. im Falle von Pooling sogar die Fahrt, mit Fremden zu teilen, wie in Abschnitt 2.2 bereits erläutert.

Weiter muss erörtert werden, ob allenfalls die Reisezeit auf Grund anderwärtiger Beschäftigungen als weniger unangenehm empfunden wird, und somit die Zahlungsbereitschaft für Zeit-

einsparungen sinkt. Eine solche Änderung wäre insofern kritisch, als dies zu mehr und längeren Fahrten führen könnte. Dies führt zu einer zusätzlichen Belastung der Verkehrsinfrastruktur und an Engpässen zu Überlastungen, d.h. Staus. Diesbezüglich ist jedoch nicht nur bedeutsam, ob eine Freizeitaktivität weiter entfernt getätigt wird, sondern auch ob die Einwohner sich langfristig dazu entscheiden, eine grössere Distanz zwischen Wohn- und Arbeitsort in Kauf zu nehmen. Vor allem Letzteres würde eine weitere Zersiedlung begünstigen. Neben der angenehmeren Reise, sprechen auch die geringeren Transportkosten, siehe Abschnitt 2.2, für weitere (Pendler-)Wege. Darüber hinaus ermöglichen autonome Fahrzeuge auch jenen Arbeitnehmern die Autonutzung, welche keinen Parkplatz direkt am Arbeitsort zur Verfügung haben. Robotaxis steuern nach der Ankunft direkt den nächsten Kunden an, und ein privates autonomes Fahrzeug sucht sich selbstständig einen Parkplatz. Ebenfalls muss bei der Wohnortwahl keine Rücksicht mehr auf einen guten ÖV-Anschluss für Minderjährige genommen werden.

Gegen eine Zunahme der Zersiedelung spricht jedoch die zunehmende Variabilisierung der Reisekosten und die damit einhergehende Kostentransparenz für den Nutzer im Falle von Robotaxis. So enthalten die zu entrichtenden Fahrpreise für Robotaxis bei einer geringen Jahresgebühr auch Fixkostenkomponenten wie bspw. Steuerabgaben und die Versicherungskosten. Im klassischen Fahrzeugbesitz sind diese kurzfristig hingegen nicht entscheidungskritisch. Der Abriss von Parkhäusern durch die Reduktion der notwendigen Parkplätze bietet Potential für eine weitere Verdichtung der Zentren (Folsom, 2011). Nichtsdestotrotz sprechen die oben genannten Punkte dafür, dass Städte sich frühzeitig mit einer entsprechenden Entwicklung befassen müssen und proaktiv Massnahmen gegen die Zersiedlung ergreifen sollten. Die Annahme der Revision des Raumplangesetzes im Jahr 2013 spricht für einen diesbezüglichen Rückhalt in der Schweizer Bevölkerung (Schneeberger, 2013).

Auch wenn die Senkung der Transportkosten, die Einführung von Leerfahrten und die Erhöhung des Reisekomforts, sowie die Anzahl der Mobilitätsangebote auf eine höhere Nachfrage nach Mobilität schliessen lassen, haben andere Auswirkungen auch einen potentiell reduzierenden Effekt.

Beispielsweise ist beim Einkaufen, auf welches im Schnitt 12.8% des Tagesdistanz in der Schweiz entfallen (Bundesamt für Statistik (BFS), 2012), mit der Automatisierung eine weitere Verlagerung hin zum Online-Handel zu erwarten. So sind die Einwohner der Schweiz bereit im Schnitt 40 Franken auszugeben, um eine Stunde Fahrtzeit für das Einkaufen zu sparen (Schmid, Schmutz und Axhausen 2016). Zudem sind die Angebote des Online-Shoppings, zumindest im Non-Food-Bereich, bereits heute preislich sehr kompetitiv. Eine weitere Senkung der Lieferkosten durch den Wegfall des Fahrers, würde einen noch stärkeren Wettbewerbsvorteil gegenüber dem Detailhandel bedeuten. Vor allem im Food-Bereich könnte das Online-

Shopping durch niedrigere Lieferkosten, dadurch kleinere Mindestvolumina, und flexiblere und spontanere Lieferfenster, substantiell an Marktanteilen gewinnen.

Darüber hinaus können fahrerlose Lieferfahrzeuge auch ausserhalb der üblichen Geschäftszeiten liefern, was die Paketzustellung in den Abendstunden, in welchen die Kunden zu Hause antreffend sind, erleichtert. Sind die Kunden nicht anzutreffen, bieten die Paket-Automaten der Post (Die Schweizerische Post AG, 2016) die Möglichkeit einer personallosen Auslieferung.

Obwohl die Präferenzen der Konsumenten hinsichtlich der verschiedenen neuen Angebote noch nicht vollständig erhoben worden sind, und die Reihenfolge der Einführung, sowie die Interessen der Akteure einen Einfluss auf das künftige Verkehrsgeschehen haben, lässt sich bereits jetzt feststellen, dass vermutlich mit einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens gerechnet werden muss. Aus regulatorischer Perspektive bieten sich aber Möglichkeiten, der erhöhten Nachfrage entgegen zu wirken, bzw. die Kapazität der vorhandenen Infrastruktur zu erhöhen. Darauf soll im nächsten Abschnitt eingegangen werden.

2.4 Regulatorische Handlungsspielräume

Unmittelbare, regulatorische Massnahmen können insbesondere darauf abzielen, Leerfahrten und die Inanspruchnahme der Fahrzeuge für kurze Strecken unattraktiv zu gestalten bzw. zu beschränken. Wird davon ausgegangen, dass ein privates, autonomes Fahrzeug die Wege mehrerer Haushaltsmitglieder übernimmt, ist dies mit mehreren Leerfahrten zwecks Standortwechseln des Fahrzeugs verbunden. Zwar können Robotaxis dieses Phänomen durch eine effizientere Allokation von Fahrzeugkapazitäten abmildern, jedoch führen auch hier die Abholfahrten zu substantiellem Mehrverkehr (bspw. +15% in (Bösch et al., 2016)). Nimmt man noch das Phänomen unidirektionaler Pendlerströme zu verschiedenen Tageszeiten hinzu, was zu einem Nachfrageungleichgewicht und damit verbundener Leerverschiebungen der Robotaxis führt, verschlechtert sich die Situation weiter. Die Erhebung von Gebühren für Leerfahrten, welche jedoch eine Ausnahmegewilligung nach Artikel 82 Absatz 3 der Bundesverfassung (BV) benötigt, bzw. eine Beschränkung des Anteils der Leerfahrten an der Gesamtdistanz des Fahrzeugs, könnten den Privatkauf unattraktiv gestalten bzw. das Angebot von Flottenbetreibern, die, wie weiter oben erläutert, nur mit geringen variablen Kosten arbeiten müssen, einschränken. Dies könnte wiederum eine Chance für bestehende, effizientere Transportformen, wie bspw. Linienbusse und S-Bahnen, sein.

Ein weiterer, möglicher Eingriff wäre eine Grundtaxe für Robotaxis. Dies würde Robotaxis für Kürzeststrecken unattraktiv machen und damit den Langsamverkehr und ÖV stützen. Interes-

sant ist an dieser Stelle auch, dass die Distanz 70% aller MIV-Fahrten innerhalb Zürichs weniger als fünf Kilometer beträgt (ungewichtete Berechnungen auf Basis des Mikrozensus 2010 (Bundesamt für Statistik (BFS), 2012)). Wird angenommen, dass das Robotaxi den privaten Fahrzeugbesitz reduziert, könnte dieses Szenario sogar zu einer Verringerung von Kapazitätsengpässen führen.

Auf Grund der aktuellen Schweizer Gesetzeslage, welche Mauten nach Artikel 82 Absatz 3 der BV nur in Ausnahmefällen für zulässig erklärt, ist derzeit die Erhebung von nutzungsspezifischen Strassengebühren nur bedingt vorstellbar. Nichtsdestotrotz bietet diese Massnahme das Potenzial, Verkehrsmodi mit einem niedrigeren Flächen- und Energieverbrauch respektive mit niedrigeren Externalitäten relativ attraktiver zu machen. Es sollte deshalb die Aufgabe der Forschung sein, die Wirkungen entsprechender Massnahmen zu berechnen und zu präsentieren.

Des Weiteren kann ein hoher Verbreitungsgrad von Fahrzeugen mit Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation bzw. autonomen Fahreigenschaften neue regulatorische Handlungsspielräume eröffnen und zur Verbesserung des Verkehrsmanagements beitragen. So ergibt sich auf Autobahnen durch reduzierte Sicherheitsabstände, sofern erlaubt, und die gleichmässige Geschwindigkeit aller Fahrzeuge gemäss Tientrakool und Maxemchuk (2011) das Potenzial einer Kapazitätserhöhung von 273%. Nach den Berechnungen von Friedrich (2015) betragen die Kapazitätserhöhungen im Falle eines rein autonomen Verkehrs in der Stadt 40%, während auf Autobahnen mit 80% zu rechnen ist.

Stehen zudem exakte Verkehrsinformationen dem Grossteil der Verkehrsteilnehmer zur Verfügung und befolgen die autonomen Fahrzeuge die Routenvorschläge der Verkehrsleitbehörden, ist eine effizientere Auslastung der vorhandenen Infrastruktur wahrscheinlich. Kommunizieren die Fahrzeuge mit den Verkehrssystemen, ist zudem eine optimierte Ampelschaltung möglich. Wird weiter davon ausgegangen, dass Unfälle durch eine verbesserte Kommunikation zwischen den Fahrzeugen bzw. durch die Selbstfahrfunktionen weitestgehend vermieden werden können, ergibt sich ein zusätzlicher positiver Effekt auf den Verkehrsfluss (Sichitiu und Kihl, 2008).

3 Forschungsprojekt

Wie anfänglich erwähnt, bestehen grosse Unsicherheit über das Eintreten der verschiedenen Szenarien und die Interdependenzen zwischen den einzelnen Dimensionen. Dies stellt insbesondere eine Herausforderung für die sinnvolle Modellierung künftiger Varianten des Verkehrssystems dar. Hinzu kommt, dass zwar die Güte einer Vielzahl von Szenarien in einer agentenbasierten Simulation untersucht werden kann, die Konzeption und der Aufwand einer Stated-Preferences-Befragung jedoch nur eine begrenzte Flexibilität erlaubt. Des Weiteren erscheint es sinnvoll, diese Instrumente um tiefergehende Wettbewerbs- und Szenarioanalysen zu bereichern. Den allgemeinen Erläuterungen des Forschungskonzeptes folgt die Beschreibung eines Beispiels, um das Vorhaben weiter zu konkretisieren.

Es wird auf Grund der langfristigen Unsicherheiten vorgeschlagen, das Instrumentarium bestehend aus Stated-Preference-Befragung, agentenbasierter Simulation und Wettbewerbsanalyse zuerst im Rahmen einer kurzfristigen Perspektive anzuwenden. Diese charakterisiert sich dadurch, dass erste Mobilitätsprodukte unter Verwendung autonomer Fahrzeuge angeboten werden, jedoch keine Änderungen der Regularien und der Infrastruktur vorgenommen werden. Lediglich die Legalisierung der neuen Mobilitätsprodukte wird vorausgesetzt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass bestehende Anbieter ihr Produktportfolio noch nicht an die neuen Wettbewerbsverhältnisse adaptiert haben. Die kurzfristige Perspektive beschreibt also eine Welt in voraussichtlich ca. 10- 15 Jahren.

Um die Präferenzen gegenüber den neuen Transportalternativen zu erheben, wird eine Stated-Preferences-Befragung zur Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Damit werden Zahlungsbereitschaften für die neuen Mobilitätsangebote errechnet und die Marktanteile in Abhängigkeit von Attributen wie Fahrpreisen und Reisezeiten berechnet. Agentenbasierte Verkehrssimulationen sollen anschliessend unter Verwendung der vorhandenen Parameter Aufschluss geben über den Zusammenhang von Preisniveau und benötigter Flottengrösse zur Befriedigung der Nachfrage. Ebenfalls ist von Interesse, ab welcher Flottengrösse ein substantieller Einfluss auf die Kapazitätsauslastung kritischer Abschnitte im Strassensystem zu beobachten ist. Die Ergebnisse der Anwendungen beider Instrumente, agentenbasierte Simulation und Befragung, unterstützen die darauf folgende Wettbewerbsanalyse. Diese soll Aufschluss darüber geben, welche Produkte zueinander komplementär sind, sich substituieren oder vollkommen unterschiedliche Nachfrage-segmente bedienen.

Die gesammelten Informationen aus der Betrachtung der kurzfristigen Perspektive, welche die Kundenpräferenzen, die Auswirkungen auf das Verkehrssystemen und die Analyse von Wettbewerbsvorteilen umfassen, sollen dem Entwurf konsistenter Langfristszenarien dienen. In diesem Schritt müssen die vorhandenen Daten auch dazu genutzt werden, die Szenarien nach Wahrscheinlichkeiten zu klassifizieren. Im Unterschied zur kurzfristigen Betrachtung, werden den verschiedenen Akteuren nun mehr Handlungsspielräume eingeräumt. Dies schliesst bspw. auch induzierte Nachfrageänderungen der Einwohner ein. Die Langfristszenarien sollen eine Welt in ca. 30-40 Jahren beschreiben.

Die Beurteilung der Gesamteffekte der einzelnen Szenarien erfolgt wiederum mittels einer agentenbasierten Simulation. So können die Auswirkungen regulatorischer Eingriffe und der Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur untersucht werden. Das Ziel dieser Analysen ist eine Auswahl künftiger, kompetitiver Verkehrsmodi. Diesen gewählten Verkehrsmodi soll eine szenarioübergreifende Bandbreite an Attributniveaus zugeordnet werden, um in einem erneuten Stated-Preferences-Mode-Choice-Experiment verwendet werden zu können. Aus Konsistenzgründen sollen dieselben Personen befragt werden, wie in der ersten Erhebung zu den kurzfristigen Szenarien. Es ist offensichtlich, dass nicht alle Szenarien im Experiment abgebildet werden können. Die Auswahl soll nach Güte und Wahrscheinlichkeit erfolgen. Die aus dieser zweiten Befragung ermittelten Präferenzen zu den Langfristszenarien können in einem letzten Schritt zur Aktualisierung der agentenbasierten Simulationen genutzt werden. So ist zu beachten, dass bis zur Modellentwicklung auf Basis der zweiten Befragung, noch keine Aussagen über die Einstellungen der Probanden gegenüber späteren Angeboten vorliegen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die dargestellte Vorgehensweise nur wenige Annahmen zu Beginn des gesamten Experimentes erfordert. Darüber hinaus können die Entwicklungen der nächsten Jahre, sprich der kurzfristigen Perspektive, anhand der in Abschnitt 2 dargestellten Aussagen abgeschätzt werden. Die mit den Kurzfristbetrachtungen gesammelten Informationen bilden anschliessend das Fundament der langfristigen Perspektive. Auch wird mit diesem Ansatz das Ziel verfolgt, dass die Attributbandbreiten der zweiten Befragungen mehrere Regulierungsalternativen umfassen. Dies stellt die Eignung der erhobenen Daten auch für allfällige Folgeprojekte und –analysen sicher.

Um die abstrakte Vorgehensweise zu konkretisieren, wird in den folgenden Ausführungen ein beispielhafter Verlauf des Projektes beschrieben. Dieser stützt sich auf die im ersten Teil des Beitrags erwähnten Perspektiven.

Für das Stated-Preference-Mode-Choice-Experiment zu den Kurzfristszenarien ist es essentiell, die neuen Transportalternativen zu definieren. Auf Grund des sich massgeblich verändernden Transportangebots durch die Ermöglichung von Leerfahrten, werden Alternativen, die dies nicht ermöglichen, von den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Auch wird das in Abschnitt 2.2 definierte private, autonome Auto im Rahmen der kurzfristigen Perspektive ausgeschlossen, da mit der Einführung von Fahrzeugen, welche in jeglicher Umgebung keine Eingriffe des Fahrers benötigen erst in den nächsten Jahrzehnten gerechnet wird, wie weiter oben beschreiben. In Einklang mit den weiter oben erwähnten Prognosen von Chris Urmson, Leiter des Google Self-Driving Car Project, könnten jedoch (gepoolte) Robotaxis in einem begrenzten Gebiet zur Verfügung stehen. In der Befragung werden daher den bereits zur Verfügung stehenden Alternativen diese beiden neuen Angebote, Einzel- und Pooling-Robotaxis, hinzugefügt. Ein mögliches Ergebnis stellt dar, dass Robotaxis bereits zu derzeitigen Car-Sharing Preisen sehr kompetitiv sind und dem ÖV vor allem in Gebieten mit niedrigen ÖV-Güteklassen (Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), 2011) Marktanteile strittig machen. Weiter ist vorstellbar, dass für gepoolte, autonome Fahrzeuge selbst bei sehr niedrigen Preisen nur wenig Marktpotenzial vorhergesagt wird. Die auf diesen Erkenntnissen fundierte Simulation könnte nun ergeben, dass eine Flotte von 2000 Robotaxis, bei konservativ kalkulierten Kosten, die Nachfrage zu einem akzeptablen Servicelevel befriedigen kann, ohne jedoch weitere Kapazitätsengpässe auf den Strassen zu verursachen.

Die auf diesen Ergebnissen fussende, strukturierte Wettbewerbsanalyse könnte dann bspw. zum Schluss kommen, dass der existierende ÖV ohne Preisanpassungen in bestimmten Gebieten nicht mehr wettbewerbsfähig ist. Des Weiteren könnte sich der motorisierte Individualverkehr, auf Grund der Notwendigkeit der Parkplatzsuche und des Fahrens in Städtezentren, nur noch auf Fahrer begrenzen, welche als Skeptiker der neuen Technik kein Vertrauen schenken. Diese Erkenntnisse könnten anschliessend dazu genutzt werden, potenzielle, neue Produkte der bisherigen ÖV-Betriebe und der neuen Flottenbetreiber bereitzustellen. Beispielsweise ist es sehr wahrscheinlich, dass ein bestimmtes Kundensegment das Pooling-Angebot aus Sicherheitsgründen meidet und gleichzeitig nicht die nötige Zahlungsbereitschaft für ein gewöhnliches Robotaxi hat. Autonome Busse, sprich grossräumige Pooling-Angebote, könnten dieses Kundenpotenzial erschliessen.

In der weiteren Erstellung der Szenarien sind sowohl Preissenkungen des ÖV, wie auch der Flottenbetreiber relevant. Während aus der Perspektive des ÖV Handlungsspielräume bezüglich weiterer Automatisierungsmassnahmen bestehen, werden Fahrzeugproduzenten und Flottenbetreiber Skaleneffekte erzielen können. Auch spielen Schliessungen bzw. Kürzungen von ÖV-Linien eine Rolle. Darüber hinaus kann die Abnahme von Einkaufsfahrten durch kundenfreundlicheres Online-Shopping angenommen werden. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt,

dass der Einfluss der Zersiedlung weiterer Experimente bedarf und im Rahmen dieser Analysen voraussichtlich nicht berücksichtigt wird. Ebenfalls ist die Einführung privater autonomer Autos von hoher Bedeutung.

Es ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen durch einen zunehmenden Anteil an autonomen Fahrzeugen gravierend sein werden, woraufhin die Wirkungen der bereits erwähnten Regulierungsmassnahmen, wie Road Pricing und die Einschränkung von Leerfahrten, in erneuten agentenbasierten Simulationen untersucht werden. Denkbar ist an dieser Stelle, dass die Einschränkung von Leerfahrten, Pendler auf Grund der unidirektionalen Pendlerströme dazu bewegt, autonome Busse zu verwenden, statt Robotaxis oder das private autonome Fahrzeug. Ist im weiteren Verlauf zu beobachten, dass sich die Fahrtzeiten der Agenten bei einer Verringerung der gesamten Fahrzeugkilometer reduzieren, sollten sowohl die Attributniveaus als auch der autonome Bus in der langfristigen Stated-Preferences Mode Choice Befragung Berücksichtigung finden. Die mit der Umfrage ermittelten Einstellungen gegenüber autonomen Bussen könnten anschliessend wiederum in der agentenbasierten Simulation genutzt werden.

4 Schlussfolgerungen

Wie in den vorherigen Abschnitten erläutert, ist das Spektrum der möglichen Auswirkungen gross und demzufolge mit vielen Unsicherheiten behaftet. Es wurde argumentiert, dass die Szenarien nicht nur unter den Gesichtspunkten der technologischen Machbarkeit und den individuellen Kundenwünschen beurteilt werden sollten, sondern es sinnvoll ist die Effekte auf das gesamte Verkehrsgeschehen zu berücksichtigen. Zudem gilt es zu beachten, dass die einzelnen Mobilitätsprodukte in unterschiedlichen Zeiträumen marktreif sein werden und die dazwischen liegenden regulatorischen Eingriffe und das geänderte Kundenverhalten in Betracht gezogen werden sollten. Das dargestellte Forschungsvorhaben trägt genau dieser Problematik Rechnung indem es nach der Fristigkeit der Szenarien unterscheidet. So umfassen die langfristigen Szenarien Handlungsspielräume der beteiligten Akteure und basieren auf den Ergebnissen der kurzfristigen Analysen. Dies erfordert nur wenige Annahmen zu Beginn des Experimentes und wird den Interdependenzen zwischen dem Mobilitätsangebot, des Kundenverhaltens und den regulatorischen Eingriffen gerecht.

5 Literaturverzeichnis

- Adams, T. (2015) Self-driving cars: from 2020 you will become a permanent backseat driver, *The Guardian*, Abgerufen von <http://www.theguardian.com/technology/2015/sep/13/self-driving-cars-bmw-google-2020-driving>
- Bansal, P. und K. M. Kockelman, (2016) *Are Americans ready to embrace connected and self-driving vehicles? A case study of Texans*, Abgerufen von http://www.caee.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB17TxOpinionsCAVs.pdf
- Blum, I. (2007) Ursache: Menschliches Versagen. *Beobachter Kompakt*, **8**, 6–8. Abgerufen von http://www.beobachter.ch/fileadmin/user_upload/media/kompakt/18-07-06-Unfall.pdf
- Bridj (2016) Homepage Bridj, Abgerufen 29. Juni 2016 von <http://www.bridj.com/#how>
- Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) (2011) *ÖV-Güteklassen - Berechnungsmethodik ARE*, Abgerufen von www.are.admin.ch/dokumentation/publikationen/00024/00383/index.html?lang=de
- Bundesamt für Statistik (BFS) (2012) *Mobilität in der Schweiz - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*, BFS, Neuchâtel.
- Die Schweizerische Post AG (2016) Homepage My Post 24, Abgerufen 28. Juni 2016 von <http://tinyurl.com/zlbv6n5>
- Eadicicco, L. (2016) Uber's First Self-Driving Car Is Hitting the Streets, *Time*, 19. Mai 2016, Abgerufen von <http://time.com/4341517/uber-first-self-driving-car/>
- Elfström, S. (2016) Volvo Cars to launch UK's largest and most ambitious autonomous driving trial, Abgerufen 24. Juni 2016 von <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/189969/volvo-cars-to-launch-uks-largest-and-most-ambitious-autonomous-driving-trial>
- Fagnant, D. J. und Kockelman, K. M. (2014) The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **40**, 1–13.
- Folsom, T. C. (2011) Social ramifications of autonomous urban land vehicles, Vortrag, 2011 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS), Chicago.
- Friedrich, B. (2015) Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge, In M. Maurer, C. J. Gerdes, B. Lenz und H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, 331–350, Springer, Berlin.
- Froböse, F., und M. Kühne (2013) *Mobilität 2025 – Unterwegs in der Zukunft*, Gottlieb Duttweiler Institute and Swiss Federal Railways, Rüschlikon und Zürich.
- Google Self Driving Car Projekt (2016) Homepage Google Self Driving Car Project,

- Abgerufen 25. Juni 2016 von <https://www.google.com/selfdrivingcar/>
- Google Trends. (2016) Interest over time - Search terms: autonomous car; self-driving car, Abgerufen 27. Juni 2016 von <https://www.google.com/trends/explore#q=self-driving car, autonomous car&cmpt=q&tz=Etc/GMT-2>
- Johnson, B. A., Levy, D., Hempel, S., und P. Vogel (2015) *Disruptive Mobility*, Barclays - U.S. Autos & Auto Parts, New York.
- Korosec, K. (2015) Elon Musk Says Tesla Vehicles Will Drive Themselves in Two Years, *Fortune*, 21. Dezember 2015, Abgerufen von <http://fortune.com/2015/12/21/elon-musk-interview/>
- Lenz, B., und E. Fraedrich (2015) Vom (Mit-)Fahren: autonomes Fahren und Autonutzung, In M. Maurer, C. J. Gerdes, B. Lenz und H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren*, 687–708, Springer, Berlin.
- Litman, T. (2014) Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning, Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Washington DC, Januar 2014.
- Lohmann, M. F. (2015) Erste Barriere für selbstfahrende Fahrzeuge überwunden – Entwicklungen im Zulassungsrecht, Abgerufen 26. Juni 2016 von <http://sui-generis.ch/17>
- Lohmann, M. F., und A. Rusch (2015) Fahrassistenzsysteme und selbstfahrende Fahrzeuge im Lichte von Haftpflicht und Versicherung, *HAVE*, 4, 349-355.
- NHTSA. (2013) U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development. Abgerufen 26. Juni 2016 von <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>
- Probst, T. (2016) Die Benutzung (teil-)autonomer Motorfahrzeuge im Strassenverkehr aus haftpflichtrechtlicher Sicht, Vortrag, Schweizerische Strassenverkehrsrechtstagung, Freiburg, Juni 2016.
- Raths, O. (2015) Welches selbstfahrende Auto unsere Strassen erobern könnte, *Tagesanzeiger*, 30. April 2015.
- Riedo, C. und S. Maeder (2016) Die Benutzung automatisierter Motorfahrzeuge aus strafrechtlicher Sicht, Vortrag, Schweizerische Strassenverkehrsrechtstagung, Freiburg, Juni 2016.
- Schmid, B, Schmutz, S. und K. W. Axhausen (2016) Post-Car World: Exploring the choice between in-store and online shopping, 16. Swiss Transport Research Conference, Ascona, Mai 2016.
- Schneeberger, P. (2013) Fast flächendeckendes Ja zu weniger Laisser-faire im Raum, *Neue Zürcher Zeitung*, 3. März 2016.

- Schoettle, B., und M. Sivak (2015a) *A Preliminary Analysis of Real-World Crashes Involving Self-Driving Vehicles*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Arbeitsbericht.
- Schoettle, B., und M. Sivak (2015b) *Potential impact of self-driving vehicles on household vehicle demand and usage*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Arbeitsbericht.
- Schoop, F. (2015) Das grösste Sicherheitsproblem ist der Mensch, *Tagesanzeiger*, 12. Mai 2015.
- Sichitiu, M. L., und M. Kihl (2008) Inter-vehicle communication systems: a survey, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **10**, 88–105.
- Tam, D. (2015) Google's Sergey Brin: You'll ride in robot cars within 5 years, Abgerufen 27. Juni 2016 von <http://www.cnet.com/news/googles-sergey-brin-youll-ride-in-robot-cars-within-5-years/>
- Tientrakool, P., Ho, Y. C., und N. F. Maxemchuk (2011) Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors for Collision Avoidance, Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE.
- Toyota. (2015) New Toyota Test Vehicle Paves the Way for Commercialization of Automated Highway Driving Technologies, Abgerufen 24. Juni 2016 von <http://newsroom.toyota.co.jp/en/detail/9753831/>
- Uber (2016) Homepage uberPOOL, Abgerufen 29. Juni 2016 von <https://www.uber.com/ride/uberpool/>
- Urmson, C. (2016) Google Self-Driving Car Project, Vortrag, *South by Southwest (SXSW)*, Austin, März 2016.
- Walker, J. (2015) Self-Driving Cars: A Coming Congestion Disaster?, Abgerufen 27. Juni 2016 von <http://humantransit.org/2015/11/self-driving-cars-a-coming-congestion-disaster.html>
- Working Party on Road Traffic Safety (WP.1) (2014) *Report of the sixty-eighth session of the Working Party on Road Traffic Safety Contents*, Economic Commission for Europe, Genf.
- Zachariah, J., Gao, J., Kornhauser, A., und T. Mufti (2014) Uncongested Mobility for All: A Proposal for an Area Wide Autonomous Taxi System in New Jersey, Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC, Januar 2016.
- Zhang, R., Spieser, K., Frazzoli, E., und M. Pavone (2015) Models, Algorithms, and Evaluation for Autonomous Mobility-On-Demand Systems, Vortrag, American Control Conference, 2573–2587, Chicago, Juli 2015.