
Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge

Jonas Meyer
Patrick M. Bösch
Henrik Becker
Kay W. Axhausen

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung

1220
November 2016

Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung

1220

Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge

Jonas Meyer
IVT, ETH Zürich

Patrick M. Bösch
IVT, ETH Zürich
Stefano-Frascini-Platz 5
CH-8093 Zürich

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

Henrik Becker
IVT, ETH Zürich
Stefano-Frascini-Platz 5
CH-8093 Zürich

Kay W. Axhausen
IVT, ETH Zürich
Stefano-Frascini-Platz 5
CH-8093 Zürich

henrik.becker@ivt.baug.ethz.ch

axhausen@ivt.baug.ethz.ch

November 2016

Kurzfassung

Autonome Fahrzeuge versprechen, das Reisen zu günstigeren Preisen angenehmer zu machen und gleichzeitig die Strassenkapazität zu erhöhen. In dieser Arbeit wurde der Einfluss autonomer Fahrzeuge auf die Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden untersucht. Die Resultate zeigen, dass die erwarteten Erreichbarkeitswirkungen mehr als einem Jahrzehnt an Infrastrukturinvestitionen entsprechen, wobei ihre räumliche Verteilung eine weitere Zersiedelung begünstigen könnte. Weiter wurde gezeigt, dass autonome Fahrzeuge potentiell den heutigen Öffentlichen Verkehr, bis auf dichte Stadtzentren, überflüssig machen könnten.

Schlagworte

Autonome Fahrzeuge, Erreichbarkeit, ÖV, Selbstfahrende Fahrzeuge

Zitierungsvorschlag

Meyer, J., P.M. Bösch, H. Becker und K.W. Axhausen (2016) Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **1220**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

1 Einleitung

Vollautonome Fahrzeuge („vollautomatisiertes Fahren“ gemäß Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [1]), wie sie in dieser Arbeit angenommen werden, versprechen eine tiefgreifende Revolution der Mobilität. Sie versprechen, Autofahren sicherer, günstiger, angenehmer und nachhaltiger zu machen, sowie das selbständige Benutzen von Autos auch Kindern, Älteren und Behinderten zu ermöglichen [2]–[6]. Abhängig vom Szenario versprechen sie auch eine substantielle Reduktion der Fahrzeugflotte [7]–[13], sowie markante Kapazitätsgewinne für die Straße [14]–[17].

Gehen all diese Erwartungen in Erfüllung, werden autonome Fahrzeuge nicht nur unsere Mobilität revolutionieren, sondern auch das Stadtbild grundlegend verändern. Indem sie die generalisierten Kosten des Reisens reduzieren, dürften sie neue Verkehrsnachfrage induzieren [18] und eine neue Welle der Suburbanisierung und Zersiedelung anstoßen [19]. Die in diesem Bericht präsentierte Arbeit ist ein erster Versuch, diese Effekte auf nationaler Ebene, hier für die Schweiz, zu untersuchen. Die Betrachtung des Einflusses autonomer Fahrzeuge auf die Erreichbarkeiten [20] baut auf früheren Forschungsarbeiten [5], [21] auf. Diese Arbeit bietet aber erweiterte Erkenntnisse bezüglich Veränderungen der Reisenachfrage, und damit in Konsequenz auch bezüglich der Zukunft des öffentlichen Verkehrs (ÖV) und bezüglich zukünftigen (sub-)urbanen Lebenswelten.

1.1 Wirkungen autonomer Fahrzeuge

Autonome Fahrzeuge versprechen große Kapazitätsgewinne auf den Straßen. Basierend auf theoretischen Verkehrsflussanalysen erwartet bspw. Friedrich [14] für eine Welt mit ausschließlich vollautomatisierten Fahrzeugen gegenüber heute Kapazitätsgewinne von bis zu 80% auf Autobahnen und von bis zu 40% auf urbanen Straßen. Diese Kapazitätsgewinne entstehen im Wesentlichen durch kürzere Reaktionszeiten der autonomen Fahrzeuge, die aber nach wie vor dieselben Dimensionen und für Menschen akzeptable Minimalabstände aufweisen. Tien-trakool et al. [15] vernachlässigen diese Einschränkungen und kommen mit vollautonomen und vernetzten Fahrzeugen auf mögliche Kapazitätsgewinne von bis zu 270%. Diese Gewinne können als optimistische, obere technische Grenzen gesehen werden, wenngleich andere, bspw. Brownell [17] oder Fernandes und Nunes [16], sogar noch höhere Werte voraussagen.

Vollautonome Fahrzeuge ermöglichen auch heutigen Lenkern, sich während der Fahrt anderen Aktivitäten, wie bspw. Schlafen, Telefonieren oder Arbeiten, zu widmen und heben damit einen

der wesentlichen Wettbewerbsvorteile des heutigen ÖV auf. Können autonome Fahrzeuge zudem durch geteilte Nutzung zu vergleichsweise geringen Kosten betrieben werden, dürften sie sich zu einer ernsthaften Konkurrenz für die heutigen Verkehrsmittel entwickeln.

1.2 Erreichbarkeit

Das Hauptziel dieser Arbeit ist, die Wirkung autonomer Fahrzeuge auf die Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden zu schätzen. Erreichbarkeit [20] beschreibt für einen Ort, wie gut dieser mit Angeboten, wie bspw. Arbeitsplätzen oder Freizeit- und Einkaufsmöglichkeiten, verbunden ist. Sie ist ein Schlüsselindikator für die soziale und wirtschaftliche Attraktivität eines Ortes und bestimmt damit maßgeblich seine zukünftige Entwicklung.

Die in dieser Arbeit verwendete Form der Erreichbarkeit E_i eines Ortes i berechnet sich aus der gewichteten Summe sozialer und/oder wirtschaftlicher Attraktionen X_j in der Umgebung (Formel 1). Die Gewichtung erfolgt dabei nach den generalisierten Kosten c_{ij} , die für das Erreichen der Möglichkeit aufgewendet werden müssen.

$$E_i = \sum_{c_{ij}} X_j \times f(c_{ij}) \quad (1)$$

In dieser Arbeit werden die Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden mit den Reisezeiten berechnet, die nach Gleichgewichtsumlegung der Nachfrage im Nationalen Personenverkehrsmodell der Schweiz (NPVM) resultieren. Als Attraktivitätsmass wurde die Anzahl Arbeitsplätze eines Ortes gewählt, als Gewichtungsfunktion (Formel 2):

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}} \quad (2)$$

Dabei wurde für den Skalierungsfaktor β nach Axhausen et al. [22] der Wert 0.2613 gewählt.

2 Experimente

Autonome Fahrzeuge werden das Verkehrssystem auf verschiedenste Weisen beeinflussen und verändern. Da jedoch noch völlig unklar ist, in welcher Form sie künftig angeboten und genutzt werden, wurden verschiedene Szenarien untersucht:

- Szenario 1: Autonomes Fahren ist nur auf Hauptstraßen ausserorts und auf Autobahnen erlaubt. Da sich die Attraktivität der Autos dadurch nur für Fernfahrten ändert und nach wie vor ein Führerschein benötigt wird, werden noch keine Änderungen in der Nachfrage angenommen.
- Szenario 2: Vollautonomes Fahren ist möglich und auch innerorts erlaubt, was neue Nutzergruppen erschließt. Die Fahrzeuge befinden sich jedoch weiterhin im Privatbesitz und werden vornehmlich innerhalb des eigenen Haushalts geteilt. Durch die Möglichkeit von Leerfahrten werden sie intensiver genutzt. Die neue, zusätzliche Verkehrsnachfrage durch die neuen Nutzergruppen wurde, basierend auf dem Mikrozensus der Schweiz 2010 [23], auf 10% geschätzt [24]. Das Ausmaß an Leerfahrten hängt stark von den zukünftigen Regulationen und Preisstrukturen ab und wurde daher mit 0.5 bis 1.5 Leerfahrten pro Person und Tag abgeschätzt.
- Szenario 3: Vollautonomes Fahren ist möglich und auch innerorts erlaubt. Die Fahrzeuge stehen über ein geteiltes System allen zur Verfügung. Das Angebot entspricht demjenigen heutiger Taxis. Da große Anbieter solche Systeme individuelle Tür-zu-Tür-Fahrten kostengünstig anbieten können, wird angenommen, dass heutige ÖV-Nutzer ebenfalls zu geteilten, autonomen Fahrzeugen wechseln. Basierend auf der Arbeit von Bösch et al. [7] wurde berechnet, dass ein solches System rund 15% Leerfahrten zusätzlich zur totalen Verkehrsnachfrage verursacht.

Für alle drei Szenarien werden die Kapazitätswirkungen nach Friedrich [14] (78% Kapazitätssteigerung ausserorts und 40% Kapazitätssteigerungen innerorts) als die tieferen, konservativen Werte übernommen, während die Wirkungen nach Tientrakool et al. [15] (plus 270% ausserorts) als die oberen, optimistischen Grenzen gelten sollen. Im Falle von Tientrakool et al. werden für innerorts auch die 40% Steigerung nach Friedrich [14] angenommen.

Als Verkehrsmodell wurde für diese Arbeit die Abendspitzenstunde (17.00 Uhr bis 18.00 Uhr) [23] der Projektion für das Jahr 2030 des Nationalen Personenverkehrsmodells der Schweiz [25] verwendet, welches auch als Referenzszenario dient. Die Verkehrsnachfrage basiert dem-

nach auf den Daten des Jahres 2005, die mit den offiziellen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstumsprognosen des Bundesamts für Statistik (BFS) [26] skaliert wurden. Das Modell vernachlässigt den Binnenverkehr innerhalb der Zonen, sowie innerstädtischen Verkehr.

Da das Nationale Personenverkehrsmodell keine Kreuzungskapazitäten berücksichtigt, wurden nur die Straßenkapazitäten angepasst. Die Nachfrageänderungen wurden über entsprechende Skalierungen der Nachfragematrizen umgesetzt. Der Güterverkehr bleibt in allen Szenarien unverändert.

Für die Verbindung von Nachfrage und Kapazität mit den Reisezeiten nutzt das NPVM [25] die BPR-Funktion [27] (Formel 3),

$$t_{\text{aktuell}} = t_0 \times \left(1 + \alpha \times \left(\frac{q}{q_{\text{max}}} \right)^\beta \right) \quad (3)$$

wobei q die Nachfrage, q_{max} die Kapazität der Kante und α und β streckentyp-abhängige Parameter sind. Es wird damit implizit angenommen, dass die BPR-Funktion auch für autonome Fahrzeuge gilt.

3 Resultate

3.1 Resultate Szenario 1

Sowohl für konservative, wie auch für optimistische Kapazitätsgewinne können substantielle Erreichbarkeitsgewinne für alle Regionen der Schweiz beobachtet werden. Bevölkerungsgewichtet liegt der durchschnittliche Erreichbarkeitsgewinn zwischen 10% und 14%. Bei Gemeinden in abgelegenen Alpengebieten zeigen sich nur geringe Veränderungen.

3.2 Resultate Szenario 2

Die extremste Variante von Szenario 2, d.h. 1.5 Leerfahrten pro Person und Tag, entspricht einer Verkehrszunahme von 53% zusätzlich zum 10%-Zuwachs aufgrund der neuen Nutzergruppen. Für diese Variante können vor allem im konservativen Kapazitätsszenario im Verhältnis zum Referenzszenario nur für ländliche Gemeinden des Mittellandes kleine Erreichbarkeitsgewinne beobachtet werden, während für die großen Agglomerationen, insbesondere Genf, Lausanne, Basel, Zürich und St.Gallen, sogar Erreichbarkeitsverluste auftreten. Das bevölkerungsgewichtete Mittel der Erreichbarkeitsveränderungen sinkt damit auf nahezu Null. Im Gegensatz dazu verspricht das optimistische Kapazitätsszenario einen bevölkerungsgewichteten Erreichbarkeitsgewinn von 10%. Nur 2% der Gemeinden zeigen einen Verlust.

3.3 Resultate Szenario 3

Erneut werden hier nur die Resultate der Extremvariante von Szenario 3 präsentiert, in welchem die Nachfrage nach dem neuen Angebot aus der gesamten prognostizierten Autonachfrage plus der gesamten prognostizierten ÖV-Nachfrage plus 15% Leerfahrten besteht. Aufgrund der räumlichen Unterschiede in der ÖV-Nachfrage reicht das Nachfrageplus durch die ÖV-Nachfrage von 0% für einige ländliche Gemeinden bis zu 180% im Stadtzentrum Zürichs. Es zeigt sich für das konservative Kapazitätsszenario (Abbildung 1), dass die substantiellen Erreichbarkeitsgewinne auf dem Land mit Erreichbarkeitsverlusten in den Agglomerationen Bern und Zürich von bis zu 29% einhergehen. Insgesamt würden zwar 85% der Gemeinden von einer höheren Erreichbarkeit profitieren, bevölkerungsgewichtet bedeutet dies allerdings nur eine Erreichbarkeitssteigerung um 1%.

Betrachtet man das optimistische Kapazitätsszenario (Abbildung 2), ergeben sich wiederum für

nahezu die ganze Schweiz substantielle Erreichbarkeitssteigerungen – im Mittel um 10%. Einzige Ausnahmen bilden die beiden Städte Bern und Zürich.

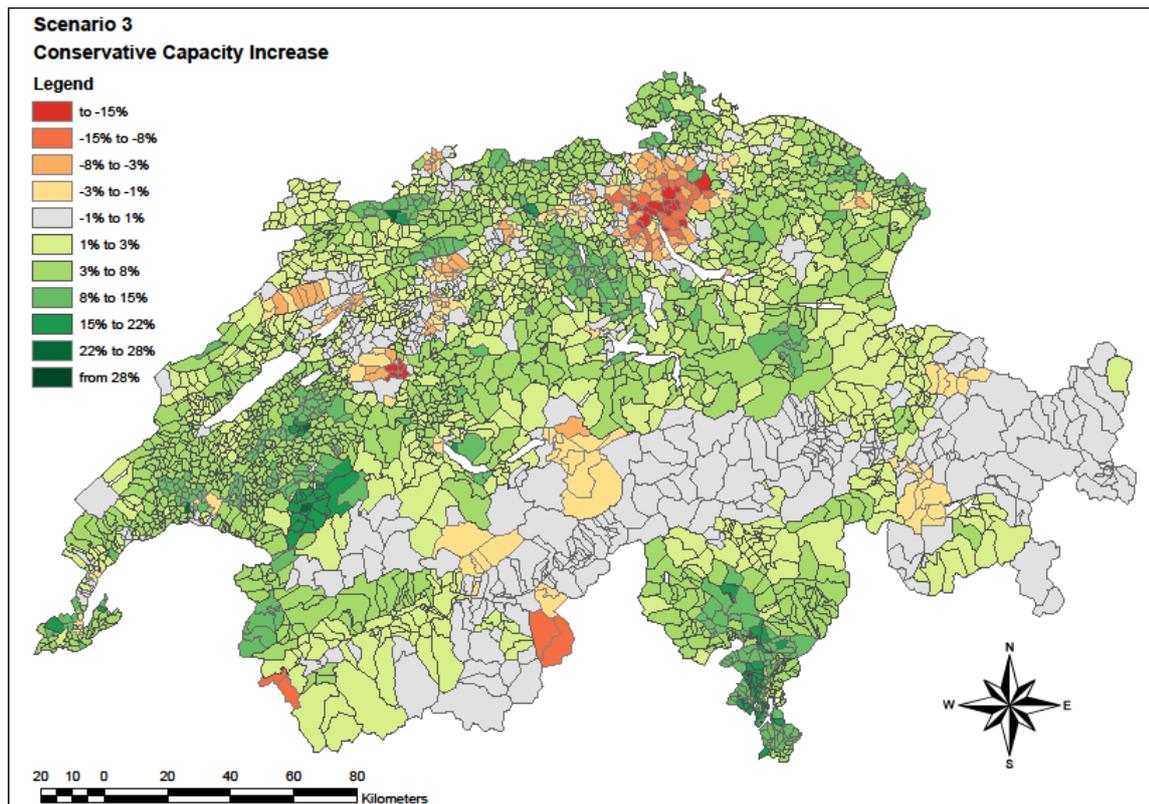


Abbildung 1: Relative Erreichbarkeitsveränderungen - Szenario 3 - Konservative Kapazitätssteigerung

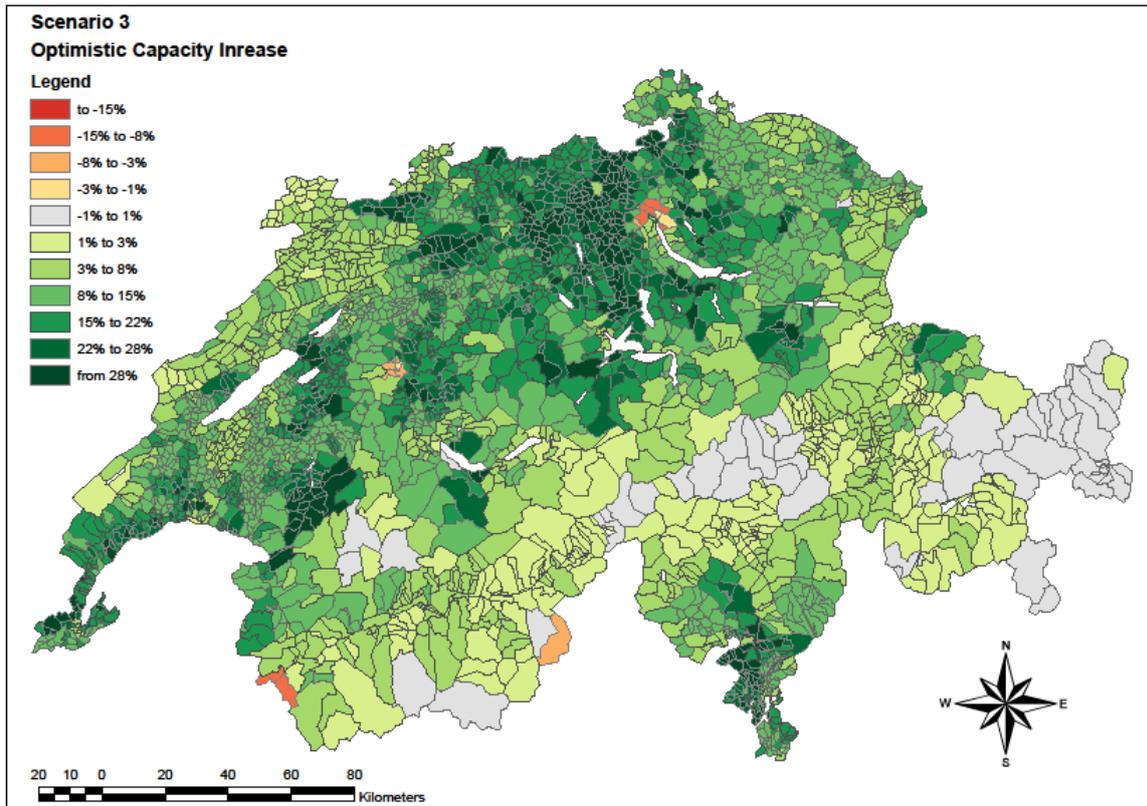


Abbildung 2: Relative Erreichbarkeitsveränderungen - Szenario 3 - Optimistische Kapazitätssteigerung

4 Diskussion

Autonome Fahrzeuge werden die Erreichbarkeitsverteilungen der Schweizer Gemeinden substantiell verändern. In allen drei Szenarien können dabei drei Regionen gut unterschieden werden:

Abgelegene, alpine Gemeinden werden kaum beeinflusst. Bereits im Referenzszenario liegt hier die Nachfrage weit unter der Kapazitätsgrenze der Straßen.

Den größten positiven Einfluss haben autonome Fahrzeuge auf die Erreichbarkeit von gut erschlossenen, ländlichen Gemeinden des Mittellandes und des Tessins. Während der Spitzenstunde wird hier im Referenzszenario der Zugang zu den großen Agglomerationen durch Stau auf Hauptstraßen und Autobahnen substantiell eingeschränkt. Der Kapazitätsgewinn reduziert hier deshalb die Reisezeiten besonders stark.

Die dritte Region bilden die großen Städte und ihre Agglomerationen. Hier werden nur schwache oder sogar negative Effekte beobachtet. Das ist darauf zurückzuführen, dass die relative Zunahme an Nachfrage zu und von den Städten die relative Zunahme der Kapazitäten übersteigt. Vor allem in Szenario 3 sind die Nachfragezunahmen für diese Gebiete durch den heute hohen Verkehrsmittelwahlanteil des ÖVs in den großen Agglomerationen extrem.

Die Untersuchung des induzierten Verkehrs gemäß Weis und Axhausen [28], welche auf Szenario 3 angewandt wurde [24], ergab kaum induzierte Verkehrsnachfrage (1% der Gesamtnachfrage) und damit auch kaum weitere Veränderungen in der Erreichbarkeit durch den induzierten Verkehr. Die Methodik ist jedoch explizit für kleine Veränderungen des Verkehrssystems ausgelegt und damit auf den Fall Autonomer Fahrzeuge nur bedingt anwendbar.

Eine weitere interessante Beobachtung ist, dass bei konservativen Kapazitätsannahmen die drei Szenarien in völlig unterschiedlichen Erreichbarkeitsbildern resultierten, während bei optimistischen Kapazitätsannahmen nur geringe Unterschiede zu beobachten waren. Das bedeutet, je grösser der technisch erreichbare Kapazitätsgewinn auf der Straße, desto weniger spielt es für die Erreichbarkeiten eine Rolle, in welchem System autonome Fahrzeuge angeboten werden.

Ziel dieser Arbeit ist eine erste Einschätzung des Umfangs der Erreichbarkeitswirkungen der autonomen Fahrzeuge. Sie beruht auf diversen Annahmen und Vereinfachungen, welche mit empirischen Daten überprüft werden müssen, sobald diese verfügbar sind. Eine der stärksten Annahmen ist die Vernachlässigung der Kostenstrukturen. Diese sind jedoch entscheidend, um in einem nächsten Schritt nicht nur die möglichen Erreichbarkeitswirkungen, sondern auch die Konkurrenz zwischen autonomen Fahrzeugen und dem ÖV realistisch abbilden zu können.

5 Fazit

Die Resultate dieser Arbeit lassen erwarten, dass autonome Fahrzeuge zu substantiellen Erreichbarkeitsgewinnen führen werden. Vergleicht man diese Erreichbarkeitswirkungen mit historischen Daten [29], zeigt sich, dass sie vergleichbar sind mit mehr als einem Jahrzehnt an Infrastrukturinvestitionen. Besonders beeindruckend ist, dass diese Erreichbarkeitsgewinne erzielt wurden, während gleichzeitig die gesamte ÖV-Nachfrage auf die Straße umgelegt wurde und ohne dass Optimierungsmaßnahmen, wie bspw. „Ride Sharing“, „Mobility Pricing“ oder höhere Geschwindigkeiten implementiert wurden.

Der Einfluss autonomer Fahrzeuge auf die Landnutzung dürfte damit erheblich sein. Betrachtet man die Muster der Erreichbarkeitsgewinne genauer, zeigt sich, dass gut erschlossene, ländliche Gemeinden große Erreichbarkeitsgewinne aufweisen, während dem die Effekte in den Agglomerationen und Städten weniger stark oder sogar negativ sind. Die Geschichte zeigt, dass solche Muster den Weg zu weiterer Zersiedelung bereiten [19], [30]. Es wird deshalb dringend empfohlen, diesen Entwicklungen mit proaktiver Raum- und Verkehrsplanung zu begegnen.

Zudem deuten die Ergebnisse an, dass autonome Fahrzeuge in einem Konkurrenzverhältnis zum heutigen ÖV stehen werden. Es konnte gezeigt werden, dass aus Kapazitätsperspektive selbst im Extremfall (tiefe Kapazitätsgewinne, große Nachfragesteigerungen, Spitzenstundensituation und keine Angebotsoptimierung) Flotten autonomer Fahrzeuge grundsätzlich in der Lage sein werden, die vollständige Verkehrsnachfrage bis auf die großen Agglomerationen zu bedienen. Kombiniert mit den tiefen Preisen, zu denen solche Flotten von geteilten, autonomen Fahrzeugen voraussichtlich betrieben werden können [31], lassen diese Resultate erwarten, dass die Zukunft des ÖVs in seiner heutigen Form nur noch davon abhängt, inwieweit die mit autonomen Fahrzeugen erwarteten Kapazitätsgewinne auf der Straße tatsächlich realisiert werden können.

6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Info-Papier ‚automatisiertes Fahren‘“, 2014.
- [2] D. J. Fagnant und K. M. Kockelman, „Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations for Capitalizing on Self-Driven Vehicles“, in 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2014.
- [3] L. D. Burns, „Sustainable mobility: A vision of our transport future“, *Nature*, Bd. 497, S. 181–182, 2013.
- [4] J. M. Lutin, A. L. Kornhauser, und E. Lerner-Lam, „The Revolutionary Development of Self-Driving Vehicles and Implications for the Transportation Engineering Profession“, *ITE Journal*, Bd. 83, Nr. 7, 2013.
- [5] J. M. Anderson, N. Kalra, K. D. Stanley, P. Sorensen, C. Samaras, und O. A. Oluwatola, *Autonomous Vehicle Technology - A Guide for Policymakers*. Santa Monica, California: Rand Corporation, 2014.
- [6] L. Raymann, „Kapazität und Leistung versus Umwelt und Klima - Wirkungen des Einsatzes automatischer Fahrzeuge im Sinne einer Nachhaltigen Mobilität“, *its-ch*, Report, 2016.
- [7] P. M. Bösch, F. Ciari, und K. W. Axhausen, „Required Autonomous Vehicle Fleet Sizes to Serve Different Levels of Demand“, *Transportation Research Record*.
- [8] D. J. Fagnant und K. M. Kockelman, „The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios“, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Bd. 40, S. 1–13, 2014.
- [9] D. Zhang u. a., „Understanding taxi service strategies from taxi GPS traces“, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Bd. 16, Nr. 1, S. 123–135, 2015.
- [10] L. D. Burns, W. Jordan, und B. Scarborough, „Transforming personal mobility“, *The Earth Institute, Columbia University*, Report, 2013.
- [11] J. Zachariah, J. Gao, A. Kornhauser, und T. Mufti, „Uncongested Mobility for All: A Proposal for an Area Wide Autonomous Taxi System in New Jersey“, in 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2014, S. 1–14.
- [12] L. M. Martinez, „Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic“, *OECD/ITF*, 2015.
- [13] K. M. Kockelman, D. T. Chen, K. M. Kockelman, und J. P. Hanna, „Implications of a Shared, Autonomous, Electric Vehicle (SAEV) Fleet“, in 14th International Conference on Travel Behaviour Research, 2015.

- [14] B. Friedrich, „Verkehrliche Wirkung Autonomer Fahrzeuge“, in *Autonomes Fahren*, M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, und H. Winner, Hrsg. Berlin: Springer-Verlag, 2015, S. 331–350.
- [15] P. Tientrakool, Y.-C. Ho, und N. F. Maxemchuk, „Highway capacity benefits from using vehicle-to-vehicle communication and sensors for collision avoidance“, in *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2011.
- [16] P. Fernandes und U. Nunes, „Platooning of autonomous vehicles with intervehicle communications in SUMO traffic simulator“, in *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2010, S. 1313–1318.
- [17] C. K. Brownell, „Shared Autonomous Taxi Networks: An Analysis of Transportation Demand in NJ and a 21st Century Solution for Congestion“, Bachelor Thesis, Department of Operations Research and Financial Engineering, Princeton University, 2013.
- [18] P. J. Hills, „What is induced traffic?“, *Transportation*, Bd. 23, Nr. 1, S. 5–16, 1996.
- [19] E. L. Glaeser und M. E. Kahn, „Sprawl and Urban Growth“, in *Handbook of Regional and Urban Economics*, Volume 4, J. V Henderson und J. F. Thisse, Hrsg. Elsevier, 2003, S. 2482–2527.
- [20] W. G. Hansen, „How Accessibility Shapes Land Use“, *Journal of the American Institute of Planners*, Bd. 25, Nr. 2, S. 73–76, 1959.
- [21] D. Heinrichs, „Autonomes Fahren und Stadtstruktur“, in *Autonomes Fahren*, M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, und H. Winner, Hrsg. Berlin: Springer-Verlag, 2015, S. 219–239.
- [22] K. W. Axhausen, T. Bischof, R. Fuhrer, R. Neuenschwander, G. Sarlas, und P. Walker, „Gesamtwirtschaftliche Effekte des öffentlichen Verkehrs mit besonderer Berücksichtigung der Verdichtungs- und Agglomerationseffekte“, SBB Fonds für Forschung, Berne and Zurich, Final Report, 2015.
- [23] Bundesamt für Statistik (BFS), „Mobilität in der Schweiz - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010“, Neuchatel, Report, 2012.
- [24] J. Meyer, „Sind die AV die neuen Autobahnen? Autonome Fahrzeuge in der Mobilität der Schweiz“, Bachelor Thesis, ETH Zürich, 2016.
- [25] Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), „Nationales Personenverkehrsmodell“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.are.admin.ch/themen/verkehr/00256/00513/index.html?lang=en>. [Zugegriffen: 08-Juli-2016].
- [26] Bundesamt für Statistik (BFS), „Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005-2050“, Neuchatel, Report, 2006.

- [27] Bureau of Public Roads, „Traffic Assignment Manual“. Washington, D.C., 1964.
- [28] C. Weis, „Activity oriented modelling of short- and long-term dynamics of travel behaviour“, PhD Thesis, ETH Zurich, Zurich, 2012.
- [29] P. Fröhlich, M. Tschopp, und K. W. Axhausen, „Development of the accessibility of Swiss municipalities: 1950 to 2000“, *Raumforschung und Raumordnung* 63, Report, 2006.
- [30] T. J. Nechyba und R. P. Walsh, „Urban Sprawl“, *Journal of Economic Perspectives*, Bd. 18, Nr. 4, S. 177–200, 2004.
- [31] B. A. Johnson, „Disruptive Mobility“, Barclays, Research Report, 2015.

Die *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung* dienen der schnellen Verbreitung der Ergebnisse der Arbeit der Mitarbeitenden und Gäste des Instituts. Die Verantwortung für Inhalt und Gestaltung liegt alleine bei den Autor/innen.

The *Working Papers Traffic and Spatial Planning* are intended for the quick dissemination of the results of the members and guests of the Institute. Their content is the sole responsibility of the authors.

Eine vollständige Liste der Berichte kann vom Institut angefordert werden:

A complete catalogue of the papers can be obtained from:

IVT ETHZ
ETH Hönggerberg (HIL)
CH - 8093 Zürich

Telephon: +41 1 633 31 05

Telefax: +41 1 633 10 57

E-Mail: sekretariat@ivt.baug.ethz.ch

WWW: www.ivt.baug.ethz.ch

Der Katalog kann auch abgerufen werden von:

The catalogue can also be obtained from:

<http://www.ivt.ethz.ch/institut/vpl/publikationen/papers.html>