

**Schwerpunktthema:** Kapazität und Leistung versus Umwelt und Klima  
Denkbare Beiträge automatisierter Fahrzeuge zu einer nachhaltigeren Mobilität

Betreut durch: Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI

Bericht zuhanden Partnersitzung vom 18. Mai 2017 (2017-1)

Dieser Bericht zeigt verschiedene Effekte der automatisierten Fahrzeuge resp. des automatisierten Fahrens auf ausgewählte Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung auf. Grundlage bilden Forschungsarbeiten aus der Schweiz, den USA und UK. Untersucht wird der Einfluss der Fahrzeugnutzung auf die Reisekosten sowie räumliche Effekte. Davon abgeleitet ergeben sich Aussagen zum Energieverbrauch und zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es handelt sich um eine Auslegeordnung, welche die Bandbreite der diskutierten Wirkungen aufzeigt und gibt nicht die Meinung der its-CH wieder.

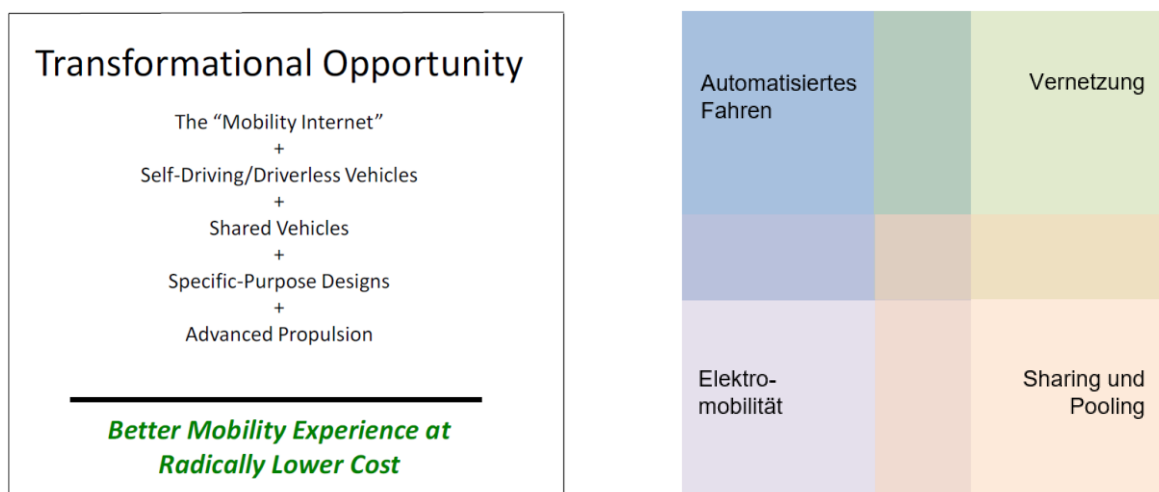
Vertreter:  
Fabienne Perret, Remo Fischer, Lorenz Raymann  
EBP Schweiz AG  
Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich  
[fabienne.perret@ebp.ch](mailto:fabienne.perret@ebp.ch)

## 1 Automatisiertes Fahren ist nicht per se nachhaltig

Im letzten Artikel zum automatisierten Fahren [its-ch, 2015b] wurde speziell auf die Vielfalt selbstfahrender Fahrzeuge eingegangen. Zudem wurde auf die möglichen Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten und das Verkehrsgeschehen hingewiesen. Zunehmend zeichnen sich sehr unterschiedliche Einsatzformen ab, die eine grosse Relevanz für die Auswirkungen in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung aufweisen. Im Individualverkehr wird beispielsweise das automatisierte Fahren auf Autobahnabschnitten oder in kapazitätskritischen urbanen Perimetern diskutiert. Auch das automatisierte Parken oder der Einsatz automatisierter Fahrzeuge für neue Nutzergruppen (Bsp. für Kinder zur Schule) sind denkbare Anwendungen. Weiter können automatisierte Sharing- und Poolingflotten genannt werden, welche den Spielraum von Mobilitätsangeboten zwischen konventionellem MIV sowie heutigem ÖV vergrössern. Beim ÖV werden Anwendungen wie selbstfahrende Kleinbusse oder automatisiertes Fahren auf dem Schienennetz angestrebt. Aus heutiger Sicht ist noch kaum absehbar, welche Anwendungsformen sich wie rasch durchsetzen werden, da verschiedenste Rahmenbedingungen und Akzeptanzprozesse zusammenspielen.

Für Aussagen zu den Effekten der verschiedenen Einsatzformen automatisierter Fahrzeuge auf eine nachhaltige Entwicklung sind konkrete Anwendungsfälle und fallspezifische Annahmen aber von grosser Wichtigkeit. Hochrechnungen sind höchstens innerhalb eines konkreten Anwendungsfalls aussagekräftig. Verschiedene jüngere Forschungsstudien zeigen Ergebnisse, weisen aber entsprechend eine grosse Bandbreite bezüglich der prognostizierten Wirkungen auf. In «*Transforming Personal Mobility*» [The Earth Institute 2013] wird anhand von drei modellierten Szenarien nachgewiesen, dass die persönlichen Reisekosten stark reduziert werden können, wenn fahrerlose Fahrzeugflotten im Sharing-Konzept benutzt werden. Oft zitiert wird auch die mögliche Reduktion der Fahrzeugflotte aus «*Urban Mobility Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*» [OECD ITF, 2015]. Der Bericht präsentiert Ergebnisse der Lissabon-Case Study, die oft ohne Rahmenbedingungen wiedergegeben werden und damit zu falschen Interpretationen führen können. Es ist also zwingend, den Modellkontext bei der Interpretation und Weiterverwendung von Studienergebnissen zu beachten.

Neueren Datums sind «*Help or Hindrance? The Travel, Energy and Carbon Impacts of Highly Automated Vehicles*», [MacKenzie, 2017] und [Wadud et al., 2016], die auf gemeinsamen Studien basieren und auf die grossen Unsicherheiten hinweisen, die sich mit modellierten Szenarien ergeben. Ebenfalls sehr aktuell sind die Schweizer Forschungsergebnisse «*Impact of Autonomous Vehicles on the Accessibility in Switzerland*» und «*Cost-based Analysis of Autonomous Mobility Services*» des Instituts für Verkehrsplanung und Transportsystem (IVT) der ETH Zürich [Meyer et al., 2016] bzw. [Bösch et al., 2017].



**Abbildungen 1:** Die Gelegenheit für radikal tiefere Reisekosten resultiert aus der innovativen Kombination von Technologie- und Geschäftstrends. – Quelle links: The Earth Institute 2013 † Quelle rechts: eigene Abbildung EBP

Die aufgeführten Studien behandeln die für diesen Artikel relevanten Themen wie Transportkostenvergleiche, Fahrzeugflotten, Effizienz des Fahrzeugeinsatzes nach Nutzungsformen und Effekte auf Treibstoffverbrauch sowie den CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Bei allen Studien ist die Verknüpfung des automatisierten Fahrens mit Sharing-Formen zu beachten. Professionelle Shared-Mobility Angebote oder private Sharing-Formen finden jedoch bereits heute vielfältig Anwendung; sie sind grundsätzlich auch ohne automatisiertes Fahrzeug

möglich. Die Effekte des Sharings und jene des automatisierten Fahrens gilt es bei der Beurteilung der Wirkungen deshalb auseinander zu halten, ebenso Einflüsse infolge Weiterentwicklung von Antriebssystemen oder Mobilitätsinformationsdiensten (vgl. Abbildung 1).

Von speziellem Interesse ist in dieser Hinsicht insbesondere der Effekt des automatisierten Fahrzeugs auf künftige neue, erweiterte Sharing-Anwendungen. Dazu gehörten beispielsweise der Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge für neue Nutzergruppen wie den Transport von Kindern zur Schule oder das automatisierte Bringen des "gehärteten Fahrzeugs" zum nächsten Kunden. Beide Formen führen zu Leerfahrten und damit zu erhöhten Fahrleistungen, wie dies auch in verschiedenen Studien oder Modellanwendungen dargestellt wird. Es ist naheliegend, dass solche Anwendungen im individuellen Verkehr erst mit Level 5 (das System ist in der Lage, in allen Situationen die gesamte Fahraufgabe selbstständig durchzuführen) in der Breite möglich sein werden.

Mit automatisierten Fahrzeugen Level 4 (vollautomatisiert im Rahmen eines definierten Anwendungsfalles, ausserhalb dieses Anwendungsfalles ist ein Fahrer notwendig, der das System jedoch nicht dauernd überwachen muss) ist eine begrenzte Anzahl neuer, erweiterter Sharing-Anwendungen möglich. **[bmvit 2016]** unterscheidet deshalb zwischen Anwendungsfeldern der Shared-Mobility mit vollautomatisierten Fahrzeugen Level 4 und fahrerlosen Fahrzeugen Level 5.

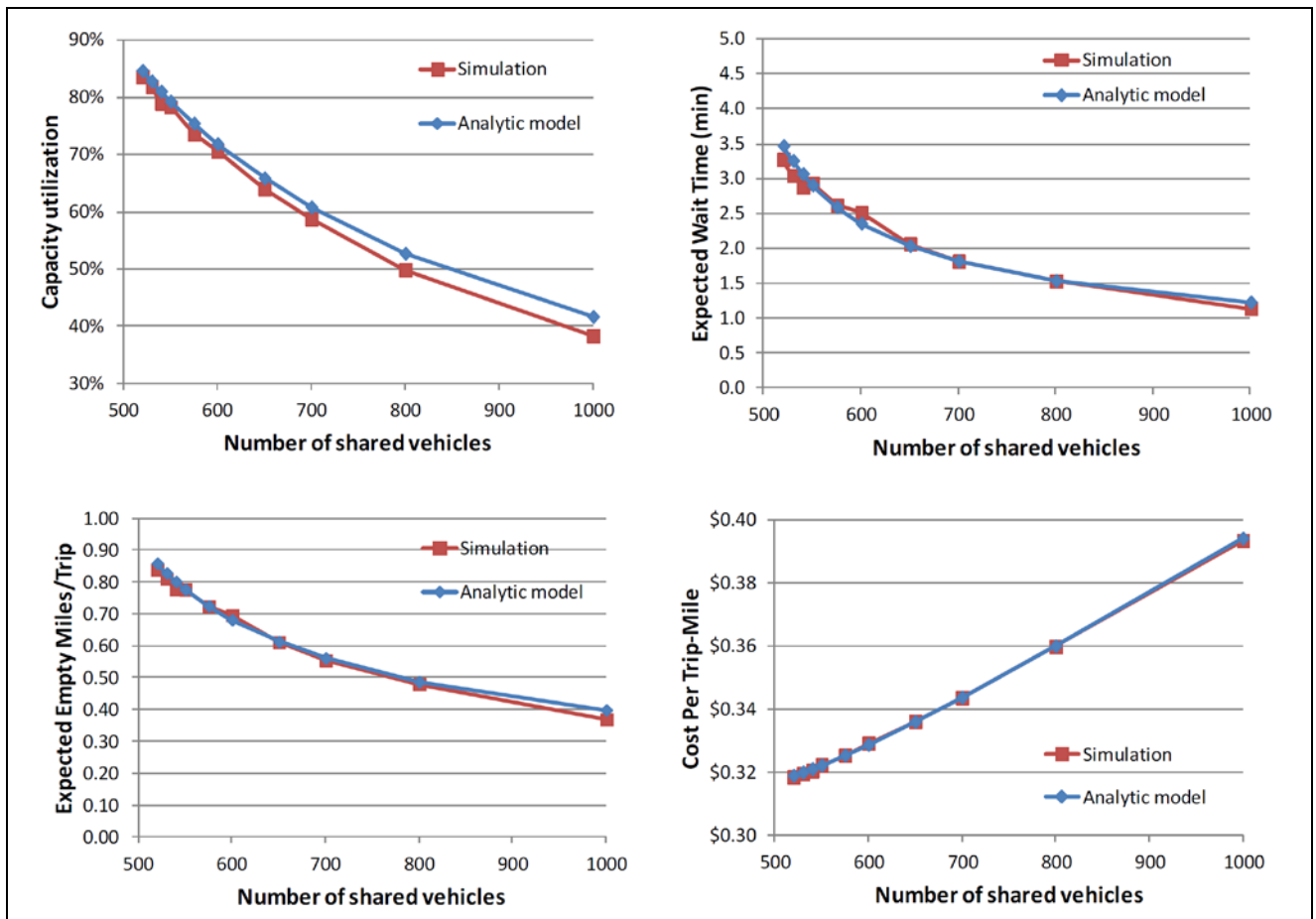
Der vorliegende Artikel ist als Auslegeordnung zu verstehen. Er zeigt die grosse Bandbreite der prognostizierten Wirkungen auf und thematisiert die Abhängigkeiten von den zugrundeliegenden Annahmen. In diesem Sinne ist er auch nicht als Prognose oder Meinung von its-CH zu verstehen, sondern er soll Denkanstösse für die laufenden fachlichen und politischen Diskussionen liefern. Der Fokus liegt primär auf dem MIV. Wo verfügbar, werden Zahlen in Bezug auf den ÖV zum Vergleich angegeben. Die Effekte der untersuchten Anwendungsfälle auf eine nachhaltige Mobilität wird in den folgenden Kapiteln beschrieben: Veränderung der Fahrzeugnutzung und Fahrleistung, Veränderung der Reisekosten, Räumliche Effekte, Energieverbrauch sowie allgemeine Schlussbemerkungen. Wo verfügbar werden neben internationale Studien auch solche aus der Schweiz zitiert.

## 2 Veränderung der Fahrzeugnutzung

Die Studie des International Transport Forum (ITF), Corporate Partnership Board, der OECD «*Urban Mobility Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*» **[OECD ITF, 2015]** fokussiert auf Sharing beim Einsatz von automatisierten Fahrzeugen im Stadtverkehr. Der Bericht behandelt insbesondere die viel zitierte "Lissabon-Case study"; dazu werden das Modell und die Test-Szenarien für Shared-Mobility beschrieben. Die Studienergebnisse zum shared-automated driving von Singapore, zu den Modellen mit Automatisierten Taxis in New Jersey (von Fagnant und Kockman, von Zachariah et al.) sowie mit Taxi-Pooling in New York City (von Santi et al.) werden ergänzend kurz dargestellt.

Der Bericht gibt eine gute Zusammenfassung der Erkenntnisse in sieben Punkten und sieben Politik-Hinweisen (policy insights). Unglücklicherweise wird die Studie oft ungenügend zitiert, wie beispielsweise mit «nearly the same mobility can be delivered with 10% of the cars», wenn der Zusammenhang mit den Schätzmethode nicht erwähnt wird. Die Studie bestätigt die Erkenntnis, dass automatisiertes Fahren den Nutzen der einzelnen Fahrzeuge steigern kann – aber nur wenn Sharing und Pooling stattfindet. Welcher Anteil der aufgeteilten Potenziale dem automatisierten Fahrzeug und welche dem Sharing und Pooling zuzuordnen sind, wird aber nicht ersichtlich.

Die Modell- und Simulationsergebnisse von **[The Earth Institute 2013, Columbia University]** zeigen die Zusammenhänge zwischen Fahrzeugflotten und deren Auslastung sowie Wartezeiten und Reisekosten. Für eine Region mit einer Fläche von 100 Quadratmeilen und 1'000 Personenfahrten/Std wird gezeigt, dass bei einer Sharing-Flotte von ca. 530 Fahrzeugen die Fahrzeugkapazitäten zu ca. 84% benutzt werden. Bei einer Flotte mit 1'000 Fahrzeugen nimmt die Nutzung des einzelnen Fahrzeugs bei derselben Nachfrage und dem gleichen Einsatzgebiet auf weniger als die Hälfte ab (ca. 40%, vgl. Abbildung 2, links oben), Gleichzeitig nimmt der durchschnittliche Leerfahrtenanteil von 0.85 Meilen/Fahrt um mehr als die Hälfte auf ca. 0.40 Meilen/Fahrt ab (Abbildung 2, links unten). Für den Nachfrager nimmt die durchschnittliche Wartezeit von ca. 3.4 Min. bei 530 Flotten-Fahrzeugen um ca. 65% auf ca. 1.2 Min. bei 1'000 Flotten-Fahrzeugen ab (Abbildung 2, rechts oben). Diese Aussagen gelten nur für die spezifischen Modellannahmen und müssten für weitere Anwendungen angepasst werden - sie zeigen jedoch die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Faktoren auf.

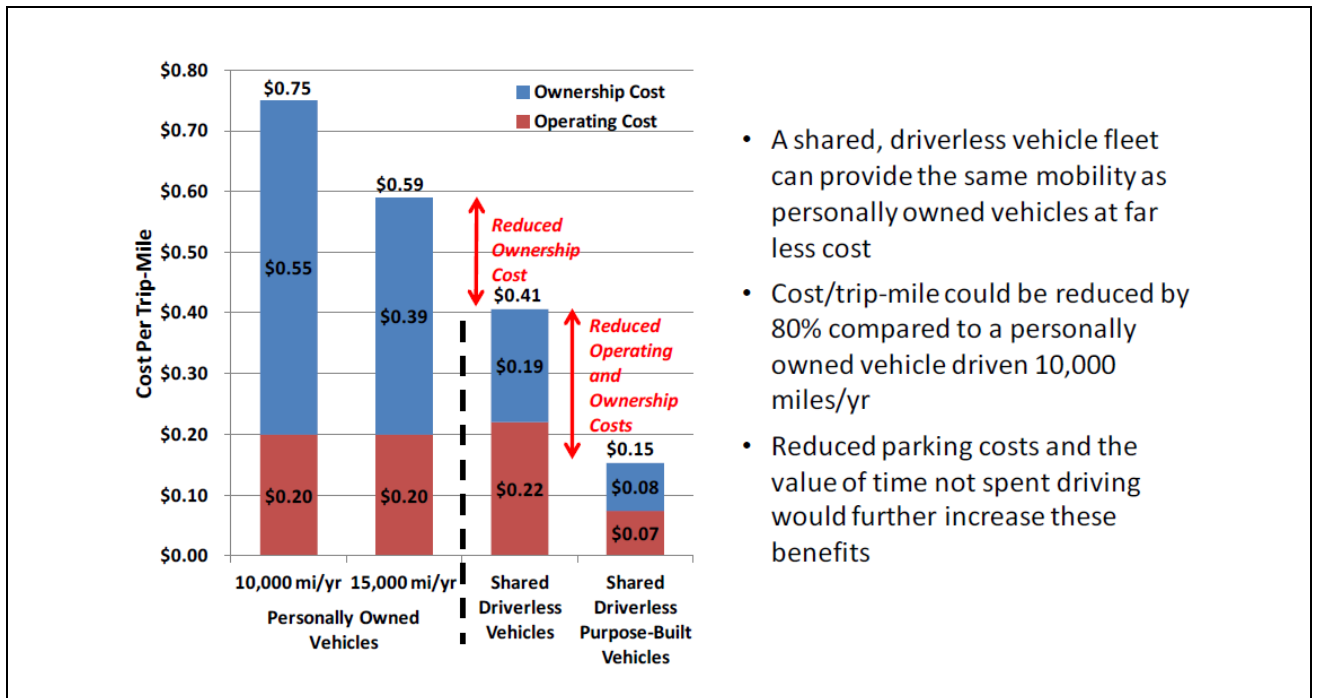


**Abbildung 2:** Resultate aus Analytisches Modell im Vergleich zu Simulationsmodell für eine Region mit einer Fläche von 100 Quadratmeilen und 1'000 Personenfahrten/Std. – Quelle: **The Earth Institute 2013**

### 3 Veränderung der Reisekosten

Die Autoren von **The Earth Institute 2013** formulieren drei Szenarios. Zu diesen drei Szenarien führen sie modellierte Case-Studies durch. Dabei basiert das Mobilitätsverhalten auf Sharing-Dienstleistungen und automatisierten Fahrzeugflotten. Die Datenlage wird bezüglich Nachfrager, Strassennetz, etc. für die jeweiligen Stadtgebiete simuliert. Berücksichtigt werden Besitzer-Kosten (Finanzierung, Abschreibungen, Versicherung, Gebühren und Steuern) und die Betriebskosten der Flottenbetreiber (Treibstoff, Unterhalt und Reparaturen). Basierend darauf werden geteilte Flottengrößen infolge Sharing verwendet. Separat werden die optimalen Flottengrößen im Hinblick auf eine minimale durchschnittliche Wartezeit und möglichst tiefe Leerfahrten-Anteile optimiert.

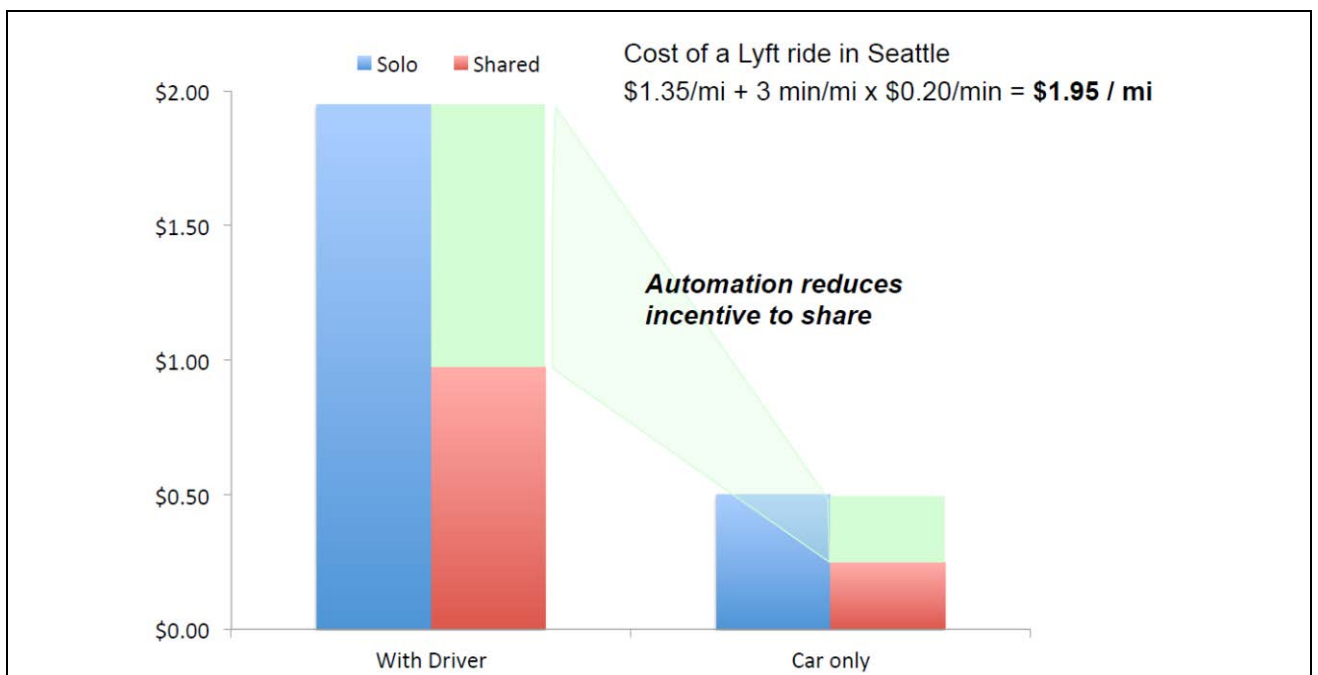
Angeboten wird "the same mobility as personally owned vehicles". Es ist also davon auszugehen, dass in den geteilten Flottenfahrzeugen weiterhin der gleiche Besetzungsgrad pro Fahrt herrscht wie heute in den konventionellen Fahrzeugen (reines Car-Sharing). Pooling-Effekte scheinen nicht berücksichtigt zu sein. Der reine Kostenvergleich zeigt, dass die persönlichen Reisekosten gegenüber dem konventionellen Autobesitz und -gebrauch auf 20% bis 25% reduziert werden, wenn automatisierte führerlose Fahrzeugflotten geteilt werden (vgl. Abbildung 3). Im in Kapitel 2 resp. Abbildung 2 (unten rechts) dargestellten Modell ist zudem der Zusammenhang zwischen Reisekosten in grossen (39 Cent/Mile) resp. kleinen Flotten (32 Cent/Mile)



**Abbildung 3:** «Personal travel cost can be dramatically reduced using shared, driverless fleets». – Quelle: **The Earth Institute 2013:**

Offen bleibt aber, ob der alleinige Preis- resp. Kostenunterschied ausreicht, die Nachfrager auf die automatisierte Fahrzeugflotte umzustimmen, resp. ist von Interesse, wie viele Nachfrager aufgrund der Preisunterschiede tatsächlich umsteigen dürften, und welche Gründe allenfalls gegen eine Verhaltensänderung wirken. Insofern stellen die ausgewiesenen Modellergebnisse aus Sicht der Autoren optimistische Schätzungen dar.

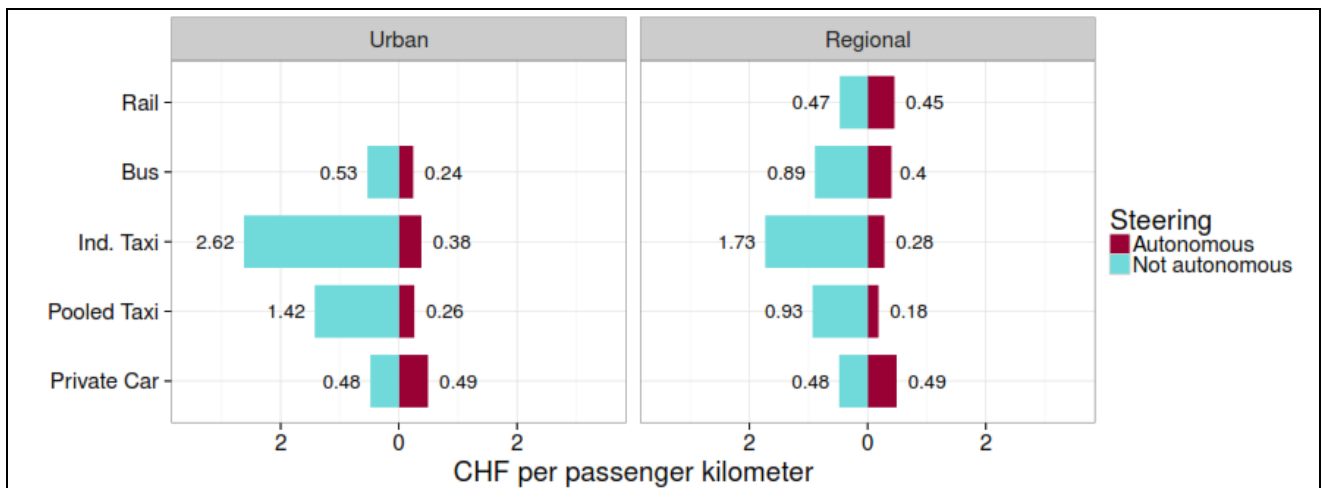
MacKenzie, von der University of Washington (Sustainable Transportation Lab) geht genau dieser Frage nach [MacKenzie, 2017]. Er geht davon aus, dass die gesamten Kilometerkosten eines konventionellen privaten Motorfahrzeuges sich beim Schritt von einer durchschnittlichen Einzelbesetzung zu einer Doppelbesetzung im Falle des Pooling halbieren. Andererseits reduzieren sich die gesamten Kilometerkosten vom konventionellen Fahrzeug zum automatisierten Fahrzeug ohne Fahrer auf einen Viertel (Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Technologiepotenziale und ihre Bedeutung für Wirtschaft und Gesellschaft. Quelle: **MacKenzie, 2017**

MacKenzie folgert daraus, dass es schwierig sein wird, Pooling im grösseren Umfang zu realisieren, wenn der Kosteneinsparung-Schritt vom Besitz eines konventionellen Autos zum Besitz eines privaten automatisierten Fahrzeugs deutlich grösser zu sein scheint, als der Kostenschritt beim konventionellen Fahrzeug vom Alleinfahren zum Pooling. Hat man schon mal 75% der Kosten einsparen können, verzichtet man wohl auf das Pooling, um noch weitere Spareffekte zu erzielen.

Vergleichbare Kostenanalysen werden in Forschungsarbeiten seitens des Instituts für Verkehrsplanung und Transportsystem (IVT) der ETH Zürich basierend auf Schweizer Daten vorgenommen [Bösch et al., 2017]. Untersucht werden die Kosten pro Personenkilometer für verschiedene Einsatzformen (private Fahrzeuge, linienbasierter ÖV, Taxi). Unterschieden wird zwischen einer urbanen Situation und einem ländlich-regionalen Kontext. Berücksichtigt werden fixe Kosten wie Erwerb, Zinsen, Versicherung, Steuer, Parkierung, Gebühren, und variable Kosten wie Wertverlust, Unterhalt, Reinigung, Pneu, Treibstoff, Strassengebühren. Ebenfalls berücksichtigt werden Flotteneffekte auf die Kostenelemente. Die Resultate sind in Abbildung 5 aufgeführt.



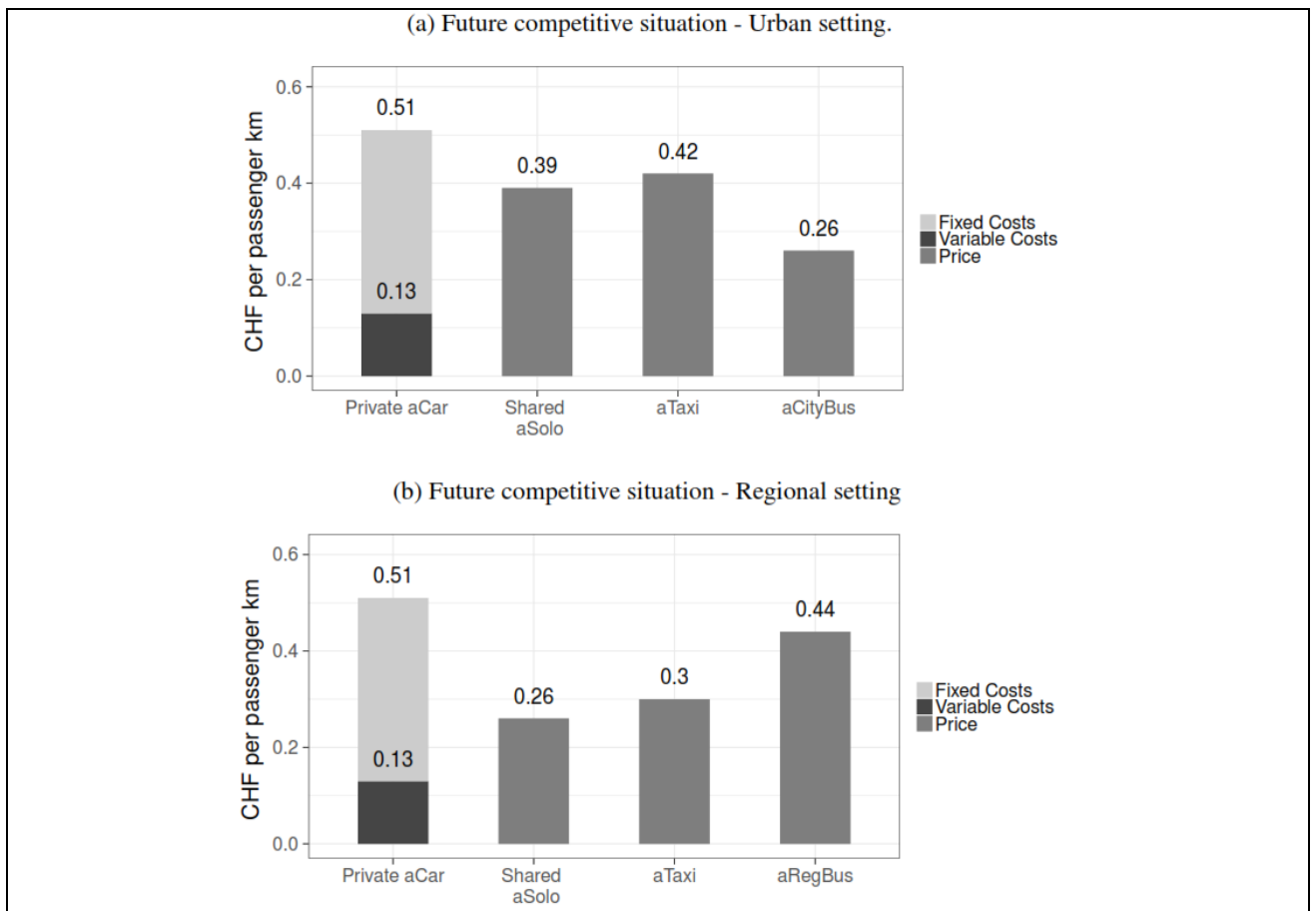
**Abbildung 5:** Kostenvergleiche zwischen urbaner Situation und ländlicher Region für verschiedene Mobilitätsformen, -  
Quelle: Bösch et al., 2017

Die Kosten sind abhängig von der Art der Fahrzeugflotte, von der erwarteten Nutzung und dem Betriebsmodell. Die Kostenberechnungen für automatisierte Fahrzeugflotten erfolgt auf Basis heutiger Kosten. Die Reinigungskosten dürften bei automatisierten Taxis einen substantiellen Anteil einnehmen, da davon auszugehen ist, dass die Nutzenden die Fahrzeuge nicht mit der gleichen Sorgfalt wie mit privaten Fahrzeugen behandeln.

Beim Vergleich der Kosten mit/ohne Automatisierung wird die Elektrifizierung nicht berücksichtigt. Die Kosten für private Fahrzeuge und Schienentransport verändern sich nur marginal, von grosser Bedeutung sind aber die Reduktionen bei Taxis. Die Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln werden bei automatisierten Fahrzeugen kleiner - sowohl in ländlichen als auch in urbanen Kontext (Abbildung 5).

Durch die Automatisierung können auch im ÖV Kostenveränderungen realisiert werden. Im Bahnverkehr würden Personalkosten entfallen. Diese stellen allerdings nur einen Kostenanteil dar, sodass gemäss seiner Abschätzung Kostenreduktionen von ca. 2.5% möglich sind. Für Busbetriebe sind die Anteile der Personalkosten deutlich höher, womit gemäss einer Abschätzung Kosteneinsparungen von ca. 55% erreicht werden [Bösch et al., 2017].

Abbildung 6 gibt die resultierende Wettbewerbssituation in Bezug auf Preise wieder. Preise setzen sich aus den Betriebskosten (gemäss Abbildung 5), den Gewinnmargen der Betreiber und den Steuern zusammen. Für Privatfahrzeuge wird zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden. Dabei zeigt sich, dass die variablen Kosten bei automatisierten Fahrzeuge nur rund einen Viertel der Gesamtkosten ausmachen. Dies ist insofern von Bedeutung, als für die jeweilige Verkehrsmittelwahl meist nur die variablen Kosten berücksichtigt werden und diese im Vergleich deutlich unter denjenigen der anderen Verkehrsmittel liegen. Damit weisen private automatisierte Fahrzeuge einen deutlichen Vorteil auf. ÖV-Angebote resp. Sharing-Flotten müssen daher bzgl. Komfort, Fahrzeiten und Umsteigevorgänge attraktiv sein.



**Abbildung 6:** Fixkosten-Anteil im Preisvergleich verschiedener Mobilitätsformen. - Quelle: Bösch et al., 2017

Im Vergleich des städtischen und regionalen Kontexts fällt auf, dass im städtischen Kontext der automatisierte Bus günstiger ist als das automatisierte Taxi. Der automatisierte ÖV im ländlichen Raum ist in Bezug auf Kosten teurer als ein automatisiertes Taxi, wodurch der ÖV vor allem im ländlichen Raum gefordert ist. Für Pooling besteht wenig Anreiz, da mit dem Einsatz automatisierter Fahrzeugflotten der Wettbewerb auf generell tiefem Preisniveau spielt.

#### 4 Räumliche Effekte

Der Projekt-Ergebnisbericht «*ShareWay – Wege zur Weiterentwicklung von Shared Mobility zur dritten Generation*» im Rahmen des Forschungsprogrammes Mobilität der Zukunft / Personenmobilität [bmvit 2016] ist das Ergebnis einer Sekundäranalyse. Die Aspekte der Shared-Mobility stehen im Zentrum der Forschungsarbeit. Der Bericht trägt den Wissenstand systematisch zusammen und stellt ein umfassendes Wissenskompendium über den derzeitigen Stand der Forschung und Praxis der Shared-Mobility dar.

Unter dem Titel "Shared Mobility in der Praxis und in Zukunft" werden anhand von drei Fallstudien "Wohnen und Shared Mobility", "Sharing im Wirtschaftsverkehr" sowie "Autonomes Fahren und Shared Mobility" vertieft. Damit werden die Zusatzeffekte dank automatisierten Fahrzeugen differenziert untersucht. Die Studie bestätigt die potenziellen Effekte wie Reduktion der Fahrzeuganzahl und des damit zusammenhängenden Ressourcenverbrauchs, effiziente Nutzung des einzelnen Fahrzeugs, Mehrverkehr durch Selbst-Disposition, Senkung der Emissionen, Erhöhung der Verkehrssicherheit und Substitution und Ergänzung des ÖV im Umweltverbund.

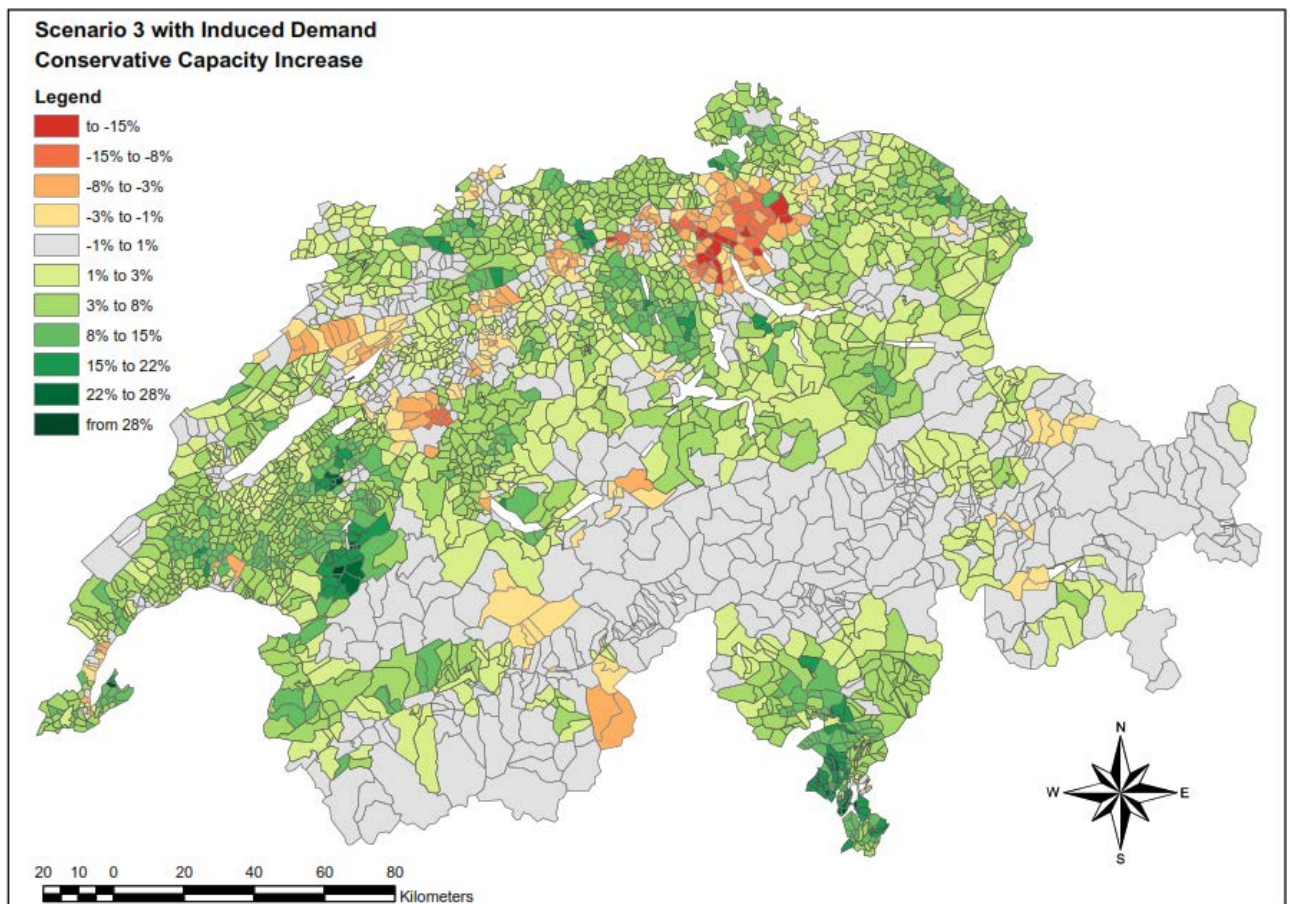
Weiter verweist die Studie auf unterschiedliche räumliche Effekte des automatisierten Fahrens wie:

- Steigerung der Strassenkapazität dank flüssigerem Verkehr bzw. Potenzial zur Reduzierung des Verbrauchs von Strassenfläche
- Veränderung des Parkverhaltens mit Chancen zur Reduktion von Verkehrsflächen für andere urbane Nutzungen

- Auswirkungen auf die Siedlungsentwicklung: Re-Sub-Urbanisierung, womit potenziell freiwerdende Strassenkapazitäten durch den entstehenden Mehrverkehr wieder aufgezehrt werden dürften (vgl. auch Ausführungen zu Abbildung 7 von [Meyer et al., 2016])
- Unterschiedliche Auswirkungen auf die Stadtentwicklung.

Bei den Auswirkungen auf die Stadtentwicklung wird darauf hingewiesen, dass diese massgeblich von den konkreten Anwendungsformen des automatisierten Fahrens abhängen. Unterschieden werden müsse zwischen reinem On-Demand-System, ob überwiegend weiterhin automatisierte Fahrzeuge im Privateigentum dominieren, oder ob es sich um eine Mischform handelt. Aus Sicht einer Stadt stellt sich die Frage, ob resp. inwieweit sich die Rahmenbedingungen Richtung On-Demand-System resp. in Richtung einer günstigen Mischform gestalten lassen.

[Meyer et al., 2016] zeigen mögliche Folgen des automatisierten Fahrens auf die Erreichbarkeiten in der Schweiz auf. Dabei wird untersucht, wie sich die Erreichbarkeiten aller Gemeinden in der Schweiz wandeln, wenn sich sowohl das Angebot als auch die Nachfrage gemäss den derzeitig abschätzbaren Wirkungen von automatisierten Fahrzeugen verändern. Basis bildet das Nationale Personenverkehrsmodell. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass der gesamte Fuhrpark automatisiert betrieben wird. Das Angebot wird durch eine Kapazitätserhöhung der bestehenden Verkehrsinfrastrukturen durch verringerte Zeitlücken in zwei Szenarien modelliert. Die Nachfrage wird durch eine Zunahme infolge neuer Nutzergruppen, Leerfahrten, Änderungen in der Verkehrsmittelwahl sowie induziertem Verkehr angepasst. Dies führt zu neuen Auslastungen des Netzes, welche sich in den Erreichbarkeiten niederschlagen (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Veränderung der Erreichbarkeiten von Schweizer Gemeinden, Szenario 3: kein Privatbesitz automatisierter Fahrzeuge, Sharing-Flotte und somit Zugang für alle - Quelle: Meyer et al., 2016

Die Resultate zeigen, dass substantielle Veränderungen der Erreichbarkeiten von Schweizer Gemeinden auftreten. In Berggebieten bleibt die Erreichbarkeit beinahe unverändert, da sich das Netz in diesen Räumen nicht an der Kapazitätsgrenze befindet. Für gut vernetzte, ländliche Gebiete verbessern sich die Erreichbarkeiten jedoch deutlich, vor allem durch erhöhte Netzkapazitäten und eine im Vergleich weniger stark erhöhte Nachfrage. Dieser Umstand fördert eine Zunahme der Zersiedelung. In Städten wird je nach Szenario eine schwache oder sogar negative Entwicklung der Erreichbarkeiten prognostiziert, da in dichtbesiedelten Räumen die Zunahmen der Nachfrage jene der Kapazitäten übersteigt. Aus der Arbeit wird weiterer Untersu-

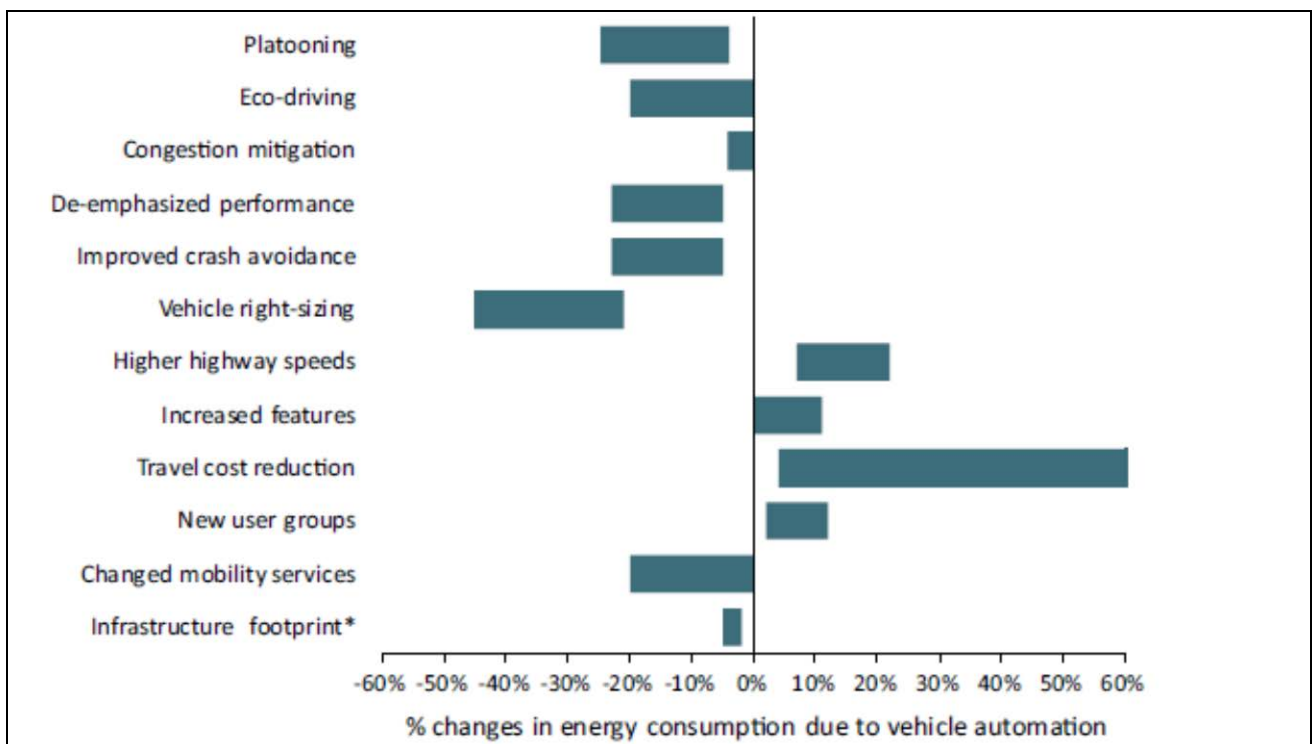


chungsbedarf der Erreichbarkeiten unter Berücksichtigung von Pooling und automatisierter Busse abgeleitet, was bisher nicht berücksichtigt wurde.

## 5 Energieverbrauch

Automatisiertes Fahren und Elektromobilität werden oft als kombinierte Lösung präsentiert (vgl. Abbildung 1). Während die herkömmliche Automobilwirtschaft das automatisierte Fahrzeug bisher generisch mit Verbrennungsmotor sieht, setzt die IT-Industrie von Beginn weg auf Elektroantrieb. Durch die Konkurrenz dieser Hersteller und weltweite Abgas- und CO<sub>2</sub>-Ziele herausgefordert, dürfte sich nun auch die Automobilwirtschaft verstärkt dieser Kombination von automatisiertem Fahren und Elektroantrieb annehmen, wie sich bspw. anhand der Konzeptstudie ID von VW zeigt (TA, 18.03.2017).

Wird nach dem Energieverbrauch gefragt, ist also wiederum insbesondere zwischen den Effekten von Massnahmen beim Antriebssystem und des automatisierten Fahrens zu unterscheiden. In «*Help or hindrance. The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles*» [Wadud et al., 2016] differenzieren die Autoren zwischen den Effekten verschiedener Einflussfaktoren. Die Analysen erfolgten im Netzwerk verschiedener Forschungsstellen (vgl. auch [University of Leeds, 2016]).



**Abbildung 8:** Zusammenfassende Darstellung der Auswirkungen der Automatisierung auf den betrieblichen Energieverbrauch; geschätzte Wertebereiche für verschiedene Massnahmen resp. Ursachen. - Quelle: Wadud et al., 2016

Wie Abbildung 8 zeigt, versprechen einzelne Effekte des automatisierten Fahrens demnach eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs. Auf der positiven Seite ist insbesondere der Effekt der Wahl einer angemessenen Fahrzeuggrösse für die einzelne Fahrt (vehicle right sizing) hervorzuheben. Diese Wahl ist insbesondere eine Frage der Einstellung betreffend Fahrzeugbesitz resp. Pooling, und wird durch die Möglichkeit des automatisierten Fahrzeugeinsatzes nur erleichtert. Auf der negativen Seite dominiert der Effekt der Reduktion der Reisekosten, welcher zu grösseren Fahrleistungen führen dürfte.

Aufgrund der Darstellung von Abbildung 8 dürften sich die positiven und negativen Effekte auf den ersten Blick im günstigsten Fall die Waage halten. Allerdings sind die aufgezeigten Effekte nicht kumulativ und dürfen nicht einfach addiert werden. Jeder Faktor hat seinen eigenen Stellenwert im gesamten Mobilitäts- und Verkehrsgeschehen. Offen bleibt deshalb, wie sich die Vielfalt positiver und negativer Effekte der einzelnen Fahrzeuge je nach Mobilitätsverhalten resp. Nachfrage, Fahrzeugentwicklung, Einsatzprofile und Antriebssysteme über alle Mobilitätsbedürfnisse der gesamten Bevölkerung im Verkehrsnetz überlagern.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass der dominante und ausschlaggebende Effekt der Kostenreduktion auf der negativen Seite einen systemischen Automatismus darstellt, während sich der ausgeprägte Effekt auf der positiven Seite, der je Fahrt angepassten Wahl der Fahrzeuggrösse, jedoch nicht einfach durchsetzen lassen dürfte (und auch ohne automatisiertes Fahren möglich wäre). Dieser Effekt setzt eine entsprechende Bereitschaft der einzelnen Nachfrager voraus, die sich grundsätzlich und situativ aufgrund komplexer individueller Anforderungen ergibt. Nebst den grundsätzlichen Werthaltungen und der Zahlungsbereitschaft auch die Bereitschaft, die Fahrzeugwahl je nach Fahrtzweck, Anzahl Personen und Begleitgepäck etc. anzupassen.

## 6 Schlussbemerkung

Auch der Bund hat sich zu den Folgen des automatisierten Fahrens geäussert. In der Medienmitteilung vom 21.12.16 zur Veröffentlichung des Berichts des Bundesrats «*Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen*» in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 wird festgehalten: "Wenn die neuen Möglichkeiten der automatisierten Fahrzeuge hauptsächlich für den Komfortgewinn und zusätzliche Angebote im Individualverkehr genutzt werden, könnte die Auslastung der einzelnen Fahrzeuge indes auch sinken - und als Folge davon könnten sich die Kapazitätsprobleme auf der Strasse verschärfen. Erhöhter Flächenbedarf, sinkende Energieeffizienz, zusätzlicher Energieverbrauch und eine stärkere Luftbelastung wären dann die Folgen. Die Auswirkungen auf die Umwelt hängen jedoch davon ab, wie Gesellschaft und Wirtschaft mit den neuen technologischen Möglichkeiten umgehen: Entscheidend ist, die automatisierten Fahrzeuge klug mit der digitalen Welt zu kombinieren. "

Angesichts der im vorliegenden Schwerpunktbericht aufgezeigten potenziellen Auswirkungen und Unsicherheiten wird dieser Handlungsbedarf der Gesellschaft offensichtlich. Die Weichen bei den komplexen Veränderungen der Mobilitätsangebote «richtig» zu stellen ist eine grosse gesellschaftlich-politische Herausforderung der kommenden Jahre.

## Quellenverzeichnis

- **bmvit 2016:** «ShareWay – Wege zur Weiterentwicklung von Shared Mobility zur dritten Generation», Projekt-Ergebnisbericht im Rahmen des Forschungsprogrammes Mobilität der Zukunft / Personenmobilität; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien; Februar 2016
- **Bösch et al., 2017:** «Cost-based Analysis of Autonomous Mobility Services», Arbeitspapier, Institut für Verkehrsplanung und Transportsystem (IVT), ETH Zürich
- **MacKenzie, 2017:** «Help or Hindrance? The Travel, Energy and Carbon Impacts of Highly Automated Vehicles. - Referat von Don MacKenzie im Rahmen der Veranstaltung «Autonomes Fahren: Technologiepotenziale und ihre Bedeutung für Wirtschaft und Gesellschaft»; 31.01.2017, ETHZ / sccer mobility
- **Meyer et al., 2016:** «Impact of Autonomous Vehicles on the Accessibility in Switzerland», Arbeitspapier, Institut für Verkehrsplanung und Transportsystem (IVT), ETH Zürich
- **OECD ITF, 2015:** Urban Mobility Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic. – OECD International Transport Forum (ITF), Corporate Partnership Board (CPB) ; 2015
- **The Earth Institute 2013:** Transforming Personal Mobility. Revised January 27, 2013. – Autoren: Lawrence D. Burns\*, William C. Jordan\*\*, Bonnie A. Scarborough\*. - \*: The Earth Institute Columbia University, Program on Sustainable Mobility; \*\*: Jordan Analytics LLC
- **University of Leeds, 2016:** Self-Driving Cars. Will They Reduce Energy Use? - Zia Wadud, Center for Integrated Energy Research; Greg Marsden, Institute for Transport Studies, University of Leeds
- **Wadud et al., 2016:** Zia Wadud (Leeds), Don MacKenzie (Washington), Paul Leiby (Oak Ridge): Help or hindrance. The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. – Elsevier Transportation Research, 2016