



---

SCHLUSSBERICHT – 02.07.2018

---

# Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität

Machbarkeitsstudie

Zuhanden des Bundesamtes für Raumentwicklung

# Impressum

## Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan  
Titel: Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität  
Untertitel: Machbarkeitsstudie  
Auftraggeber: Bundesamt für Raumentwicklung  
Ort: Bern  
Datum: 02.07.2018

## Begleitgruppe ARE

Nicole Mathys (Leitung)  
Franziska Borer Blindenbacher  
Christina Hürzeler  
Martin Tschopp

## Projektteam Ecoplan

André Müller (Projektleitung)  
René Neuenschwander  
Julian Frank

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

## ECOPLAN AG

Forschung und Beratung  
in Wirtschaft und Politik

[www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

Monbijoustrasse 14  
CH - 3011 Bern  
Tel +41 31 356 61 61  
[bern@ecoplan.ch](mailto:bern@ecoplan.ch)

Dätwylerstrasse 25  
CH - 6460 Altdorf  
Tel +41 41 870 90 60  
[altdorf@ecoplan.ch](mailto:altdorf@ecoplan.ch)

## Inhaltsübersicht

	<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>5</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>7</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Drei Szenarien der Digitalisierung im Mobilitätsbereich .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Phase-in von automatisierten Personenfahrzeugen .....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Überblick über die Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich – Wirkungsmodell .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Personenverkehr - Auswirkungen auf die Mobilität .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Personenverkehr - Auswirkungen auf Raum, Wirtschaft, Umwelt.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>Personenverkehr – Grobe Einordnung der Kosten und Nutzen .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Güterverkehr .....</b>	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>Folgen für das Regulativ .....</b>	<b>105</b>
<b>10</b>	<b>Vorgehenskonzept für ein ökonomisches Impact Assessment.....</b>	<b>113</b>
<b>11</b>	<b>Anhang A: Expertenworkshops.....</b>	<b>127</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>128</b>

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>5</b>
	<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Drei Szenarien der Digitalisierung im Mobilitätsbereich</b> .....	<b>20</b>
2.1	Drei Szenarien der Mobilitätszukunft .....	20
2.2	Zentrale Umfeld-Entwicklungen .....	22
<b>3</b>	<b>Phase-in von automatisierten Personenfahrzeugen</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Überblick über die Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich – Wirkungsmodell</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Personenverkehr - Auswirkungen auf die Mobilität</b> .....	<b>34</b>
5.1	Wirkungen Szenario 1 – automatisiertes Fahren.....	34
5.1.1	Auswirkungen des automatisierten Fahrens.....	34
5.1.2	Veränderung der Verkehrsleistung aufgrund des automatisierten Fahrens .....	58
5.2	Wirkungen Szenario 2 - Sharing .....	62
5.2.1	Auswirkungen von Car- und Ridesharing .....	62
5.2.2	Veränderung der Verkehrsleistung aufgrund von Car- und Ridesharing.....	65
5.3	Wirkungen Szenario 3 – Mobilitäts-Servicewelt.....	67
5.3.1	Auswirkungen einer Mobilitäts-Servicewelt.....	67
5.3.2	Veränderungen der Verkehrsleistung mit einer Mobilitäts-Servicewelt .....	68
<b>6</b>	<b>Personenverkehr - Auswirkungen auf Raum, Wirtschaft, Umwelt</b> .....	<b>71</b>
6.1	Wirkungen auf den Raum .....	71
6.1.1	Wirkungsmodell.....	71
6.1.2	Abzuschätzende Wirkungen .....	72
6.2	Wirkungen auf die Wirtschaft .....	74
6.2.1	Wirkungsmodell.....	74
6.2.2	Abzuschätzende Wirkungen .....	75

6.3	Wirkungen auf die Umwelt / Gesundheit.....	79
6.3.1	Wirkungsmodell.....	79
6.3.2	Abzuschätzende Wirkungen .....	80
<b>7</b>	<b>Personenverkehr – Grobe Einordnung der Kosten und Nutzen .....</b>	<b>83</b>
7.1	Kosten und Nutzen des automatisierten Fahrens (Szenario 1) .....	83
7.2	Kosten und Nutzen von Car- und Ridesharing (Szenario 2).....	89
7.3	Kosten und Nutzen einer Mobilitäts-Servicewelt (Szenario 3).....	90
7.4	Szenarienvergleich.....	95
<b>8</b>	<b>Güterverkehr.....</b>	<b>96</b>
8.1	Ausgangslage.....	96
8.1.1	Szenarien und Umfeldfaktoren.....	96
8.1.2	Schwerpunktsetzung in den Expertenworkshops .....	97
8.2	Grundüberlegungen .....	98
8.3	Hypothesen und abzuschätzende Wirkungen einer Digitalisierung im Güterverkehr.....	102
<b>9</b>	<b>Folgen für das Regulativ .....</b>	<b>105</b>
9.1	Ausgangslage.....	105
9.2	Auswirkungen des automatisierten Fahrens und von Sharing auf das Regulativ .....	106
9.3	Flankierende Regulierungen zu den Wirkungen auf Raum, Wirtschaft, Umwelt und Gesundheit.....	110
<b>10</b>	<b>Vorgehenskonzept für ein ökonomisches Impact Assessment.....</b>	<b>113</b>
10.1	Ziel und Strategieoptionen für ein ökonomisches Impact Assessment .....	113
10.1.1	Ziel eines ökonomischen Impact Assessments .....	113
10.1.2	Strategische Empfehlungen für das ökonomische Impact Assessment.....	113
10.1.3	Schnittstellen und Synergien.....	118
10.2	Vorgehenskonzept für die Schritte 1 und 2.....	119
10.2.1	Szenarien und Phase-in automatisierter Fahrzeuge.....	119
10.2.2	Räumliche Auflösung und Differenzierung nach Verkehrszwecken .....	120
10.2.3	Beschreibung der zu erfassenden Wirkungen / Kosten / Nutzen und Datenbedarf .....	123
10.2.4	Minimalanforderungen an die Berechnungstools.....	126
10.2.5	Anforderungen an die Resultate und Resultatpräsentation .....	126
<b>11</b>	<b>Anhang A: Expertenworkshops.....</b>	<b>127</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>128</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AV	Autonomous Vehicle (in dieser Studie verwendet als Abkürzung für vollautomatisierte Fahrzeuge, Fahrzeuge mit Level 5 («Driver off») und Fahrzeuge mit Level 4 («Mind off») mit Beschränkungen für vollautomatisiertes Fahren in Bezug auf bestimmte Situationen (schlechtes Wetter oder bestimmte Gebiete)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
B2B	Business-to-business
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid (klimaschädigendes Treibhausgas)
DiMAP	Excel-Tool: Digitalisierung in der Mobilität – Auswirkungen im Personenverkehr
DiMAG	Excel-Tool: Digitalisierung in der Mobilität – Auswirkungen im Güterverkehr
Fzkm	Fahrzeugkilometer
MaaS	Mobility as a Service
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr (BFS/ARE)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pkm	Personenkilometer
PW	Personenwagen
SVI	Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten
TU	Transportunternehmen

## Glossar

Carsharing	Organisierte gemeinschaftliche Nutzung eines oder mehrerer PW im Individualverkehr. Die bezahlte Nutzung eines Fahrzeugs durch verschiedene Kunden erfolgt dabei nacheinander, nicht gleichzeitig wie beispielsweise beim Ridesharing. In der Regel erlaubt Carsharing anders als zum Beispiel bei konventionellen Mietangeboten auch ein kurzzeitiges, häufig auch spontanes Anmieten von Fahrzeugen. Unterschieden wird zwischen stationsgebundenem und stationsungebundenem Carsharing. Beim stationsgebundenen Carsharing können die Kunden die Fahrzeuge an festen Stationen beziehen. Beim stationsungebundenen Carsharing ist der aktuelle Standort der Fahrzeuge in einer App ersichtlich, es gibt keine fixen Standorte für die Fahrzeuge.
Mobilität als Service (MaaS)	Ganzheitliche Mobilitätslösungen, in denen physische Verkehrsangebote in Verbindung mit digitalen Angeboten ein hochwertiges, nahtloses und über eine einheitliche Kundenschnittstelle zugängliches Mobilitätsangebot schaffen, so dass Tür-zu-Tür-Verkehre vollständig und bequem ohne eigenes Fahrzeug möglich sind.
Mobilitätsdienstleister	Anbieter von physischen Mobilitätsdienstleistungen. Zu den Mobilitätsdienstleistern zählen unter anderem die TU des ÖV, Car- und Bikesharinganbieter etc.
Mobilitätsplattform	Internetbasierte Plattform, auf der Daten und Datenverarbeitungsvorgänge verschiedener Mobilitätsangebote über Schnittstellen gebündelt zur Verfügung gestellt werden. Die Plattform beinhaltet meist sowohl ein Hintergrundsystem als auch eine durch Endkunden nutzbare App. Dies ermöglicht Endkunden, multimodale Routeninformationen zu erhalten und/oder entsprechende Angebote zu reservieren und zu bezahlen. Die Anbieter einer Mobilitätsplattform können selbst Anbieter von Mobilitätsangeboten sein, oder aber als IT-Anbieter eine reine Bündelungs- und Verknüpfungsfunktion zwischen Mobilitätsangeboten erfüllen.
Motorisierter Individualverkehr (MIV)	Verkehr, der mit einem eigenen Fahrzeug aus der Verkehrsmittelgruppe der Personenwagen, Motorräder, Roller, Kleinmotorräder und Motorfahrräder erfolgt. Gemäss dieser Definition handelt es sich bei Carsharing nicht um MIV, da das Fahrzeug sich nicht im Privatbesitz der Nutzenden befindet.
Öffentlicher Verkehr (ÖV)	Der öffentliche Verkehr umfasst verkehrliche Angebote mit regelmässigen Fahrten gemäss einem definierten Fahrplan, die von allen Personen aufgrund vorgegebener Beförderungsbestimmungen genutzt werden können. In der Schweiz umfasst der ÖV nicht nur Verkehrsangebote mit Bahn, Tram und Bus, sondern auch per Schiff und Seilbahn.
Ridesharing	Organisierte gleichzeitige gemeinschaftliche Nutzung eines Personenwagens in Form von Mitfahrgelegenheiten. Hierbei legt der Fahrer des Fahrzeugs in der Regel Quelle und Ziel der Fahrt fest, und nimmt weitere Personen auf, die in die gleiche Richtung reisen möchten.

## Abstract

Die Digitalisierung wird Wirtschaft und Gesellschaft verändern. Besonders betroffen ist die Mobilität. Das automatisierte Fahren und neue Mobilitätsangebote können das Mobilitätsverhalten massgeblich verändern. In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird geklärt, wie die volkswirtschaftlichen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität abgeschätzt werden können. Der Nettounutzen des automatisierten Fahrens und einer neuen Mobilitäts-Servicewelt in der Schweiz beträgt aufgrund erster Abschätzungen längerfristig jährlich mehrere Dutzend Milliarden Schweizer Franken. Eine detailliertere Auseinandersetzung mit den Kosten und Nutzen der Digitalisierung in der Mobilität lohnt sich also.

Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass mit entsprechenden Annahmen die wichtigsten direkten Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätssektor und darüberhinausgehend auch einzelne Wirkungen auf Raum, Wirtschaft und Umwelt in einem deterministischen Modell quantifiziert werden können. Die Effekte im Personen- und im Güterverkehr lassen sich dabei getrennt voneinander analysieren. Im Vordergrund stehen die Effekte im Personenverkehr, da hier die Verkehrsnachfrage direkt beeinflusst wird und die Abgrenzung zur Digitalisierung in der Wirtschaft klarer ist als im Güterverkehr.



## Kurzfassung

### Das Ziel der vorliegenden Machbarkeitsstudie

Das Ziel der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist es, einen **Vorgehensvorschlag** für eine **ökonomische Folgenabschätzung (Impact Assessment) der Digitalisierung im Bereich der Mobilität** mit einem sinnvollen Zeithorizont (bis über 2040 hinausgehend) für die Schweiz vorzustellen.

### Aufgabenstellung

Die Machbarkeitsstudie konzentriert sich dabei auf folgende Aspekte:

- Die **Treiber und Wirkungszusammenhänge** im Zusammenhang mit der Digitalisierung im Mobilitätsbereich werden dargelegt und diskutiert.
- Es wird ein Vorschlag zur Ausgestaltung von **drei Szenarien** (jeweils im Vergleich zum Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040) zur Digitalisierung im Mobilitätsbereich entwickelt. Zu den einzelnen Szenarien werden die wesentlichen Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage beschrieben und deren Grössenordnungen mit einem Tischmodell abgeschätzt.
- Klärung der Machbarkeit und Vorgehenskonzept zur Quantifizierung oder qualitativen Einschätzung der
  - **direkten und indirekten Kosten und Nutzen**
  - **Wettbewerbs- und Markteffekte im Mobilitätsbereich**, aufgeteilt auf die verschiedenen Akteure
  - Effekte auf **Raum, Umwelt** und die **Wirtschaft**.

Die Machbarkeitsstudie dient dem Auftraggeber als Grundlage für die mögliche Gestaltung einer Hauptstudie zur ökonomischen Folgenabschätzung der Digitalisierung im Bereich der Mobilität, insbesondere für den Entscheid, welche Auswirkungen quantitativ oder qualitativ erhoben werden sollen und für die Erstellung eines entsprechenden Pflichtenhefts.

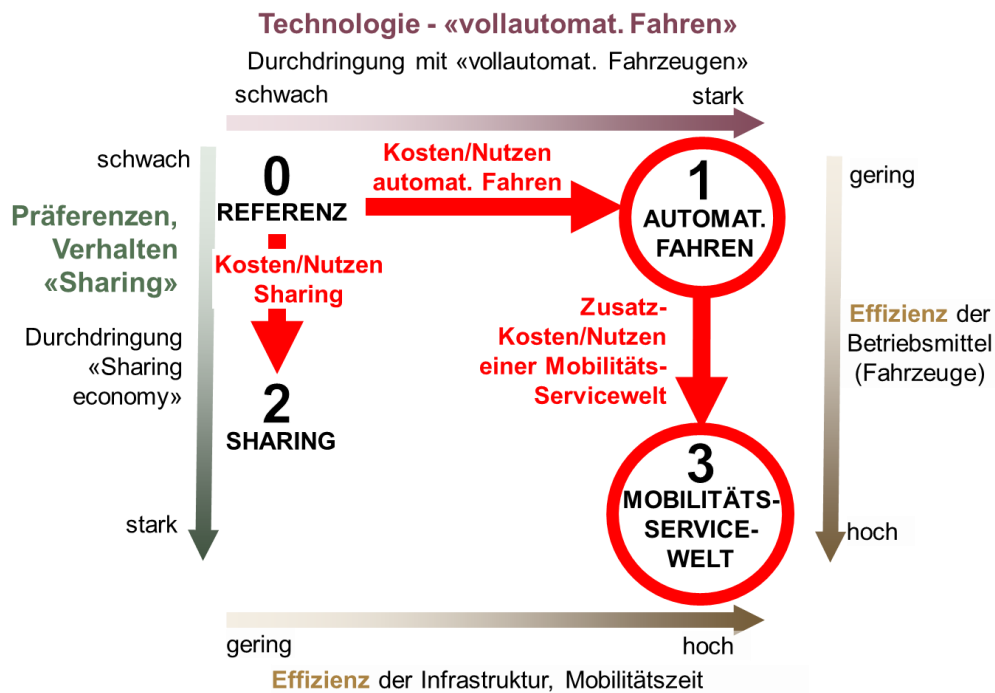
### Definition der Szenarien

Der in dieser Machbarkeitsstudie aufgespannte Szenarienrahmen hat sich bewährt und kann als Ausgangspunkt für ein ökonomisches Impact Assessment der Digitalisierung im Verkehrsbereich dienen. Wir empfehlen das ökonomische Impact Assessment wie folgt anzugehen:

- In einem ersten Schritt sind im Szenario 1 die «isolierten» Wirkungen des automatisierten Fahrens aufzuzeigen.
- In einem zweiten Schritt sind im Szenario 2 die «isolierten» Wirkungen des Car- und Ride-sharings aufzuzeigen. Dieses Szenario dient im Wesentlichen als methodische Grundlage für den nächsten, dritten Schritt.

- In einem dritten Schritt sind mit dem Szenario 3 die Zusatz-Kosten und Nutzen einer Mobilitäts-Servicewelt unter der Annahme, dass sich automatisiertes Fahren durchsetzen wird, darzulegen.

**Abbildung 1: Definition der Szenarien (Referenz: Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040)**

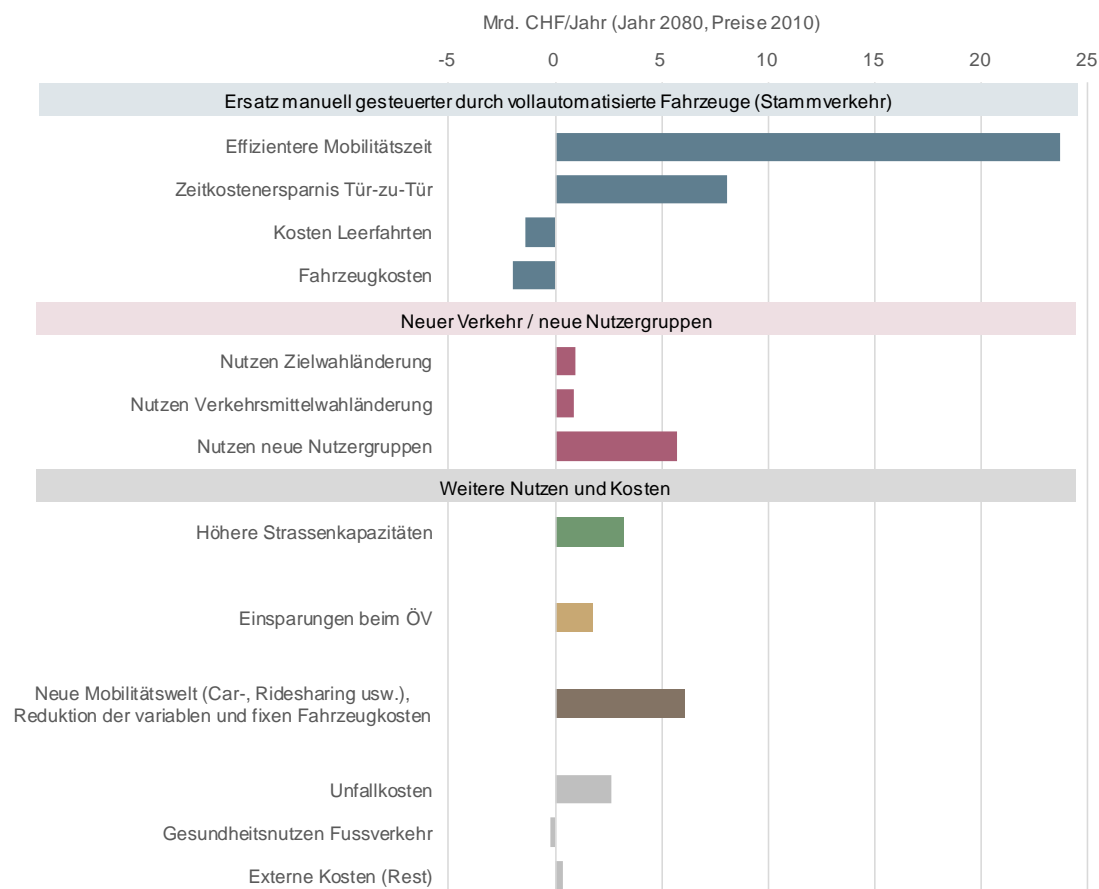


### Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Nutzen- und Kostenkomponenten

Der Nettonutzen des automatisierten Fahrens und einer neuen Mobilitäts-Servicewelt beträgt gemäss einer ersten groben Einschätzung längerfristig jährlich mehrere Dutzend Milliarden Schweizer Franken.

Dank automatisiertem Fahren kann die Zeit im Auto produktiv für andere Tätigkeiten eingesetzt werden. Der Nutzen aus der effizienter nutzbaren Mobilitätszeit ist denn auch der mit Abstand grösste Nutzen (vgl. nachfolgende Abbildung 2). Weitere bedeutende Nutzen fallen für den Zugang neuer Nutzergruppen, für die direktere Tür-zu-Tür-Anbindung und für die neue Mobilitäts-Servicewelt an (ausgebaute multimodale Mobilitätsangebote mit hoher Durchdringung mit «Sharing», was zu Einsparungen bei den fixen und variablen Fahrzeugkosten führt). Weitere bedeutende Nutzen ergeben sich durch automatisierungsbedingte Einsparungen beim öffentlichen Verkehr, aufgrund weniger Unfälle und höherer Strassenkapazität, wenn ausschliesslich vollautomatisierte Autos verkehren. Zusätzliche Kosten entstehen aufgrund von Leerfahrten und höheren Kosten für die automatisierten Fahrzeuge.

Abbildung 2: Bedeutung der einzelnen Kosten- und Nutzenkomponenten



Neben den oben erwähnten Kosten und Nutzen erfordert automatisiertes Fahren neue technische Infrastrukturen, Kommunikationsstandards, strassenseitige Sensorik, sowie Steuerungs- und Koordinationsplattformen für Fahrzeugflotten. Wie die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen sowie den Fahrzeugen und der Infrastruktur konkret erfolgen wird, und welche Kosten dabei entstehen, ist noch offen und wurde in dieser Machbarkeitsstudie nicht untersucht.

### Strategische Empfehlungen für das ökonomische Impact Assessment

Auch wenn wir im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie die potenziellen Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich zumindest ansatzweise benennen konnten, ist die Unsicherheit in Bezug auf das Ausmass dieser Wirkungen noch sehr gross. Die Forschung wird in den nächsten Jahren einige dieser Teilfragen klären, andere neue Fragen werden auftauchen. Es stellt sich die Frage, wie das ökonomische Impact Assessment im heutigen Umfeld strategisch positioniert werden soll. Hierzu kommt die vorliegende Machbarkeitsstudie zu folgendem Ergebnis:

- **Vorerst kein integrativer Modell-Ansatz...**

Integrated Impact-Assessment-Modelle (IAM) sind, wenn sie alle wesentlichen Wirkungen erfassen sollen, ausserordentlich aufwendig. IAM sind *optimierende Modelle*, welche Erkenntnisse unterschiedlichster Fachrichtungen miteinander verbinden. Aus unserer Sicht

ist aufgrund des heutigen Stands der Forschung ein Einsatz solcher Integrated Impact-Assessment-Modelle nicht zielführend. Die Unsicherheiten zum Phase-in automatisierter Fahrzeuge und über deren Auswirkungen sind schlicht noch zu gross.

### **...sondern ein schrittweises Vorgehen**

Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass mit einem entsprechenden Set von Annahmen die wichtigsten Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätssektor und darüberhinausgehend auch einzelne Wirkungen auf Raum, Wirtschaft und Umwelt in einem deterministischen Modell quantifiziert werden können – wobei die Effekte im Personen- und im Güterverkehr getrennt voneinander analysiert werden können. Im Vordergrund stehen die Effekte im Personenverkehr, da hier die Verkehrsnachfrage direkt beeinflusst wird und die Abgrenzung zur Digitalisierung in der Wirtschaft klarer ist als im Güterverkehr.

Vor diesem Hintergrund empfehlen wir ein Vorgehen in folgenden Teilschritten:

Schritt 1: Systematische und strukturierte Auswertung vorhandener Unterlagen in erster Priorität für den Personenverkehr und in zweiter Priorität für den Güterverkehr

Schritt 2: Erstellen einer flexiblen Kosten-Nutzen-Berechnung mit Hilfe eines Excel-basierten Tools in erster Priorität für den Personenverkehr und in zweiter Priorität für den Güterverkehr

Diese Kosten-Nutzen-Tools sollen die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität möglichst vollständig abbilden. Die Tools sind deterministischer Natur, also keine «optimierenden Modelle», welche die Reaktion von geänderten Rahmenbedingungen endogen erfassen können. Vielmehr müssen bei geänderten Rahmenbedingungen (bspw. ein geändertes Regulativ) die verschiedenen Inputparameter exogen angepasst werden. Die richtige Ausprägung dieser Inputparameter ist somit die grosse fachliche Herausforderung, dies gilt auch für deren Anpassung im Zeitverlauf. Entsprechend wichtig ist es, dass die Tools einen hohen Differenzierungsgrad aufweisen, beispielsweise hinsichtlich

- der Segmentierung der Verkehrsnachfrage nach Personengruppen, Teilräumen und Verkehrszwecken als Grundlage für die mengenmässige Abschätzung und Monetarisierung der Kosten und Nutzen unterschiedlicher Teileffekte der Digitalisierung in der Mobilität
- der Auffächerung dieser Kosten- und Nutzeneffekte durch die Definition unterschiedlicher Szenarien mit entsprechend unterschiedlichen hohen Kosten- und Nutzeneffekten im Zeitverlauf
- als Datenquelle für ein ökonomisches Modell der Gesamtwirtschaft

Schritt 3: Vorerst empfehlen wir, auf den Einsatz eines gesamtwirtschaftlichen (oder integrated assessment) Modells zu verzichten. Erst nach Vorliegen der Ergebnisse zu den Schritten 1 und 2 kann beurteilt werden, ob die Erarbeitung eines gesamtwirtschaftlichen Modells (das vertiefte Aussagen zu den Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt, die Wohlfahrt, den Handel, die Beschäftigung, die Wettbewerbsfähigkeit ermöglichen würde) möglich und sinnvoll ist.

## Résumé

### But de la présente étude de faisabilité

La présente étude de faisabilité vise à **proposer une marche à suivre** en vue d'une **analyse de l'impact économique** (*impact assessment*) de la **numérisation dans le domaine de la mobilité** en Suisse à un horizon pertinent (au-delà de 2040).

### Tâches

Pour ce faire, l'étude de faisabilité se concentre sur les aspects énumérés ci-dessous.

- Présentation et analyse des **déterminants de la numérisation dans le domaine de la mobilité et de leurs interactions**
- Élaboration d'une proposition concernant la définition de **trois scénarios** (à comparer avec le scénario de référence des Perspectives de transport 2040) relatifs à la numérisation dans le domaine de la mobilité ; pour chaque scénario, description des principaux effets sur la demande de transport et estimation de leurs ordres de grandeur respectifs à l'aide d'un modèle simple
- Examen de la faisabilité et concept de marche à suivre visant à évaluer, en quantité ou en qualité,
  - **les coûts et bénéfices directs et indirects,**
  - **les effets sur la compétitivité et sur les marchés dans le domaine de la mobilité,** ventilés entre les différents acteurs,
  - les effets sur le **territoire, l'environnement et l'économie**

L'étude de faisabilité fournit une base au mandat quant à la forme à donner à une éventuelle étude sur l'évaluation des conséquences économiques de la numérisation dans la mobilité, l'aidant en particulier à décider quels effets il convient d'évaluer quantitativement ou qualitativement et à préparer un cahier des charges en conséquence.

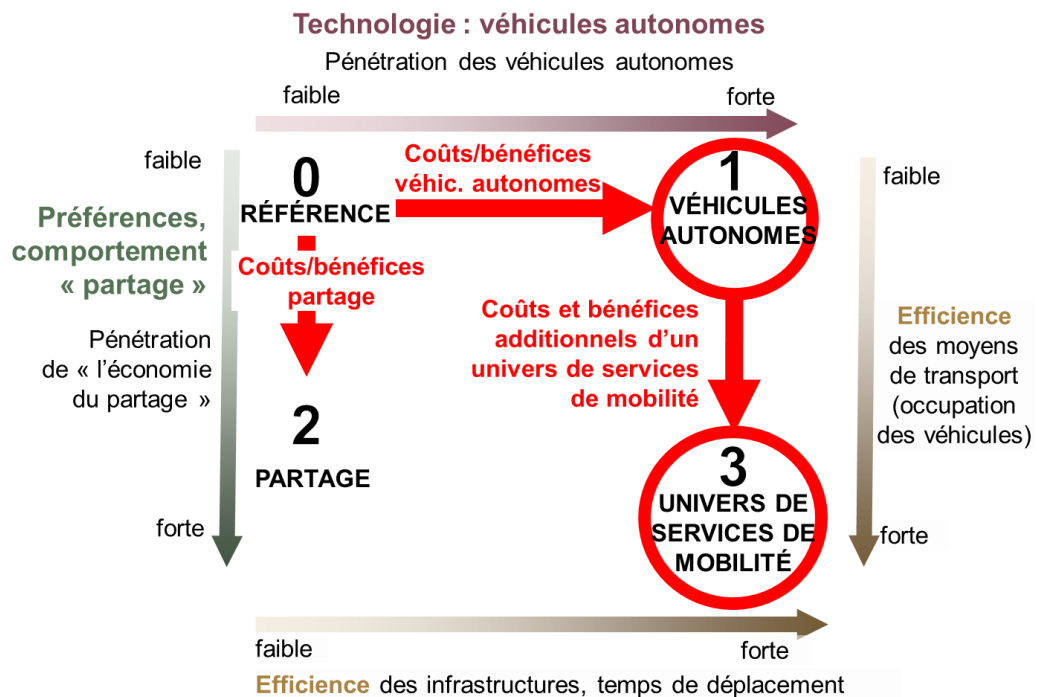
### Définition des scénarios

Le spectre des scénarios utilisé dans la présente étude de faisabilité a fait ses preuves et peut servir de point de départ à une analyse de l'impact économique de la numérisation dans les transports. Nous recommandons d'aborder l'analyse d'impact économique de la manière suivante :

- commencer par mettre en avant les effets « isolés » des véhicules autonomes dans le scénario 1 ;
- puis dégager les effets « isolés » de l'autopartage et du covoiturage dans le scénario 2, lequel sert essentiellement de fondement méthodologique à la troisième et dernière étape ;

- dans ce troisième temps, présenter via le scénario 3 les coûts et bénéfices additionnels liés à un univers de services de mobilité, en partant du principe que les véhicules autonomes vont s'imposer.

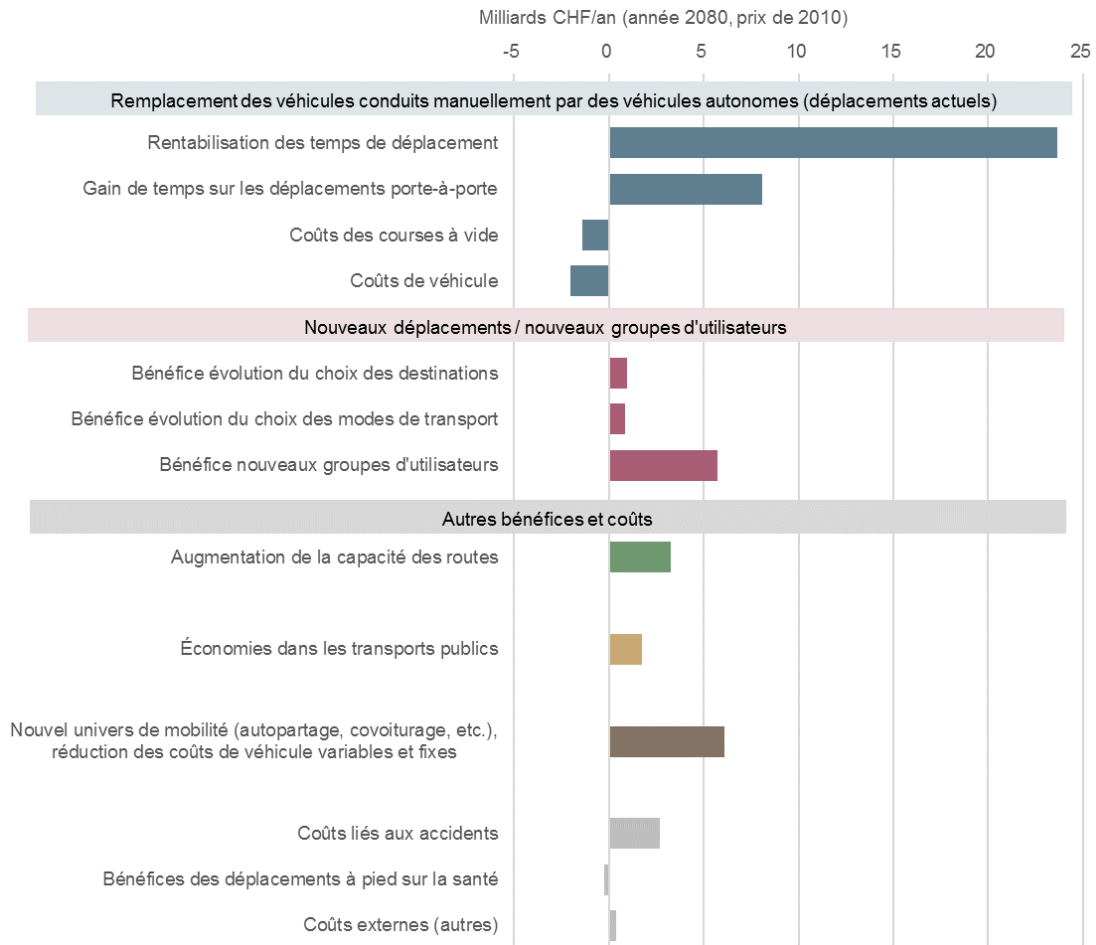
Figure 1: Définition des scénarios (référence : scénario de référence des Perspectives de transport 2040)



### Estimation de l'importance de chaque composante de coût et de bénéfice

Une première estimation rapide chiffre, sur le long terme, à plusieurs dizaines de milliards de francs suisses par an le bénéfice net des véhicules autonomes et d'un nouvel univers de services de mobilité.

Les véhicules autonomes permettront de mettre à profit le temps passé en voiture pour d'autres activités. Le bénéfice lié à l'augmentation du temps de déplacement utilisable efficacement constitue donc, et de loin, le principal bénéfice (cf. Figure 2 ci-après). D'autres bénéfices non négligeables tiennent à de nouveaux groupes d'utilisateurs, à des liaisons porte-à-porte plus directes et au nouvel univers de services de mobilité (offres étendues de transports multimodaux à bonne pénétration, avec une part accrue du « partage » entraînant une baisse des coûts fixes et variables de véhicule). D'autres bénéfices importants résident aussi dans les économies induites par l'automatisation dans les transports publics, par la réduction des accidents et la hausse de la capacité des routes si elles ne sont plus empruntées que par des véhicules autonomes. À l'opposé, les courses à vide et les coûts plus élevés des véhicules autonomes sont à l'origine de surcoûts.

**Figure 2: Importance de chaque composante de coût et de bénéfice**

Outre les coûts et les bénéfices susmentionnés, les véhicules autonomes nécessitent de renouveler les infrastructures techniques et les normes de communication, d'installer des capteurs sur les axes routiers et de créer des centres de pilotage et de coordination pour les flottes de véhicules. Nul ne peut toutefois prédire la forme concrète que prendra la communication entre les véhicules, ou entre les véhicules et les infrastructures, et les coûts qui en découleront. Ces aspects n'ont donc pas été examinés dans la présente étude de faisabilité.

### Recommandations stratégiques pour l'analyse d'impact économique

Dans la présente étude, nous avons pu identifier, sommairement du moins, les effets potentiels de la numérisation dans les transports. Pour autant, des incertitudes considérables entourent encore l'ampleur de ces effets. La recherche apportera certaines réponses au cours des prochaines années, et de nouvelles questions ne manqueront pas de surgir. Pour l'instant, il s'agit de savoir quel positionnement stratégique donner à l'analyse d'impact économique dans le contexte actuel. À cet égard, la présente étude parvient à la conclusion suivante :

- **Pas de modélisation intégrée dans l'immédiat...**

Des modèles intégrés d'analyse d'impact (IAM) qui embrasseraient tous les effets essentiels seraient extrêmement lourds à utiliser. Les IAM sont des *modèles d'optimisation* qui relient entre eux des résultats de disciplines les plus diverses. De notre point de vue, dans

l'état actuel des recherches, l'utilisation de ces modèles ne serait pas pertinente. Les incertitudes liées à la transition vers les véhicules autonomes et aux conséquences qui en résulteraient sont encore beaucoup trop importantes aujourd'hui.

### **...mais une approche par étapes**

L'étude de faisabilité montre qu'avec une série d'hypothèses appropriées, il est possible de quantifier dans un modèle déterministe les principaux coûts et bénéfices de la numérisation dans le secteur de la mobilité et aussi, au-delà, certains effets sur le territoire, l'économie et l'environnement, en dissociant même dans l'analyse les effets sur le transport de voyageurs de ceux sur le trafic marchandises. Les effets de la numérisation sur le transport de voyageurs recevront une attention particulière, car la demande est là directement influencée et que la délimitation avec la numérisation dans l'économie y est plus facile que pour le trafic marchandises.

Dans ce contexte, nous recommandons de procéder par étapes :

Étape 1 : évaluation systématique et structurée des documents disponibles, en premier lieu pour le transport de voyageurs et ensuite pour le trafic marchandises.

Étape 2 : création d'un mode de calcul flexible des coûts/bénéfices recourant à un outil basé sur Excel, en premier lieu pour le transport de voyageurs et ensuite pour le trafic marchandises, en veillant à ce que les deux outils utilisés reflètent les effets de la numérisation sur la mobilité de la manière la plus exhaustive possible. Ces outils sont de nature déterministe, par opposition aux « modèles d'optimisation » capables d'intégrer de manière endogène la réaction à l'évolution des conditions-cadre. En cas de modification des conditions-cadre (évolution de la législation, p. ex.), les divers paramètres devront donc être adaptés de manière exogène. C'est donc dans la définition correcte de ces paramètres – et dans leur ajustement au fil du temps – que réside la principale difficulté technique. D'où l'importance de disposer d'outils présentant un degré élevé de différenciation, notamment dans la perspective

- de la segmentation de la demande de transport par groupe de voyageurs, par type d'espace et par motif de déplacement afin d'évaluer quantitativement et de monétariser les coûts et les bénéfices de chaque effet induit par la numérisation dans le domaine de la mobilité ;
- de la ventilation de ces coûts et bénéfices selon différents scénarios, entraînant chacun des niveaux de coûts et de bénéfices variables au fil du temps ;
- de leur utilisation comme source de données alimentant un modèle macroéconomique.

Étape 3 : dans un premier temps, nous déconseillons le recours à un modèle macroéconomique (analyse intégrée, ou integrated assesement). Ce n'est que lorsque les résultats des étapes 1 et 2 seront disponibles qu'il sera possible de juger si un modèle macroéconomique (qui permettrait des affirmations plus détaillées quant aux effets sur le PIB, sur la prospérité, sur le commerce, sur l'emploi ou sur la compétitivité) peut et doit être élaboré.



# 1 Einleitung

## Ausgangslage

Die Digitalisierung (Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien) erfasst alle Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft. Der Bundesrat erwartet, dass diese zunehmend auch die Mobilität markant verändern wird und er will gemäss seiner Strategie «Digitale Schweiz»:<sup>1</sup>

- Wirtschaft und Gesellschaft Raum zur digitalen Entfaltung geben
- den Strukturwandel aktiv angehen und
- die Transformationsprozesse aktiv begleiten.

Bezogen auf die Mobilität will der Bundesrat gemäss seiner Strategie «Digitale Schweiz» sicherstellen, dass diese intelligent, vernetzt und menschengerecht ist. Er will die Chancen des Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien nutzen, um

- die bestehenden Infrastrukturkapazitäten und Transportmittel in der Schweiz besser auszunutzen,
- das Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern zu verbessern und
- die Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer bei Bedarf mit Infrastruktur und Transportmitteln zu vernetzen.

In Zukunft soll gemäss der Strategie «Digitale Schweiz» des Bundesrats ein intermodal vernetztes und optimal ausgelastetes Verkehrssystem die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen erfüllen und eine angemessene Erschliessung des Landes garantieren. Innovative Logistikdienstleistung sollen die Güterversorgung sicherstellen und den Online-Handel fördern. Dabei will der Bundesrat auch neue Geschäftsmodelle ermöglichen, wie zum Beispiel multimodale Mobilitätsdienstleistungen der «Sharing economy». Der Bundesrat will aber auch die schwächeren Marktteilnehmenden schützen sowie sicherstellen, dass unter anderem der Datenschutz gewährleistet ist und die Umwelt geschont wird durch eine weitere Reduktion des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses.

Im Rahmen einer Vielzahl von Projekten werden aktuell die möglichen Entwicklungsszenarien und die damit einhergehenden Auswirkungen auf den Infrastrukturbedarf, die Umwelt und die Raumentwicklung erforscht. Was fehlt ist ein Impact Assessment, welches die ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität abschätzt.

## Ziel

Das Ziel der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist es, einen **Vorgehensvorschlag** (im Sinne eines Konzepts) für eine **ökonomische Folgenabschätzung (Impact Assessment) der Digitalisierung im Bereich der Mobilität** mit einem sinnvollen Zeithorizont (bis über 2040 hinausgehend) für die Schweiz vorzustellen.

---

<sup>1</sup> Bundesrat (2016a), Strategie «Digitale Schweiz».

## Aufgabenstellung

Diese Machbarkeitsstudie zur ökonomischen Folgenabschätzung der Digitalisierung im Bereich der Mobilität konzentriert sich dabei auf folgende Aspekte:

- Die **Treiber und Wirkungszusammenhänge** im Zusammenhang mit der Digitalisierung im Mobilitätsbereich werden – aufbauend auf der bestehenden internationalen und nationalen Literatur sowie unter Beachtung der laufenden und kürzlich abgeschlossenen Arbeiten auf nationaler Ebene (vgl. nachfolgenden Exkurs) – dargelegt und diskutiert.
- Daraus wird ein Vorschlag zur Ausgestaltung von **drei Szenarien** (jeweils im Vergleich zu dem Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040) zur Digitalisierung im Mobilitätsbereich entwickelt. Zu den einzelnen Szenarien sollen die wesentlichen Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage beschrieben, begründet und deren Grössenordnungen abgeschätzt werden.
- Klärung der Machbarkeit und Vorgehenskonzept zur Quantifizierung oder qualitativen Einschätzung zu den
  - **direkten und indirekten Kosten und Nutzen**
  - **Wettbewerbs- und Markteffekten im Mobilitätsbereich**, aufgeteilt auf die verschiedenen Akteure
  - Effekten auf **Raum, Umwelt** und die **Wirtschaft**.

Die Machbarkeitsstudie hilft dem Auftraggeber bei der Gestaltung einer möglichen Hauptstudie zur ökonomischen Folgenabschätzung der Digitalisierung im Bereich der Mobilität, insbesondere für den Entscheid, welche Auswirkungen quantitativ oder qualitativ erhoben werden sollen und für die Erstellung eines entsprechenden Pflichtenhefts.

## Aufbau des Berichts

Die vorliegende Machbarkeitsstudie ist wie folgt aufgebaut:

- In **Kapitel 2** werden **drei Szenarien** vorgestellt, welche es erlauben, die *«Hauptausprägungen der Digitalisierung in der Mobilität»* zu erfassen. Die laufende und künftig vielleicht noch beschleunigte Digitalisierung betrifft alle Konsum-, Produktions- und Lebensbereiche. Es gilt, diese allumfassende Entwicklung zu berücksichtigen, ohne den eigentlichen «Kern» der Digitalisierung der Mobilität aus den Augen zu verlieren. Der «Kern» der Digitalisierung der Mobilität muss sich auf die wesentlichsten Ausprägungen beschränken, damit eine zielführende Analyse möglich wird. Diese Art von Problemstellung soll mit der Szenariomethodik angegangen werden. Die klar strukturierte Szenariendefinition ist der Dreh- und Angelpunkt der vorliegenden Aufgabe. Die drei Szenarien wurden im Rahmen von Expertenworkshops diskutiert (Liste der Experten: vgl. Anhang A, Kapitel 11). Es wird unterstellt, dass sich das Regulativ entsprechend den Erfordernissen der Szenarien anpassen wird (welche Anpassungen notwendig sind, wird beschreibend im Kapitel 9 festgehalten). Das Regulativ ist somit kein «Stellschrauben» für die Festlegung der Szenarien.

- Bei der Digitalisierung ganz allgemein und der Digitalisierung im Mobilitätsbereich im Besonderen kann zumindest in Teilen eine disruptive Entwicklung<sup>2</sup> nicht ausgeschlossen werden. Die Experten-Einschätzungen dazu gehen weit auseinander. Die Unsicherheit bezüglich der *Durchdringungsgeschwindigkeit* der Digitalisierung wird im Rahmen von **drei Phase-in-Varianten** für jedes der drei Szenarien berücksichtigt (vgl. Kapitel 3).
- Das Kapitel 4 gibt einen Überblick über das verwendete **Wirkungsmodell**. In den **Kapiteln 5 und 6** (Personenverkehr) und **8** (Güterverkehr) werden die zentralen **Wirkungsmechanismen** aufgezeigt und diskutiert. Wie oben dargelegt, braucht es eine Konzentration auf die wesentliche Analyseebene – allerdings ohne den Blick auf das sich wandelnde Umfeld zu verstellen. Es gilt somit, aus dem «Kern» der Digitalisierung die Wirkungsmechanismen auf das weitere Umfeld (Mobilitätsbereich, Raum, Umwelt, Wirtschaft) herzustellen und allfällige positive oder negative Rückkoppelungen zu erfassen. Daraus ist ein Wirkungsmodell zu erstellen, dessen Ausgangspunkt der «Kern» der Digitalisierung der Mobilität ist.
- Das Kapitel 7 gibt eine erste, sehr grobe Einschätzung zur Grössenordnung der Kosten und Nutzen im Personenverkehr für die drei Szenarien.
- Die **Folgen für das Regulativ** (Kapitel 9) werden im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie summarisch diskutiert und stehen hier auftragsgemäss nicht im Vordergrund.<sup>3</sup>
- Die Szenarien und Wirkungsmodelle sind Ausgangspunkt zur quantitativen oder qualitativen Erfassung der direkten Kosten und Nutzen, der Effekte auf die Mobilität sowie der Raum-, Umwelt- und gesamtwirtschaftlichen Effekte. Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie gilt es festzulegen, welches Vorgehen und welche Methoden dabei am zielführendsten sind. Im Kapitel 10 wird ein **Vorgehenskonzept für ein ökonomisches Impact Assessment** aufgezeigt. Ausgehend von einer Zieldefinition wird dargelegt, welche direkten und indirekten Kosten und Nutzen wie gemessen werden können und welche weiteren Effekte auf den Wettbewerb, Raum, Umwelt und Wirtschaft zu erfassen sind.
- Die Kurzfassung fasst die aus Sicht der Autoren wesentlichsten Erkenntnisse zusammen.

#### **Methodik zur Erfassung der Kosten und Nutzen**

*Die Machbarkeitsstudie zeigt in grün hervorgehobenem Text, welche Kosten und Nutzen im Rahmen eines ökonomischen Impact Assessments quantifiziert (monetarisiert, also in Schweizer Franken ausgedrückt werden können) und welche Kosten und Nutzen qualitativ zu erfassen sind. Das vorgeschlagene Vorgehenskonzept in Kapitel 10.2 fasst die wichtigsten Erkenntnisse zusammen.*

<sup>2</sup> Disruptiv in dem Sinne, dass die Digitalisierung im Mobilitätsbereich die Geschäftsmodelle und damit Marktstrukturen schnell verändert. Etablierte Geschäftsmodelle oder ganze Unternehmen werden durch schnell ablaufende gesellschaftliche Veränderungen (bspw. «Sharing economy») oder technologische Innovation (bspw. automatisiertes Fahren) so verändert, dass sie nicht mehr funktionieren und vom Markt verschwinden.

<sup>3</sup> Im laufenden SVI-Forschungspaket «Verkehr der Zukunft» befasst sich das Projekt 2017/005 «Risiken und Chancen für das Regulativ und das Finanzierungssystem» spezifisch mit Fragen des Regulierungsbedarfs bei der langfristigen Ausgestaltung des Verkehrssystems. Das SVI-Forschungspaket «Verkehr der Zukunft» ist Teil des SVI-Forschungsprogramms 2015 bis 2020 (vgl. <http://www.svi.ch/index.php?id=47>, aufgerufen am 16.4.2018).

**Tischmodell****DiMAP Digitalisierung in der Mobilität – Auswirkungen im Personenverkehr:**

*Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie haben wir ein Tischmodell für den Personenverkehr in EXCEL erstellt, das eine erste, sehr grobe Einschätzung zu den monetarisierbaren Auswirkungen der drei Szenarien im Mobilitätsbereich erlaubt. Das Tischmodell dient vor allem dazu, die notwendigen Daten zur Berechnung der Kosten und Nutzen zu erkennen und aufzuzeigen, wie relevant diese Daten für die quantifizierten Kosten und Nutzen sind. Allerdings sind viele Teile der kausalen Wirkungsketten bei weitem noch nicht soweit, dass ein Experten-Konsens über deren Ausprägung besteht (bspw. wieviel Kapazitätssteigerung automatisiertes Fahren bringt). Mit dem Tischmodell können diese unterschiedlichen Experteneinschätzungen erfasst und die Konsequenzen auf die Kosten und Nutzen abgeschätzt werden.*

*Für die Abschätzung der verkehrlichen Auswirkungen beruht das Tischmodell auf der Verkehrsstruktur gemäss Mikrozensus. Die «Eckgrössen» zur Entwicklung des Verkehrs beruhen auf dem Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 des ARE. Die demografische und räumliche Struktur wurde aber vereinfachend vom MZMV 2015 und nicht von den Verkehrsperspektiven 2040 übernommen.*

*Das Tischmodell bietet somit die Grundlage für das Vorgehenskonzept für das ökonomische Impact Assessment. Weiter erlaubt das Tischmodell eine erste, sehr grobe Einschätzung zu den quantifizierbaren Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich.*

**Disclaimer:** *Zentrale Annahmen für das Tischmodell wurden im Rahmen von zwei Expertenworkshops diskutiert. Trotzdem mussten viele – noch nicht im Detail aufbereitete – Ad-hoc-Annahmen getroffen werden. Weiter wurden diverse pragmatische Vereinfachungen getroffen: real konstante Preise, keine Teuerungsberichtigung der Grundannahmen auf den gewählten Startzeitpunkt 2010, Entwicklung zwischen 2010 bis 2040 und bis 2080 mit einfachen, jährlich gleichbleibenden Wachstumsraten antizipiert, Vernachlässigung einiger Rückkoppelungen.*

*Im Folgenden verweisen wir mit hellrot unterlegten Stellen auf dieses Tischmodell.*

**Exkurs: Laufende Arbeiten in Bezug zur vorliegenden Machbarkeitsstudie****Abbildung 1-1: Laufende und kürzlich abgeschlossene Arbeiten mit engem Bezug zur vorliegenden Machbarkeitsstudie**

<b>Studien (Jahr)</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Forschungspaket Verkehr der Zukunft</b> (laufend)	Das Forschungspaket Verkehr der Zukunft besteht aus 7 Teilprojekten: <ul style="list-style-type: none"> <li>– 4 Projekte untersuchen die sozioökonomischen und ökologischen Treiber (z. B. demografische Alterung und ihre Folgen für Kapazität und Sicherheit im Verkehrssystem)</li> <li>– 2 Projekte analysieren die Entwicklungsmöglichkeiten und Anreize für die Diffusion von neuen Technologien</li> <li>– 1 Projekt analysiert die Frage, welche Anforderungen sich für die Entwicklung des Regulativs und des Finanzierungssystems ergeben.</li> </ul>
<b>Verkehrsperspektiven 2040</b> (2016)	Das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) hat zusammen mit anderen Bundesstellen – darunter die Bundesämter für Verkehr (BAV), Strassen (ASTRA), Energie (BFE) und Umwelt (BAFU) – die verkehrlichen Entwicklungen bis 2040 in Form von Szenarien errechnet. Diese dienen als Planungsgrundlage für Infrastrukturprogramme von Strasse und Schiene sowie für verkehrspolitische und raumplanerische Entscheide. Zudem fliessen die Ergebnisse in die Energieperspektiven und in Berechnungen von Lärm- und Schadstoffemissionen ein. Die Szenarien sind überdies mit den Prognosen für den Luftverkehr des Bundesamts für Zivilluffahrt (BAZL) abgestimmt. Im Rahmen der Verkehrsperspektiven wurde auch untersucht, wie sich gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen auf den Personen- und Güterverkehr bis 2040 auswirken.
<b>SVI-Forschungsprojekt Individualisierung des ÖV-Angebots</b> (laufend, Abschluss 2018)	Im Rahmen des Projekts werden die folgenden Fragestellungen beantwortet: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Welche Trends beeinflussen die Mobilitätsbedürfnisse und das Mobilitätsangebot der Zukunft?</li> <li>– Wie wirken sich diese Trends auf das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung und die Bedürfnisse der ÖV-Nutzenden aus?</li> <li>– Wie werden diese Trends das Mobilitätsangebot verändern?</li> <li>– Welche Lücken entstehen zwischen dem ÖV-Angebot und der Mobilitätsangebote und welche Gefahr droht durch Konkurrenzangebote?</li> <li>– Wie ist das ÖV-Angebot im Vergleich zu den Konkurrenzangeboten langfristig positioniert?</li> <li>– Wie können die Lücken zwischen Angebot und Nachfrage geschlossen werden und die Positionierung des ÖV im Vergleich zu den Konkurrenzangeboten verbessert werden?</li> </ul>
<b>Strategie Digitale Schweiz (2017) und laufende Umsetzungsprojekte</b>	Die Strategie «Digitale Schweiz» stellt die Nutzung der Chancen der Digitalisierung ins Zentrum. Ziel ist die Schweiz als attraktiven Lebensraum und innovativen zukunftsorientierten Wirtschafts- und Forschungsstandort zu positionieren. Der Aktionsplan enthält verschiedene Umsetzungsprojekte.

## 2 Drei Szenarien der Digitalisierung im Mobilitätsbereich

### 2.1 Drei Szenarien der Mobilitätszukunft

In einem ökonomischen Impact Assessment spielt die Szenariendefinition eine entscheidende Rolle. Szenarien müssen klar und einfach definiert sein, damit eine quantitative Analyse auf einzelne Haupttreiber rückführbar ist. Die Szenarien sind so anzulegen, dass Kausalitätsketten und damit eindeutige Wirkungsrichtungen abgeleitet werden können. Nur so können Aussagen zum «Kern» der Digitalisierung der Mobilität in einen Zusammenhang mit den am Ende der Wirkungsketten berechneten, modellierten oder geschätzten ökonomischen Folgen gestellt werden.<sup>4</sup>

Der «Kern» der Digitalisierung der Mobilität lässt sich auf zwei Achsen mit den folgenden beiden Hauptausprägungen beschreiben:

- **Technologie – Durchdringung mit «automatisiertem Fahren»:** von Fahrer geführten über assistierte, teilautomatisierte, vollautomatisierte bis hin zu vollständig fahrerlosen Fahrzeugen. In den entsprechenden Szenarien 1 und 3 werden nur die vollautomatisierten Fahrzeuge betrachtet.
- **Präferenzen/Verhalten – Durchdringung mit «Sharing economy»:** Carsharing, Ride-sharing usw.

Zentral für das ökonomische Impact Assessment ist, dass diese definierten Hauptausprägungen der Digitalisierung der Mobilität einen **direkten Konnex auf ökonomische Wirkungsmechanismen** haben. Folgende **Annahmen** werden postuliert:<sup>5</sup>

- Das «automatisierte Fahren» erhöht die **Effizienz der Infrastruktur** und die **Effizienz der Mobilitätszeit** - also der für die Mobilität einzusetzenden Reisezeit (bspw. kann dank des autonomen Fahrens die Fahrzeit im Auto produktiver eingesetzt werden).
- Das «Sharing» erhöht die **Effizienz der Betriebsmittel** (also bspw. die Effizienz der einzusetzenden Flotte im Falle von Carsharing, die Effizienz jedes einzelnen Fahrzeugs im Falle von Ridesharing oder die Effizienz multimodaler Mobilitätsketten).

Die nachfolgende Abbildung zeigt die drei Szenarien im Vergleich zum Referenzszenario (wo bei wir für das Referenzszenario vom Referenzszenario gemäss «Verkehrsperspektiven 2040» des ARE<sup>6</sup> ausgehen):

- **Szenario 1 «automatisiertes Fahren»:** Der technologische Fortschritt macht in Bezug auf das automatisierte Fahren rasche Fortschritte. Rahmenbedingungen und Regulativ werden

---

<sup>4</sup> Die Szenarienfestlegung mittels morphologischem Kasten, wie bspw. in Infras (2017), ist für die vorliegende Fragestellung nicht zielführend, da der «Kern» der Digitalisierung der Mobilität nicht klar herausgearbeitet ist.

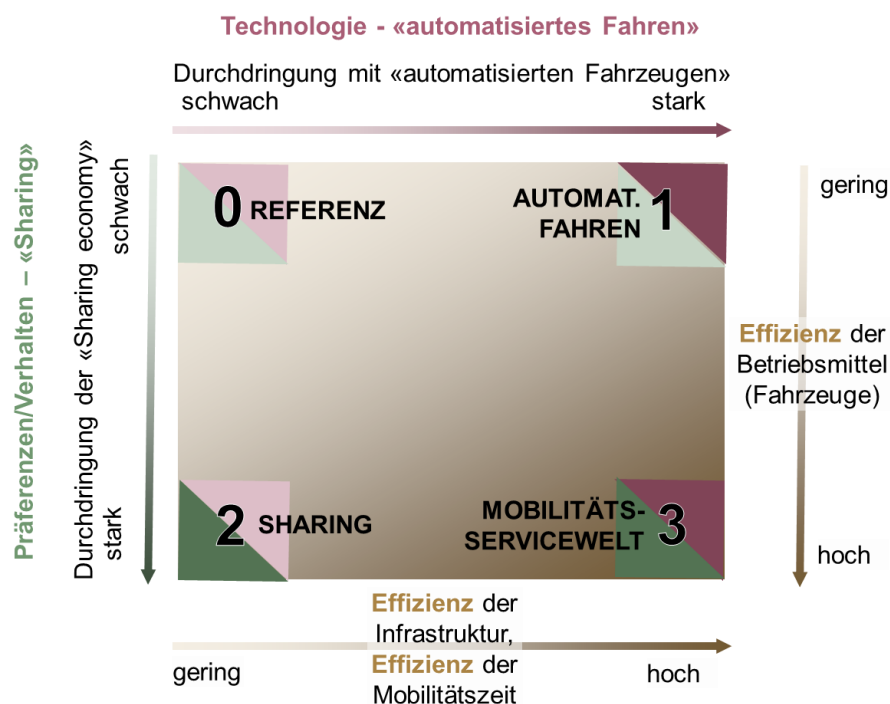
<sup>5</sup> Es handelt sich hier um Annahmen, für welche es aus der Literatur Indizien gibt. Das Ausmass oder die Anwendung der Erkenntnisse aus der internationalen Literatur für den Schweizer Kontext ist aber noch nicht abschliessend geklärt. So ist bspw. unklar, ob und in welchem Ausmass das «automatisierte Fahren» die Effizienz der Schweizer Strasseninfrastruktur erhöht.

<sup>6</sup> Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2016), Verkehrsperspektiven 2040.

angepasst, unterstützen diese technologische Entwicklung und die Akzeptanz ist gegeben. Dies betrifft sowohl den privaten wie öffentlichen Personenverkehr als auch den Güterverkehr. Private Fahrzeuge werden aber wenig geteilt – die Präferenzen der Haushalte liegen beim Fahrzeugbesitz. Der Besitz eines Fahrzeuges ist weiterhin der Hauptschlüssel für den Zugang zum motorisierten Individualverkehr.

- **Szenario 2 «Sharing»:** Die Technologie hin zu fahrerlosen Fahrzeugen entwickelt sich nur langsam oder das Regulativ oder die Akzeptanz verhindern die starke Verbreitung der Technologie. Hingegen setzt sich die «Sharing economy» im Mobilitätsbereich durch.
- **Szenario 3 «Mobilitäts-Servicewelt»:** In diesem Szenario entwickeln sich «automatisiertes Fahren» und die «Sharing economy» im Mobilitätsbereich Hand in Hand – mit entsprechend unterstützenden Rahmenbedingungen bzw. angepassten Regulativen. Es bildet sich eine Mobilitäts-Servicewelt, bei dem der private Fahrzeugbesitz zum Zugang zur individuellen Mobilität keine Rolle mehr spielt.

**Abbildung 2-1: Die drei Szenarien der Mobilitätszukunft – Einordnung in die beiden Haupttreiber der Digitalisierung im Mobilitätsbereich und den ökonomischen Treibern (am Beispiel des privaten Personenverkehrs)**



Die obige Abbildung 2-1 illustriert die Szenarien am Beispiel des privaten Personenverkehrs und gilt – mit leicht anderen Ausprägungen – auch für den öffentlichen Personenverkehr.:

- **Technologie-Achse:** Der ÖV mit dem privaten Personenverkehr vergleichbar, ausser dass die Effizienz der Mobilitätszeit mit zunehmender Automatisierung beim ÖV unverändert bleibt.

- **Sharing-Achse:** Eine stärkere Durchdringung mit «Sharing» betrifft den ÖV vor allem beim Zubringerverkehr zu den ÖV-Haltestellen von Bus und Schiene (bessere Anbindung des ÖV durch bspw. Ridesharing-Anbieter). Indirekt könnte die mit «Sharing» verbundene Abnahme des Autobesitzes die ÖV-Affinität erhöhen.

Im Güterverkehr stehen ebenfalls zwei Haupttreiber im Vordergrund: Der erste ist auch die Technologie – also «automatisiertes Fahren» oder genereller die «Automatisierung im Betriebsprozess» (inkl. der Ausgestaltung der «letzten Meile»), der zweite ist das veränderte Verhalten im Bereich der Beschaffung und des Vertriebs (relativ umfassend – also unter Einbezug der Haushalte wie der Wirtschaft – zu definieren).

Mit diesen drei Szenarien kann der «Kern» der Digitalisierung im Mobilitätsbereich abgesteckt werden. Insbesondere erlaubt diese Fokussierung die wichtige Analyse von unterschiedlichen Durchdringungsgeschwindigkeiten der beiden Haupttreiber in Bezug auf die Technologie und die Präferenzen der Haushalte. Es ist offensichtlich, dass ein Szenario 1 (automatisiertes Fahren) ganz andere Effekte auf Raum, Gesamtwirtschaft und Umwelt hat als ein Szenario 2 (Sharing) und wiederum andere als ein Szenario 3 (Mobilitäts-Servicewelt), in dem sich automatisiertes Fahren und Sharing Hand in Hand entwickeln.

#### **Exkurs zur Szenariendefinition**

Die Rahmenbedingungen in Bezug auf die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung bzw. die zentralen Umfeld-Entwicklungen wurden als gegeben angenommen (vgl. nachfolgendes Kapitel). Diese Herangehensweise ist sinnvoll, da sowohl das automatisierte Fahren als auch die «Sharing economy» in ihrer grundlegenden Entwicklung und auch ihrem Entwicklungstempo sehr stark von globalen Trends geprägt werden. Der Einfluss von geänderten Rahmenbedingungen bzw. geänderten Umfeld-Entwicklungen können im Rahmen von Sensitivitätsbetrachtungen analysiert werden (vgl. Kapitel Abbildung 2-2).

Weiter wird unterstellt, dass sich das Regulativ entsprechend den Erfordernissen der Szenarien anpassen wird (welche Anpassungen notwendig sind, wird beschreibend im Kapitel 9 festgehalten). Das Regulativ ist somit kein «Stellschrauben» für die Festlegung der Szenarien. Die volkswirtschaftliche Analyse soll aufzeigen, welche Szenarien vorteilhaft sind. Das Regulativ ist dann zugunsten dieser vorteilhaften Szenarien auszugestalten bzw. so auszugestalten, dass unerwünschte Auswirkungen verhindert oder gemindert werden.

## **2.2 Zentrale Umfeld-Entwicklungen**

### **Denkansatz**

Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst die zukünftige Entwicklung und damit die Rahmenbedingungen zur Abschätzung der verkehrlichen und ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität. Es sind dies Faktoren, welche die Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität verstärken oder auch abschwächen können, deren Entwicklung aber unabhängig von der Digitalisierung in der Mobilität stattfindet.

Dazu gehören grundlegende Faktoren wie das Bevölkerungs- und das Wirtschaftswachstum, die Standortwahl von Firmen und für das Wohnen. Ebenso von Bedeutung ist die Frage, wie



stark einzelne (Mega-)Trends unser zukünftiges Verhalten prägen resp. verändern werden. Das betrifft beispielsweise die Arbeitsformen (Home Office, virtuelle Teams, individualisierte Arbeit, flexible Arbeitszeiten), Änderungen im Kaufverhalten (via Internet statt über einen physischen Marktplatz) oder auch die Bedeutung einzelner Nutzergruppen (Silver-Society mit alten Personen als neue Nutzergruppen, «sharing-affine» Junge). Weiter von Bedeutung ist auch die Entwicklung des regulatorischen Rahmens insbesondere im Mobilitätssektor. Stichworte sind etwas Mobility Pricing, open Data Policy oder die Gestaltung des Marktzugangs im öffentlichen Verkehr.

Für die Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung der Mobilität ist es notwendig, Annahmen über die zukünftige Entwicklung dieser Umfeldfaktoren zu treffen. Dies soll in Form von Umfeldszenarien geschehen. Wichtig ist dabei, dass diese Umfeldszenarien nicht vermischt werden mit den identifizierten «Hauptausprägungen» der Digitalisierung und den daraus abgeleiteten drei Szenarien «autonomes Fahren», «Sharing» und «Mobilitäts-Servicewelt».

### **Umfeldfaktoren**

Wir schlagen vor, für die Entwicklung der Umfeldfaktoren eine Basisausprägung festzulegen und davon ausgehend die Auswirkungen unterschiedlicher denkbarer Entwicklungen der Umfeldfaktoren in einer Sensitivitätsanalyse zu untersuchen. Einen Vorschlag für die Basisausprägungen, basierend auf dem Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 und die wesentlichen Sensitivitäten sind in der Abbildung 2-2 spezifiziert.

**Abbildung 2-2: Spezifikation der Umfeldfaktoren**

Umfeldfaktoren	Basisausprägung basierend auf dem Referenzszenario der Verkehrsspektiven 2040	Sensitivitäten
Bevölkerungswachstum bis 2040/2080	Ca. 10 Mio. Referenzszenario BFS, A-00-2015)	> 10.7 Mio. Hohes Szenario BFS, B-00-2015 < 9.4 Mio. Tiefes Szenario BFS, C-00-2015
Demografie/Kohorten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steigende Lebenserwartung führt zu grösserem Anteil der Rentnerinnen und Rentner an Gesamtbevölkerung</li> <li>– Hohe Kaufkraft und bessere Gesundheit der Rentnerinnen und Rentner führt zu steigender, eher MIV-lastiger Mobilitätsnachfrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rentnerinnen und Rentner fragen ÖV und Car-Sharing stärker nach</li> <li>– Kaufkraft der Rentner nimmt deutlich unterdurchschnittlich zu</li> </ul>
Wirtschaftswachstum und Globalisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Höhere Einkommen führen zu einer Zunahme der Mobilitätsnachfrage</li> <li>– Globalisierung führt zu weiter zunehmender Arbeitsteilung und dadurch steigende Güterverkehrsnachfrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gegenbewegung zur Globalisierung verstärkt</li> </ul>
Räumliche Entwicklung	Urbanisierung mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wachstum auf Kern-Agglomeration konzentriert</li> <li>– Hot Spots mit Verdichtung</li> <li>– Arbeitsplatzwachstum fokussiert auf Entwicklungsschwerpunkten</li> </ul>	Wachstum gleichmässig auf Raumtypen verteilt mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bevölkerungswachstum lokal verdichtet in allen Raumtypen</li> <li>– Arbeitsplatzwachstum räumlich flexibel</li> </ul>
Neue Arbeitsformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Home office nimmt leicht zu</li> <li>– Arbeitszeiten werden nur wenig flexibilisiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Home office nimmt stark zu</li> <li>– Stark individualisierte, flexible Arbeitszeiten im DL-Sektor</li> </ul>
Konsumverhalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weiter leicht steigende Bedeutung des Online-Handels</li> <li>–</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Online-Handel wird zum dominierenden Verkaufskanal</li> </ul>
Klima / Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steigende Energieeffizienz im Verkehr</li> <li>– Wachsende Bedeutung der Elektromobilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Disruptiver Wandel hin zur Elektromobilität</li> </ul>
Regulativ im Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Status Quo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Freier Marktzugang für alle</li> <li>– Abbau Subventionen</li> <li>– Aufbau Mobility Pricing</li> <li>– Infrastruktur auf automatisiertes Fahren ausgerichtet</li> </ul>

**Kommentar:** Die Basisausprägung der Umfeldfaktoren entspricht der angenommenen Trendentwicklung. Im Rahmen der konkreten Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität müssen diese Basisausprägungen quantitativ hinterlegt werden. Die Entwicklung der Umfeldfaktoren in der Spalte «Sensitivitäten» soll vor allem mögliche, heute schwer abschätzbare disruptive Entwicklungspfade widerspiegeln.

### 3 Phase-in von automatisierten Personenfahrzeugen

Bei der Digitalisierung im Mobilitätsbereich können disruptive Entwicklungen nicht ausgeschlossen werden. Die Experten-Einschätzungen zum Phase-in von vollautomatisierten Fahrzeugen und zum Aufbau einer Mobilitäts-Servicewelt gehen weit auseinander. Nicht nur der technologische Fortschritt, sondern insbesondere das Regulativ, die Akzeptanz des «automatisierten Fahrens», die gesellschaftliche Veränderungen im Wertesystem (Änderung der Präferenzen der Haushalte bspw. in Bezug auf den Autobesitz und der «Sharing economy») und nicht zuletzt die Entwicklung der industriellen Fertigungsprozesse und Kosten bzw. Preise der Fahrzeuge werden massgeblich die Durchdringungsgeschwindigkeit vollautomatisierter Fahrzeuge bestimmen. Konsens herrscht darin, dass die meisten Experten davon ausgehen, dass sich das vollautomatisierte Fahren durchsetzen wird – die Frage ist, wann dies erfolgen wird. Eine vertiefte Diskussion zu dieser Thematik wird auftragsgemäss nicht geführt.

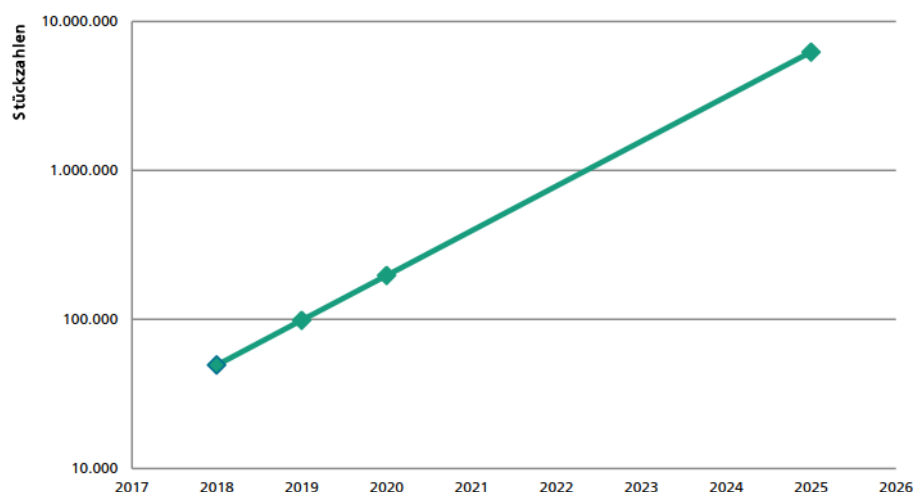
Literatur:

- **Internationales Phase-in kurz- und mittelfristig**

Beim automatisierten Fahren wird davon ausgegangen, dass in der kurzen Frist die Marktdurchdringung noch nicht sehr hoch sein wird, mittelfristig aber mit einem starken Wachstum zu rechnen ist.

Cacilo et al. (2015)<sup>7</sup> schätzt, dass der Markthochlauf für hochautomatisiertes Fahren weltweit auf Autobahnen im Jahr 2018 beginnt. Auf Basis einer Meta-Studie erwartet Cacilo et al. (2015) im Jahr 2020 einen globalen Absatz von ca. 200.000 Fahrzeugen, welche auf Autobahnen hochautomatisiert fahren, was einem Marktanteil von rund 0.2% entspricht. Bis zum Jahr 2025 steigt die erwartete Anzahl auf 6.22 Mio. Fahrzeuge (Marktanteil von 6%). Das hohe Wachstum lässt sich am anschaulichsten mit einer halblogarithmischen Grafik darstellen:

**Abbildung 3-1: Weltweiter Absatz von Fahrzeugen mit den Funktionen für hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen bis 2025 (Y-Achse ist logarithmiert)**



Quelle: Cacilo et al. (2015), S. 197.

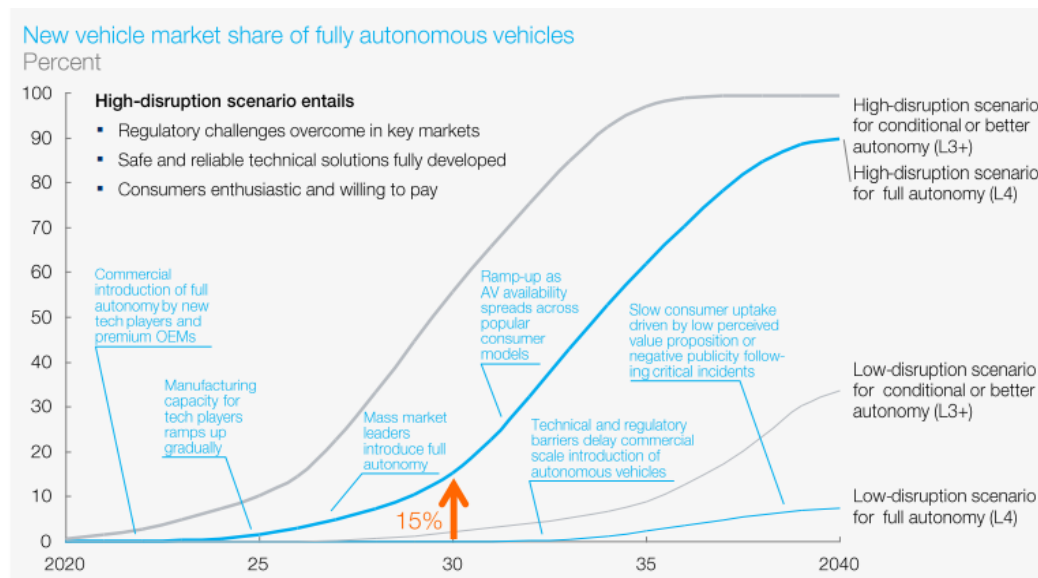
<sup>7</sup> Cacilo et al. (2015), S. 197.

Die Studie der Beratungsfirma McKinsey (2016)<sup>8</sup> geht davon aus, dass vollautomatisierte Fahrzeuge ab 2020 kommerziell vertrieben werden. BMW – als einer der führenden Entwickler im Bereich des automatisierten Fahrens – will Level 4 im BMW iNext technisch vorhalten.<sup>9</sup> Das Level 4 wird gemäss BMW vollautomatisiertes Fahren im Stadtverkehr und in einer erweiterten Ausbaustufe auf Autobahnen erlauben («Mind off» in bestimmten Situationen). Der Fahrer kann während der Fahrt auf langen Strecken ggf. schlafen («Mind off»). BMW rechnet damit, dass das Level 5 in Pilotprojekten voraussichtlich nach 2020 möglich wird. BMW hält die Realisierung völlig automatisiert fahrender Fahrzeuge («Driver off») in den Jahren zwischen 2020 und 2030 für möglich. Aussagen zur zeitlichen Umsetzung seien aber spekulativ. Gemäss Einschätzung von BMW werden Fahrzeuge mit Level 4 («Mind off») zuerst auf Autobahnen unterwegs sein, während Fahrzeuge mit Level 5 («Driver off») mit relativ geringen Geschwindigkeiten im Stadtverkehr unterwegs sein werden.

- **Phase-in längerfristig – bis 2040**

Für die weitere Entwicklung nach 2020 hat McKinsey (2016) verschiedene in Abbildung 3-2 dargestellte Szenarien entworfen.

**Abbildung 3-2: McKinsey – Weltweite Marktanteile von vollautomatisierten Fahrzeugen für verschiedene Szenarien**



Quelle: McKinsey (2016), S. 11.

Ähnlich wie McKinsey gehen die meisten anderen Studien<sup>10</sup> ebenfalls davon aus, dass mittel- bis langfristig der Anteil automatisierter Fahrzeuge stark ansteigen wird. So liegt eine Schätzung für den Bestand an AV für das Jahr 2035 beispielsweise bei 25%.<sup>11</sup> Dabei wird allerdings von einem disruptiven Szenario ausgegangen.

<sup>8</sup> McKinsey (2016), S. 11.

<sup>9</sup> BMW (2017), Automatisiertes Fahren bei der BMW Group, Presse-Information vom 30. Mai 2017.

<sup>10</sup> Vgl. bspw. die zitierten Studien in Bansal (2017), Kockelman (2017) und zudem Heineke, et al. 2017 and SAE 2014. In U.S. Department of Commerce (S.4).

<sup>11</sup> Dungs et al. (2016), S. 37.

*Auch der Bundesrat (2016b) geht davon aus, dass automatisierte Fahrzeuge in den nächsten 15-25 Jahren einen nennenswerten Anteil der zugelassenen Strassenfahrzeuge in der Schweiz erreichen werden.<sup>12</sup> Weitere Schätzungen gehen von ähnlichen Durchdringungsgeschwindigkeiten des automatisierten Fahrens aus.<sup>13</sup> Wie das Bundesamt für Strassen (ASTRA) in einem Bericht<sup>14</sup> festhält, gibt es aber durchaus auch Experten, die es für realistisch halten, dass sich das automatisierte Fahren auch im Jahr 2040 noch nicht durchgesetzt haben wird.*

### **Methodik zur Erfassung des Phase-in von vollautomatisierten Personenfahrzeugen**

#### **Vollautomatisierte Fahrzeuge (Level 4 und 5)**

*Das ökonomische Impact Assessment kann sich im Wesentlichen auf das Phase-in von vollautomatisierten Fahrzeugen konzentrieren: Level 5<sup>15</sup>, also vollautomatisierte Fahrzeuge ohne Anwesenheit eines Fahrers und allenfalls ohne Steuerrad («Driver off»), und Level 4 («Mind off»), sofern die Beschränkung vom vollautomatisierten Fahren Ausnahmefälle darstellen (bspw. sehr schlechte Witterung, schwieriges Terrain usw.). Die Durchdringung von teilautomatisierten Fahrzeugen (bis Level 3) ist nur für einige wenige Nutzenkomponenten (bspw. Entwicklung der Unfälle) relevant und kann bei den Annahmen zu den entsprechenden Nutzenkomponenten diskutiert und berücksichtigt werden.*

#### **Umgang mit Unsicherheit**

*Für das ökonomische Impact Assessment ist die Unsicherheit bezüglich der Durchdringungsgeschwindigkeit des automatisierten Fahrens im Rahmen von unterschiedlichen Phase-in-Varianten – von einem langsamen bis zu einem schnellen, disruptiven Phase-in – zu berücksichtigen. Wir schlagen vor, eine «schnelle», eine «langsame» und eine «mittlere» Variante für die Durchdringungsgeschwindigkeit zu unterstellen. Die unterschiedlichen Phase-in-Varianten können sich auf die internationale Literatur abstützen.*

#### **Analyse der Einführungsphase**

*Soll der Nutzen in der Einführungsphase des vollautomatisierten Fahrens detailliert und im Zeitablauf untersucht werden, so ist das Phase-in für zwei verschiedene Levels festzulegen:*

- *Level 4 («Mind off»): Ermöglicht im Regelfall automatisiertes Fahren auf Autobahnen und im Stadtverkehr. Ein Fahrer muss aber anwesend sein. In einem kontrollierten Umfeld kann das automatisierte Parkieren ohne Fahrer möglich sein. Mit diesem Level 4 kann insbesondere die Mobilitätszeit im Fahrzeug produktiv genutzt werden. Die Fahrzeuge können aber bspw. nicht als fahrerlos operierende Sammeltaxis eingesetzt werden.*
- *Level 5 («Driver off»): Ermöglicht fahrerloses Fahren und können somit als fahrerlos operierende Sammeltaxis eingesetzt werden. Die Fahrzeuge brauchen kein Steuerrad bzw. Cockpit mehr und sind im Innenausbau somit flexibler.*

<sup>12</sup> Bundesrat (2016b), S. 31.

<sup>13</sup> Vgl. Gertz/Dörnemann (2016); Continental (2016).

<sup>14</sup> ASTRA (2017), S.35.

<sup>15</sup> Gemäss SAE-Norm J3016.

**Zeithorizont bis 2080**

Das ökonomische Impact Assessment soll, wie oben beschrieben aufgrund der erst in diesem Zustand eintretenden wichtigen Effekte, unter anderem eine Situation mit vollständiger Durchdringung mit vollautomatisierten Fahrzeugen erfassen. Dies bedeutet, dass der Bestand der Schweizer Fahrzeugflotte beinahe vollständig aus vollautomatisierten Fahrzeugen besteht. Daher empfehlen wir einen relativ langen Zeithorizont – bis 2080 – zu wählen, damit zumindest bei der «schnellen» Phase-in-Variante von Level-5-Fahrzeugen ein Bestand von nahe 100% innerhalb des betrachteten Zeithorizonts erreicht wird.

**Tischmodell**

Annahme: Für das Tischmodell unterscheiden wir nicht zwischen Fahrzeugen der Stufe Level 4 und Level 5 und nehmen diese beiden Levels somit zusammen. Wir unterstellen aber drei verschiedene Phase-in-Varianten im Tischmodell (vgl. nachfolgende Abbildung 3-3). Alle drei Varianten gehen davon aus, dass sich AV (autonomous vehicles = vollautomatisierte Fahrzeuge) durchsetzen werden.

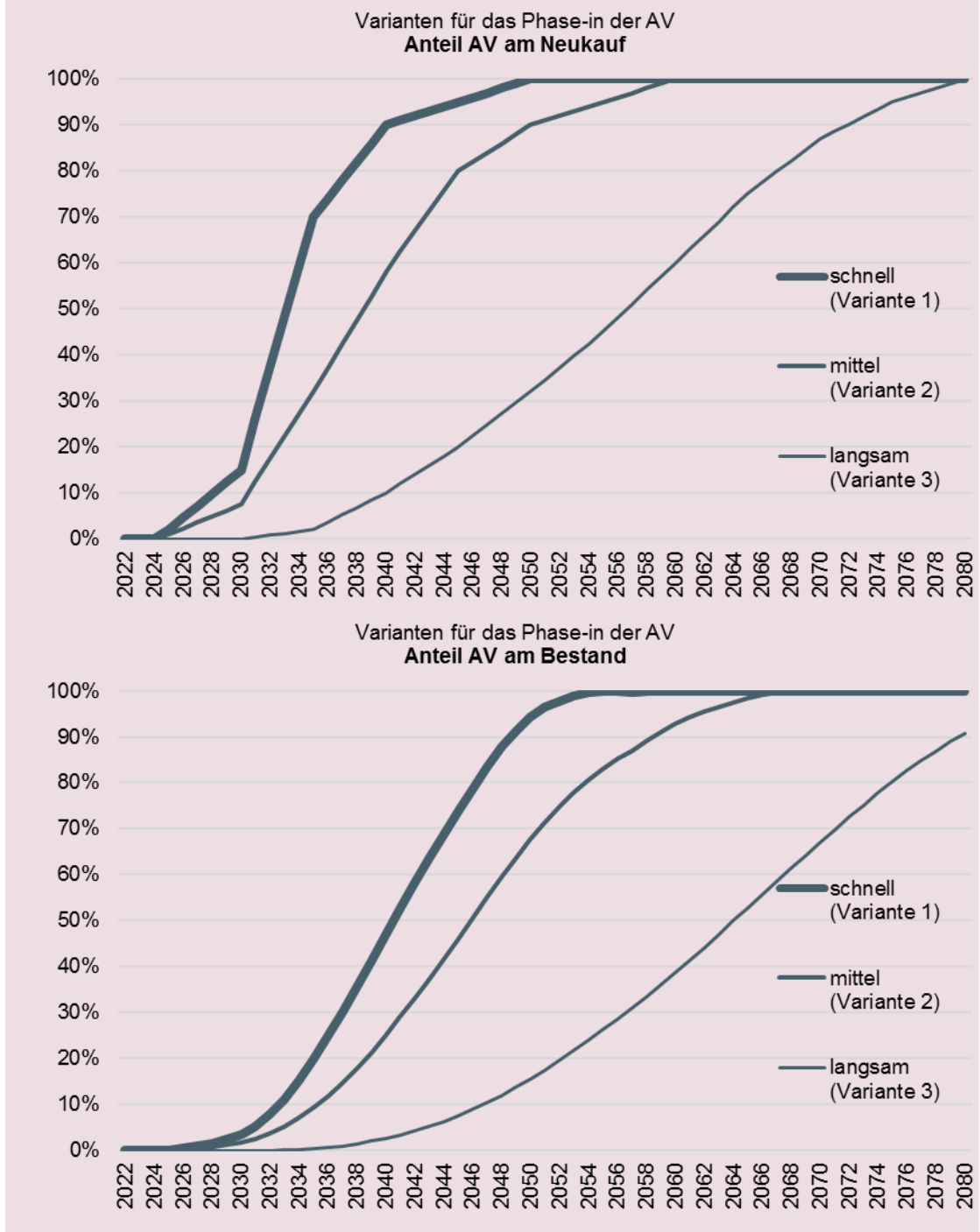
Die **schnelle Variante 1** ist eine disruptive Marktentwicklung mit vollautomatisierten Fahrzeugen und entspricht dem «high-disruption scenario for full autonomy» gemäss McKinsey (2016), vgl. dazu die Abbildung 3-2. In dieser schnellen Variante erreicht der AV-Bestandesanteil an der totalen Personenwagenflotte in der Schweiz per 2040 rund **47%**. Ab dem Jahr **2054** wäre der AV-Bestandesanteil über 99%.

Die **langsame Variante 3** entspricht dem «low-disruption scenario for full autonomy» gemäss McKinsey (2016). In dieser langsamen Variante erreicht der AV-Bestandesanteil an der totale Personenwagenflotte in der Schweiz per 2040 nur gerade **3%**. Bis ins Jahr **2080** würde der AV-Bestandesanteil aber auch in dieser langsamen Variante bei 91% liegen.

Die **mittlere Variante 2** liegt zwischen den Varianten 1 und 3. Die Variante 2 wurde so gewählt, dass der AV-Bestandesanteil im Jahr 2040 in etwa in der Mitte der beiden Varianten 1 und 3 liegt. In der mittleren Variante erreicht der AV-Bestandesanteil an der totale Personenwagenflotte in der Schweiz per 2040 rund **25%**. Ab dem Jahr **2067** wäre der AV-Bestand in der Schweizer Personenwagenflotte über 99%.

*Unsicherheiten / Bandbreiten:* Im nachfolgenden Exkurs zeigen wir auf, dass auch die Entwicklung im Fahrzeugbestand (hier sind wir von einem jährlichen Wachstum bis 2040 von 1% ausgegangen) und die Nutzungsdauer der Fahrzeuge eine bedeutende Rolle für das Phase-in mit AV haben. Beispielsweise würde Carsharing die Neuwagenkäufe reduzieren und damit würde auch der AV-Bestandesanteil weniger stark zunehmen. Diese Rückkoppelungseffekte sind im vorliegenden Tischmodell nicht berücksichtigt.

Abbildung 3-3: Phase-in der AV: Drei Varianten



### Exkurs: Einflussgrößen für die Entwicklung des AV-Bestandes

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass – wie erwartet – der AV-Bestand im Jahre 2040 stark durch die Annahme der AV-Marktdurchdringung im Neuwagenmarkt geprägt wird. Unter der Annahme eines über die ganze Zeitperiode konstanten Fahrzeugbestands und konstanter durchschnittlicher Nutzungsdauer der Fahrzeuge ist bei einem schnellen (disruptiven) Phase-in (Variante 1) für das Jahr 2040 ein AV-Bestand von 42% zu erwarten. Bei der mittleren Variante 2 wäre mit einem AV-Bestand von 23% und bei der langsamen Variante 3 von 2% zu rechnen.

Zu beachten ist aber, dass die Entwicklung des AV-Bestandes auch massgeblich von der Entwicklung des Fahrzeugbestandes und der Nutzungsdauer der Fahrzeuge abhängt. Nimmt der **Fahrzeugbestand** aufgrund der Bevölkerungsentwicklung oder des steigenden Einkommens oder neuer Nutzergruppen zu (d.h. es werden überdurchschnittlich viele Neuwagen gekauft), dann steigt der AV-Bestand schneller bei gegebener Entwicklung der AV-Marktanteile beim Neukauf: Bei einer Zunahme des Fahrzeugbestandes um jährlich 1% würde der AV-Bestand im Jahr 2040 statt 23% rund 25% betragen. Umgekehrtes gilt, wenn der Fahrzeugbestand bspw. aufgrund von Carsharing abnimmt.

Bei einer zunehmenden **Nutzungsdauer** würde der AV-Bestand bei gegebener Entwicklung der AV-Marktanteile beim Neukauf langsamer zunehmen: Würde sich der Trend hin zu längeren Nutzungsdauern fortsetzen und die Nutzungsdauer um jährlich 1% zunehmen, würde der AV-Bestand für das Jahr 2040 in der mittleren Variante statt 23% nur noch 18% betragen.

**Abbildung 3-4: Einflussgrößen für die Entwicklung des AV-Bestandes**

Annahmen zum Fahrzeugbestand und zur Nutzungsdauer der Fahrzeuge					
	Basisannahmen (Tischmodell)	Abweichende Annahmen zum Fahrzeugbestand und zur Nutzungsdauer der Fahrzeuge			
- Fahrzeugbestand	+1%/Jahr <sup>1)</sup>	konstant	-1%/Jahr <sup>2)</sup>	konstant	konstant
- Nutzungsdauer Fzg	konstant	konstant	konstant	+1%/Jahr <sup>3)</sup>	-1%/Jahr <sup>4)</sup>
Phase-in-Varianten:	Auswirkungen der unterschiedlichen Annahmen auf den Anteil AV-Fahrzeuge am Bestand im Jahr 2040				
schnell (Variante 1)	47%	42%	37%	34%	52%
mittel (Variante 2)	25%	23%	20%	18%	28%
langsam (Variante 3)	3%	2%	2%	2%	3%

<sup>1)</sup> Zunahme im Bestand bspw. aufgrund Bevölkerungszunahme

<sup>2)</sup> Abnahme im Bestand bspw. aufgrund Carsharing

<sup>3)</sup> entspricht der Trendzunahme der letzten 25 Jahre

<sup>4)</sup> bspw. vorzeitiger Ersatz



## 4 Überblick über die Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich – Wirkungsmodell

Nach der Definition der drei Szenarien werden die Wirkungsrichtungen und Rückkoppelungen für jedes der drei Szenarien einzeln im Rahmen eines Wirkungsmodells erfasst. Ausgehend von den Hauptausprägungen (erhöhte Effizienz durch automatisiertes Fahren oder «Sharing economy») werden die Wirkungskanäle und die Wirkungsrichtung schrittweise in einem Wirkungsmodell dargestellt. Die nachfolgende Abbildung zeigt den gesamten Rahmen des Wirkungsmodells.

Das Wirkungsmodell wurde aus der Literatur<sup>16</sup> abgeleitet und im Rahmen von zwei Workshops mit Experten (vgl. Anhang A) besprochen.

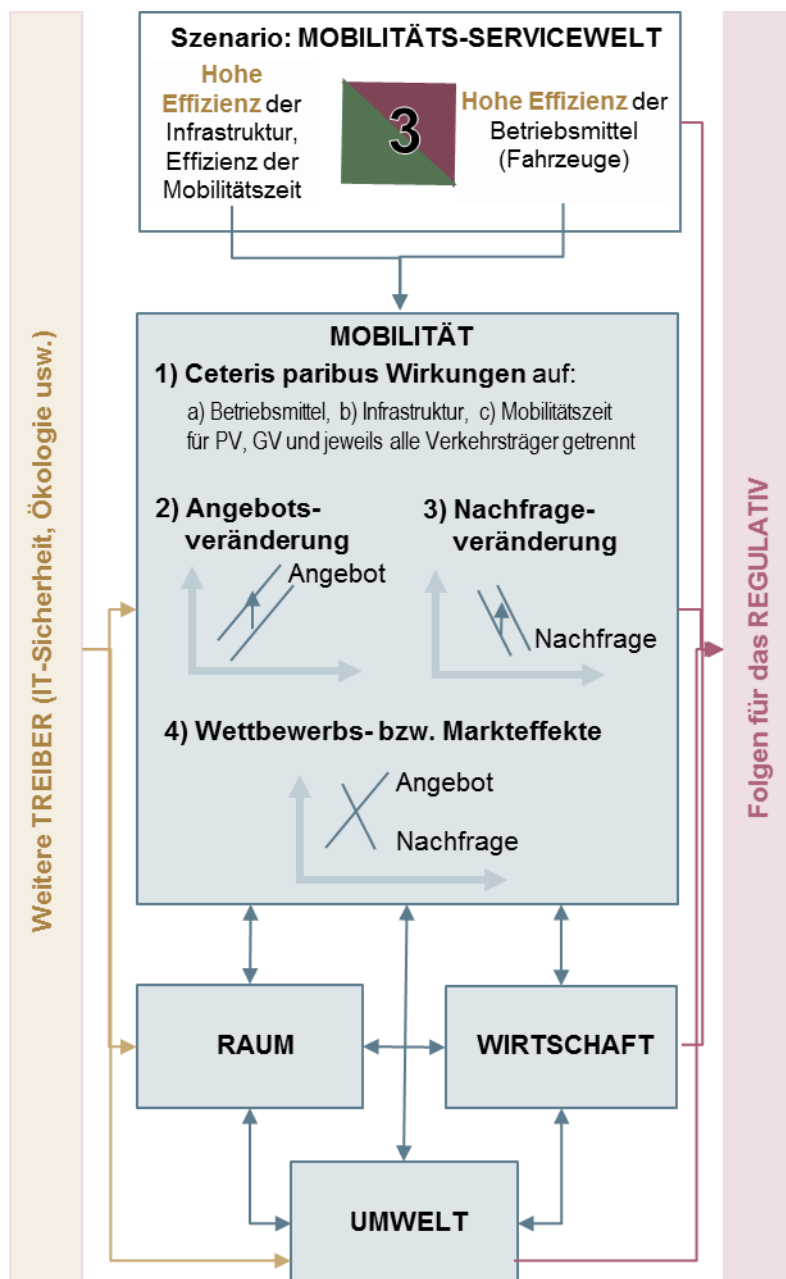
Die einzelnen Themen bzw. Bereiche werden in den Kapiteln 5 und 6 für den Personenverkehr sowie 8 für den Güterverkehr detaillierter erläutert. Nachfolgend beschränken wir uns auf eine stichwortartige Einführung in die einzelnen Themen bzw. Bereiche:

- **Mobilität:** Zuerst werden die **direkten und indirekten Wirkungen** der Digitalisierung im Mobilitätsbereich **auf die Mobilität** selber analysiert. Dabei gehen wir wie folgt vor:
  - Direkte Wirkung: Aufzeigen der direkten Wirkungen der erhöhten Effizienz der Betriebsmittel, der Infrastruktur oder der Mobilitätszeit auf die Verkehrsnachfrage (bspw. Car-sharing -> weniger Fahrzeuge), die Infrastruktur (bspw. automatisiertes Fahren -> höhere Kapazität der Infrastruktur), die Mobilitätszeit (bspw. automatisiertes Fahren -> produktiv verwendbare Reisezeit). Diese mehr oder weniger direkten Wirkungen sind zuerst einmal «**ceteris paribus**» (im Sinne des «Stammverkehrs») - ohne Berücksichtigung von preis- bzw. effizienzinduzierten Nachfrage- und Angebotsänderungen - zu bestimmen.
  - Indirekte Wirkung: In einem nächsten Schritt werden die Folgewirkungen auf **das Mobilitätsangebot (Infrastruktur und Betrieb) und die Mobilitätsnachfrage** als Differenz zum Referenzszenario dargelegt (bspw. höhere Kapazitäten -> weniger Stauzeiten, weniger Ausgaben für die Infrastruktur, oder: höhere Kapazitäten auf dem übergeordneten Strassennetz -> Zielwähländerungen).
  - Indirekte Wirkung: Ebenso sollen die Wirkungen der veränderten Wettbewerbsposition der einzelnen Verkehrsträger dargelegt werden – das betrifft sowohl **Modal-Split-Effekte** als auch mögliche **Neuverkehre** (bspw. autonomes Fahren -> relative Besserstellung des MIV -> Verschiebung des Modal Splits zugunsten des MIV, oder: Führerausweis wird nicht mehr benötigt -> zusätzliche MIV-Nachfrage durch ältere oder ganz junge Personen -> Bildung neuer Mobilitätsketten, oder: produktiv verwendbare Reisezeit -> höhere Nachfrage nach Mobilität).

---

<sup>16</sup> Die zentrale Literatur für die Herleitung der Literatur war: Bundesrat (2016b), CEDR (2017), EBP (2017), Hörl et al. (2016), Kockelman et al. (2017),

Abbildung 4-1: Rahmen für das Wirkungsmodell



- Wirtschaft, Raum und Umwelt:** Nachdem die direkten und indirekten Wirkungen der drei Szenarien auf die Mobilität geklärt sind, können die sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Wirkungen und Rückkoppelungen analysiert werden. Ausgehend von den oben diskutierten direkten und indirekten Kosten und Nutzen veränderter technischer Rahmenbedingungen und des veränderten Mobilitätsverhaltens sind die weiteren Auswirkungen abzuleiten, wobei wir unterscheiden zwischen:
  - Wirkungen auf die Wirtschaft:** Wenn sich autonomes Fahren und/oder Sharing durchsetzen ergeben sich eine Vielzahl von Wirkungsketten und zu beachtenden Rückkopplungseffekten, bspw.:

- > geringere Fahrzeugnachfrage -> Rückgang der Produktion von Fahrzeugen -> Preis für ein einzelnes Fahrzeug steigt -> Nachfrage nach Fahrzeugen sinkt weiter -> geringere Fahrzeugnachfrage -> der Handel mit Motorfahrzeugen bricht ein und Autohändler und -garagen verschwinden vom Markt.
  - > sinkende Nachfrage nach Strasseninfrastruktur (sofern Kapazitätssteigerung durch Automatisierung grösser ist als der durch automatisiertes Fahren ausgelöste Mehrverkehr) -> Nachfragerückgang beim Tiefbau -> Ressourcen werden statt im Tiefbau anderweitig eingesetzt
  - > alte Berufsbilder und Jobs verschwinden (z. B. Fahrzeuglehrer) -> dagegen werden neue Businessmodelle an Attraktivität gewinnen und entsprechend neue Arbeitsplätze kreieren, so neue Mobilitätsdienstleister (MaaS als Beispiel)
  - **Wirkungen auf den Raum:** Auch bezüglich der zukünftigen Raumnutzung sind verschiedene Wirkungsketten zu analysieren, bspw.: Produktivere Mobilitätszeit -> Attraktivität von peripheren Wohnlagen steigt -> Zersiedelungsdruck wächst -> Immobilienpreise in peripheren Lagen steigen (als Korrektiv zur Ausdehnung der Nachfrage in diesen Lagen) -> Digitalisierungsrente erzeugt Renten für Immobilien-/Landbesitzer in peripheren Lagen
  - **Wirkungen auf die Umwelt:** Umweltwirkungen interessieren im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie vor allem bezüglich ihrer volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen, bspw.: -> erhöhte Mobilitätsnachfrage -> grössere Umwelt-/Klimabelastung -> zusätzlich zu beachtende volkswirtschaftliche Kosten.
- Weitere **Treiber / Einflussfaktoren:** In einem nächsten Schritt sind die für die drei Szenarien bisher festgestellten Wirkungszusammenhänge auf allfällige sich verstärkende oder dämpfende Effekte aus dem Einbezug weiterer Treiber oder Einflussfaktoren (Umfeldfaktoren) aufzuzeigen und zu berücksichtigen. Auch dies erfolgt wieder schrittweise:
    - Auslegeordnung der möglichen Treiber / Einflussfaktoren (bspw. neue Arbeitsformen, Urbanisierung, Änderung im Kaufverhalten usw.)
    - Einschränkung auf diejenigen Treiber / Einflussfaktoren, welche einen spürbaren, kausalen und vor allem je nach Szenario unterschiedlichen Effekt auf die bereits festgestellten Wirkungen haben.
  - Folgerungen für das **Regulativ:** Die notwendigen Anpassungen am bestehenden Regulativ im Bereich des automatisierten Fahrens sowie des «Sharings» werden herausgearbeitet. Es werden aber keine, bspw. negativen, Rückkoppelungen aus diesen Hindernissen auf die Ausprägungen der Szenarien und deren Wirkungen mehr eingerechnet.

## 5 Personenverkehr - Auswirkungen auf die Mobilität

### 5.1 Wirkungen Szenario 1 – automatisiertes Fahren

#### 5.1.1 Auswirkungen des automatisierten Fahrens

In den nachfolgenden Ausführungen werden die «isolierten» Auswirkungen des automatisierten Fahrens diskutiert – also die Auswirkungen des Szenarios 1. Es wird also davon ausgegangen, dass automatisierte Fahrzeuge die bestehenden konventionellen Fahrzeuge ersetzen. Car- und Ridesharing sowie eine neue Mobilitäts-Servicewelt setzen sich nicht grossflächig durch. Der persönliche Besitz von Fahrzeugen bleibt der Schlüssel zum Zugang zum motorisierten Individualverkehr.

Abbildung 5-1: Szenario 1 – Wirkung des automatisierten Fahrens



Die Auswirkungen leiten wir schrittweise her: (a) Zuerst werden die Auswirkungen des Ersatzes konventioneller durch automatisierte Fahrzeuge auf den Stammverkehr analysiert (Ceteris-paribus-Wirkungen), (b) darauffolgend werden die Auswirkungen auf die Nachfrage analysiert (Nachfrage-Wirkungen). Das automatisierte Fahren erhöht die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur – dies diskutieren wir unter Punkt (c) Angebots-Wirkungen. In Punkt (d) wird aufgezeigt, welche Verlagerungen sich zwischen den Verkehrsmärkten (v. a. ÖV vs. MIV) ergeben.

#### a) Ceteris-paribus-Wirkungen

Nachfolgend diskutieren wir die Wirkungen des Ersatzes konventioneller durch automatisierte Fahrzeuge auf den Stammverkehr – also ohne Berücksichtigung von Verkehrsmittel- und Zielwahländerungen.

### Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit (erhöhter Reisekomfort im MIV-Stammverkehr)

Das automatisierte Fahren wird zu einer deutlichen Einsparung bei den Zeitkosten bzw. zu einer Reduktion des Zeitkostenansatzes (Value of Travel Time) führen. Darin sind sich die meisten Experten einig (vgl. dazu die nachfolgenden Ausführungen zur Literatur). Quantifizierte und verlässliche Schätzungen zu den Zeitkostensparnissen durch automatisiertes Fahren liegen weder für die Schweiz noch in der internationalen Literatur vor. Die meisten Studien gehen davon aus, dass – teilweise abgeleitet aus dem Vergleich der Zeitkostenansätze verschiedener Verkehrsmittel – die Zeitkostensparnisse durch das automatisierte Fahren rund 30% bis 70% des Zeitkostenansatzes konventioneller Fahrzeuge betragen.

#### Literatur:

- **Zeitkostenansätze für den MIV und den ÖV in der Schweiz**

*Die Zeitkostenansätze bzw. Value of Travel Time betragen in der Schweiz gemäss VSS-Norm für den MIV durchschnittlich 23.3 CHF pro Stunde und für den ÖV 14.4 CHF pro Stunde Fahrzeit.<sup>17</sup> Die Zeitkostenansätze liegen für Pendler- und Nutzfahrten sowie für längere Fahrten über dem Durchschnitt.*

- **Value of Time / Value of Travel Time in der internationalen Literatur**

*Die nachfolgende Zusammenstellung enthält keinen systematischen Überblick über die umfassende Value-of-Travel-Time-Literatur, sondern konzentriert sich auf diejenigen Studien, welche auch Aussagen zu den Zeitkosteneinsparungen durch automatisiertes Fahren enthalten.*

*Eine Studie des Fraunhofer Instituts sowie Horvath und Partner<sup>18</sup> hat den «Value of Time» mit Hilfe einer umfangreichen Nutzerumfrage auf drei Kontinenten (in den drei Ländern: Deutschland, Japan und USA) abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine grundsätzliche Zahlungsbereitschaft für eine gewonnene Stunde freier Zeit besteht.*

*Im Vergleich der drei Länder würden die Deutschen mit durchschnittlich 18 Euro pro Stunde am meisten für eine zusätzliche frei verfügbare Stunde bezahlen.*

*Die University of Texas hat zu diesem Thema ebenfalls eine Umfrage durchgeführt. Dabei wurde den 1'364 Befragten aus dem Bundesstaat Texas folgende Frage gestellt: «How much money you are willing to pay (WTP) to save 15 minutes of travel time during a typical 30-minute one-way journey you make at least once a week (for example, home to work)?». Im Durchschnitt ergab sich ein Wert von US\$ 6.80 was 27.20 US\$ pro Stunde (=rund 26 CHF pro Stunde) entspricht.<sup>19</sup>*

*In Burns et al. (2013) wird der jeweilige Stundenlohn als Value of Time unterstellt.<sup>20</sup> Kockelman et al. (2017) geht davon aus, dass die Hälfte des Medianlohns (also 50% von 16 US\$ pro Stunde = 8 US\$ pro Stunde = rund 7.5 CHF pro Stunde) dem Value of Travel Time entspricht.<sup>21</sup> Thakur et al. (2016) rechnen für Australien mit 40% des Durchschnittslohns und berechnen den Value of Travel Time auf 15.6 AUS\$ pro Stunde (= rund 12 CHF pro Stunde).<sup>22</sup>*

<sup>17</sup> VSS Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2009), Schweizer Norm SN 641 822a, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Zeitkosten im Personenverkehr. Tabelle 3.

<sup>18</sup> Dungs et al. (2016).

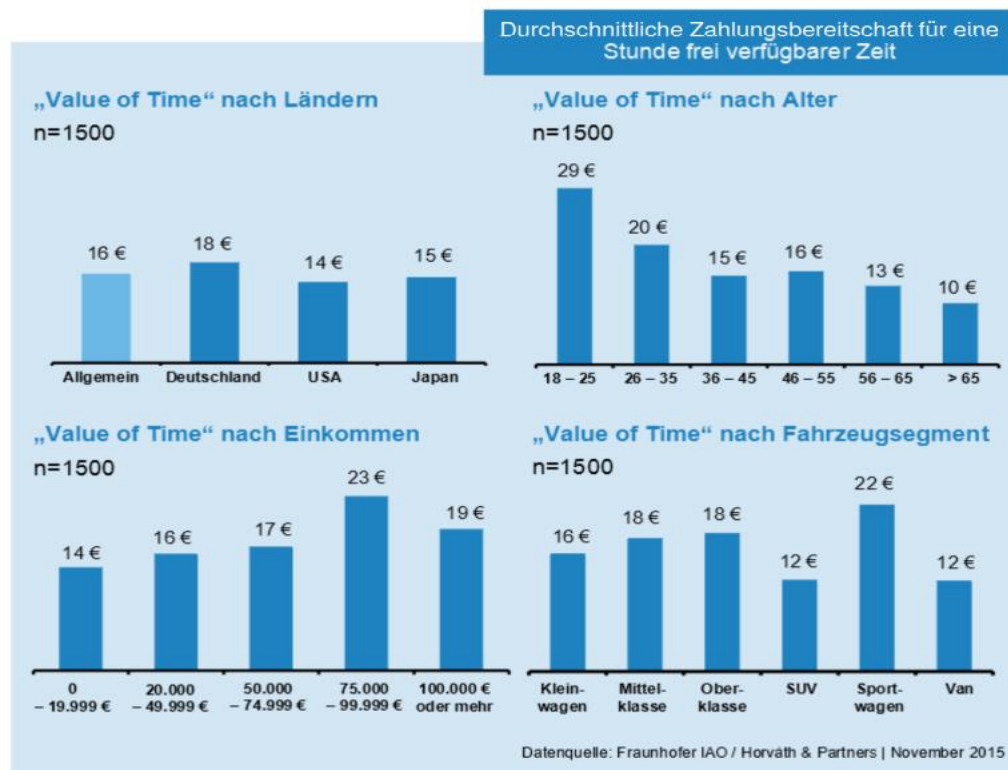
<sup>19</sup> Kockelman et al. (2017), S. 55.

<sup>20</sup> Burns (2013), S. 15.

<sup>21</sup> Kockelman et al. (2017), S. 130.

<sup>22</sup> Thakur et al. (2016), S.3.

**Abbildung 5-2: Erfragter «Value of Time» geordnet nach Ländern, Alter, Einkommen und Fahrzeugsegment**



Quelle: Dungs et al. (2016), S. 16.

#### Effekt des automatisierten Fahrens auf den Value of Travel Time

Da man in selbstfahrenden Autos nicht mehr selber lenken muss, kann die im Auto verbrachte Zeit für andere Zwecke genutzt werden. Die Studie des Fraunhofer Instituts sowie Horvath und Partner<sup>23</sup> zeigt, dass eine Zahlungsbereitschaft für In-Vehicle-Services für Bedürfnisse wie Kommunikation oder Produktivität besteht.

Es gibt in der Literatur verschiedene ad-hoc-Einschätzungen, wie hoch der Effizienzgewinn – ausgedrückt in gewonnener Value of Travel Time – aufgrund des automatisierten Fahrens ist:

- Einige Studien gehen davon aus, dass der Value of Travel Time durch automatisierte Fahrzeuge um 50% gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen gesenkt werden kann.<sup>24</sup> Kockelman et al. (2014) schätzt die durch automatisierte Fahrzeuge gewonnene Zeit im Bundestaat Texas auf einen Wert von rund 4 US\$ pro Stunde (= rund **4 CHF pro Stunde**). Für Australien geht Thakur et al. (2016) von einem Wert für die gewonnene Zeit von 7.8 AUS\$ pro Stunde aus (= rund **6 CHF pro Stunde**).
- In einer Studie des Puget Sound Regional Council (Seattle, Washington, USA) wird der Value of Travel Time in automatisiert fahrenden Autos auf 15.6 US\$ pro Stunde oder 65% des Value of Travel Time von konventionellen Fahrzeugen (=24 US\$ pro Stunde) geschätzt.<sup>25</sup> Die durch die automatisierten Fahrzeuge gewonnene Zeit wird somit auf 8.4 US\$ pro Stunde (= rund **8 CHF pro**

<sup>23</sup> Dungs et al. (2016)

<sup>24</sup> Kim et al. (2015), S.10; Thakur et al. (2016), S. 3., Kockelman (2017), S. 130.

<sup>25</sup> Childress et al. (2014)

**Stunde**) bzw. 35% des Value of Travel Time konventioneller Fahrzeuge geschätzt. Diese Einschätzung leitet Puget Sound Regional Council aus dem Unterschied zwischen dem Value of Travel Time von Nahverkehrszügen und demjenigen von Lokalbussen ab.

- Spieser et al. (2014) bewerten auf Basis der Leitlinien für Kosten-Nutzen-Analysen des Department of Transportation in den USA den Value of Travel Time für eine durchschnittliche Fahrt mit einem konventionellen Fahrzeug auf 67% des Medianlohns oder 16.7 US\$ pro. In einem System automatisiert fahrender und bei Bedarf abrufbarer Autos wird mit einer Value of Travel Time von 20% des Medianlohnes – oder 4.8 US\$ pro Stunde - gerechnet.<sup>26</sup> Die durch die automatisierten Fahrzeuge gewonnene Zeit wird somit auf 11.9 US\$ pro Stunde (= rund **11 CHF pro Stunde**) bzw. 70% des Value of Travel Time konventioneller Fahrzeuge geschätzt.

- **Fazit aus der Literatur:**

Das automatisierte Fahren bringt im MIV Zeitkostensparnisse, indem die Zeit im Fahrzeug produktiver genutzt werden kann.<sup>27</sup> Durch das automatisierte Fahren steigt die Effizienz der Mobilitätszeit. Es fehlen gezielte Erhebungen/Befragungen zur Quantifizierung der Zeitkostensparnisse durch automatisiertes Fahren. Die Befragung von Frauenhofer/Horvath (2016) zeigt allerdings, dass eine Zahlungsbereitschaft für Dienstleistungen zur Nutzung der frei werdenden Zeit im Auto besteht. Die Zahlungsbereitschaft für diese Dienstleistungen liegt deutlich unter den Zeitkostensparnissen, welche in diversen Studien dem automatisierten Fahren beigemessen werden. In den meisten Studien wird davon ausgegangen, dass das automatisierte Fahren Zeitkostensparnisse zwischen 30% bis 70% im Vergleich zu konventionellen Autos bringen kann.

### **Methodik zur Erfassung der erhöhten Effizienz der Mobilitätszeit**

#### **Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Reduktion des Zeitkostenansatzes**

Die Auswirkungen des automatisierten Fahrens können mit einer entsprechenden Reduktion des Zeitkostenansatzes erfasst werden. Zeitkostenansätze werden mit relativ aufwendigen Zahlungsbereitschaftsstudien ermittelt. Eine Zahlungsbereitschaftsstudie, welche den Effekt des automatisierten Fahrens auf den Zeitkostenansatz ermittelt, liegt nicht vor. Die Reduktion des Zeitkostenansatzes ist auf Basis der vorliegenden Literatur abzuschätzen, bspw. als Differenz zwischen dem Zeitkostenansatz im MIV und demjenigen im ÖV: Gemäss aktueller VSS-Norm liegt der durchschnittliche Zeitkostenansatz im MIV bei 23.3 CHF pro Stunde und im ÖV bei 14.4 CHF pro Stunde.<sup>28</sup> Die Zeitkosten bei automatisiertem Fahren würde sich bei Zeitkostensparnissen von 30% bis 70% des MIV-Zeitkostensatzes somit zwischen 7.0 bis

<sup>26</sup> Spieser et al. (2014), S. 13.

<sup>27</sup> Die Zeit kann bspw. für Lesen, Arbeiten, Sozialkontakte, Schlafen usw. genutzt werden. Diese Tätigkeiten werden vermutlich einen abnehmenden Grenznutzen haben und irgendwann kann auch eine Sättigungsgrenze erreicht werden. Diese Thematik wird in der Literatur nicht diskutiert – es wird von konstanten spezifischen Zeitkostensparnissen ausgegangen.

<sup>28</sup> Die Teuerung wird vernachlässigt. Die referenzierten Preise beziehen sich auf das Jahr 2007 und werden als Faktorpreise angegeben (Marktpreise abzüglich der indirekten Steuerbelastung). Vgl. VSS Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2009), Schweizer Norm SN 641 822a, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Zeitkosten im Personenverkehr. Tabelle 3.

16.3 CHF pro Stunde bewegen. Entspricht die Zeitkostensparnis des automatisierten Fahrens der Differenz zwischen dem Zeitkostenansatz im MIV und demjenigen im ÖV erhalten wir eine Zeitkostensparnis von 8.9 CHF pro Stunde.

#### **Berechnung der Ersparnisse an Zeitkosten aufgrund des automatisierten Fahrens**

Die Ersparnisse an Zeitkosten werden als Multiplikation aus der zurückgelegten durchschnittlichen Wegezeit mit automatisierten Fahrzeugen und der Zeitkostensparnis für automatisiertes Fahren berechnet. Die durchschnittliche Wegezeit mit automatisierten Fahrzeugen lässt sich aufgrund der Durchschnittsgeschwindigkeit (aus dem Mikrozensus), der zurückgelegten Wegstrecke (aus den Verkehrsperspektiven 2040) und dem Anteil der AV-Fahrzeuge berechnen.

#### **Tischmodell**

Annahme: Wert des durch automatisiertem Fahren gewonnenen Reisekomforts entspricht der Differenz zwischen dem VSS-Norm-Zeitkostenansatz für MIV und ÖV und beträgt durchschnittlich 8.9 CHF pro Stunde.

Unsicherheit / Bandbreiten: Wie hoch die Nutzer von AV die für neue Bedürfnisse nutzbare Zeit während der Fahrt bewerten, ist noch sehr unsicher. Wir müssen daher von relativ grossen Bandbreiten ausgehen. Wir gehen von 30% bis 70% des Zeitkostenansatzes konventioneller Fahrzeuge aus, was 7 bis 16 CHF pro Stunde entspricht.

#### **Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür im MIV-Stammverkehr**

Die Zu-Fuss-Zeit kann reduziert werden, da das Fahrzeug direkt den Bestimmungsort anfahren kann.<sup>29</sup> Wie stark sich die Zu-Fuss-Distanzen und -Zeiten durch das direkte Anfahren der Ziele mit den AV verkürzen lassen, wird in der gesichteten Literatur nicht explizit ausgewiesen.

#### **Methodik zur Erfassung der Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür**

Mit Hilfe einer Auswertung des Mikrozensus kann grob abgeschätzt werden, welche Wege bzw. Etappen ein Potenzial für Zeitkostensparnisse Tür-zu-Tür haben. Wie stark dieses Potenzial auch tatsächlich ausgeschöpft werden kann, ist mit plausiblen Annahmen abzuschätzen.

---

<sup>29</sup> Die Leerfahrten zum Parkieren werden weiter unten berücksichtigt.



**Tischmodell**

*Annahme: Wir gehen davon aus, dass sich die Wegzeiten zum oder vom Parkplatz mit Hilfe der selbstparkenden automatisierten Fahrzeuge um 1.5 Minuten (also 3 Minuten pro Auto-Etappe) kürzen lassen. Die gesamte Zu-Fuss-Zeit wird dadurch um 18% kürzer.<sup>30</sup>*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Verlässliche Einschätzungen für die Schweiz liegen nicht vor. Wir gehen von einer Bandbreite von 0 bis 3 Minuten für die Einsparungen bei den Fusswegzeiten zum oder vom Parkplatz aus.*

**Zusätzliche Leerfahrten für die Parkierung**

Der Zeitkostensparnis durch die direktere Zielfahrt führen zu zusätzlichen Leerfahrten für die Parkierung. Das Ausmass dieser zusätzlichen Leerfahrten wird in der Literatur nicht einzeln ausgewiesen. Gemäss Childress et al. (2014), welcher die zusätzliche Selbstpark-Fahrten und weitere Effekte automatisierter Fahrzeuge berücksichtigt, nimmt die Triplänge mit automatisierten Fahrzeugen um 14% zu. Der isolierte Effekt für die Parkierung müsste somit unter diesem Wert liegen.

**Methodik zur Erfassung der Leerfahrten für die Parkierung**

*Auch hier können die potenziellen Leerfahrten für die Parkierung anhand des Mikrozensus grob abgeschätzt werden. Wie stark dieses Potenzial auch tatsächlich ausgeschöpft werden kann, ist mit plausiblen Annahmen abzuschätzen.*

**Tischmodell**

*Annahme: Die Leerfahrten für die Parkierung erhöhen die Fahrzeugkilometer bei automatisierten Fahrzeugen um 10%. Die zusätzlichen Kosten entsprechen den variablen Fahrzeugkosten.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Auch hier sind die Unsicherheiten gross. Als Bandbreiten unterstellen wir 5% bis 20% zusätzliche Fahrzeugkilometer aufgrund von Leerfahrten.*

**Einsparungen oder Zusatzkosten beim Kauf und Betrieb des automatisierten Fahrzeugs**

Für automatisierte Fahrzeuge ist mit Zusatzkosten für Sensoren und Software zu rechnen. AV werden somit teurer sein in der Beschaffung als typähnliche konventionelle Fahrzeuge. Auch wird per Saldo mit leicht höheren Unterhaltskosten gerechnet. Dagegen werden bei AV Ein-

---

<sup>30</sup> Die gesamte Zu-Fuss-Tagesunterwegszeit beträgt gemäss Mikrozensus Verkehr 29.8 Minuten. Einsparungen von jeweils 1.5 Minuten zu oder vom Parkplatz und durchschnittlich 1.74 Etappen, welche mit dem Auto täglich zurückgelegt werden, ergibt insgesamt eine Kürzung der Zu-Fuss-Tagesunterwegszeit von 4.8 Minuten pro Person und Tag, was 18% der gesamten Zu-Fuss-Tagesunterwegszeit entspricht.

sparungen beim Treibstoffverbrauch, für Parkgebühren und bei den Versicherungsprämien erwartet (vgl. dazu auch den folgenden Exkurs zu den «Kosten der automatisierten Fahrzeuge im Vergleich»).

In Bezug auf die Kosten beim Kauf und Betrieb wird aber wohl die grundsätzliche Veränderung des Fahrzeugcharakters eine deutlich grössere Rolle spielen. So wird der Innenraum anders gestaltet und es werden kleinere Fahrzeuge angeboten.

Das vollautomatisierte Fahren wird vermutlich – ähnlich den Assistenzsystemen – zuerst in den teureren Oberklasse-Fahrzeugen umgesetzt. Im Rahmen der Einführung des vollautomatisierten Fahrens wird somit seitens der Fahrzeughersteller die höhere Zahlungsbereitschaft von Kunden mit höherem Einkommen zumindest teilweise abgeschöpft.

### **Methodik zur Erfassung der Zusatzkosten beim Kauf und Betrieb automatisierter Fahrzeuge**

*Die höheren Kosten beim Kauf und Betrieb sind aus der Literatur abzuschätzen.*

### **Tischmodell**

*Annahme: Wir gehen von insgesamt 5% höheren Kauf- und Betriebskosten für automatisierte Fahrzeuge aus.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Die Unsicherheiten in Bezug auf die Kosten der künftigen AV-Fahrzeuge sind gross, insbesondere was die Art und Weise des Fahrzeugcharakters betrifft. Wir verzichten im Rahmen des Tischmodells auf die Simulation diesbezüglicher Unsicherheiten bzw. Bandbreiten.*

## **b) Nachfrage-Wirkungen**

Vollautomatisierte Fahrzeuge haben vor allem aufgrund folgender beider Punkte eine direkte Wirkung auf die MIV-Nachfrage:

- Neuer Zugang zum MIV: AV vereinfachen für einzelne Nutzergruppen den Zugang zum MIV. Dies gilt insbesondere für ältere Personen, die nicht mehr selber fahren können bzw. dürfen, aber auch für Kinder, Jugendliche und Behinderte, da kein Fahrausweis mehr benötigt wird.
- Zielwahländerungen: Vollautomatisierte Fahrzeuge führen voraussichtlich zu Einsparungen bei den generalisierten Kosten (Kosten des Fahrens inkl. Zeitkosten). Individualisierte Mobilität wird somit günstiger, was zu einer höheren Nachfrage führt (siehe Exkurs Seite 44).

Nachfolgend werden diese beiden Punkte einzeln diskutiert. Die Effekte der durch AV ausgelösten Verkehrsmittelwahländerungen werden unter dem folgenden Punkt «d) Markt und Wettbewerb» besprochen.

## Neuer Zugang zum MIV (ältere Personen)

Das automatisierte Fahren ermöglicht individualisierte, motorisierte Mobilität für neue Nutzergruppen: Dies sind einerseits ältere Personen, die nicht mehr selber ein Fahrzeug führen können oder dürfen, und andererseits jüngere Personen oder Personen, die (noch) keinen Führerschein haben. Die älteren Personen dürften den massgeblichen Teil dieser neuen Nutzergruppen ausmachen. Dies gilt insbesondere für die Zukunft, da sich bspw. die Anzahl der 80-Jährigen und älteren Personen bis zum Jahr 2040 mehr als verdoppelt auf über 900'000 Personen.

### **Methodik zur Erfassung des Nutzens aus dem Zugang zum MIV neuer Nutzergruppen**

*Der Mikrozensus gibt Anhaltspunkte zum sich mit dem Alter verändernden Verkehrsverhalten. Die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die ältere Bevölkerung muss mittels plausiblen Annahmen daraus abgeleitet werden (vgl. als Beispiel die nachfolgenden Ausführungen zum Tischmodell).*

### **Tischmodell**

*Annahme: Bei der Berechnung des Nutzens von AV für neue Nutzergruppen beschränken wir uns auf die älteren Personen (65-Jährige und Ältere), welche heute keinen direkten Zugang mehr zu individueller, motorisierter Mobilität haben.*

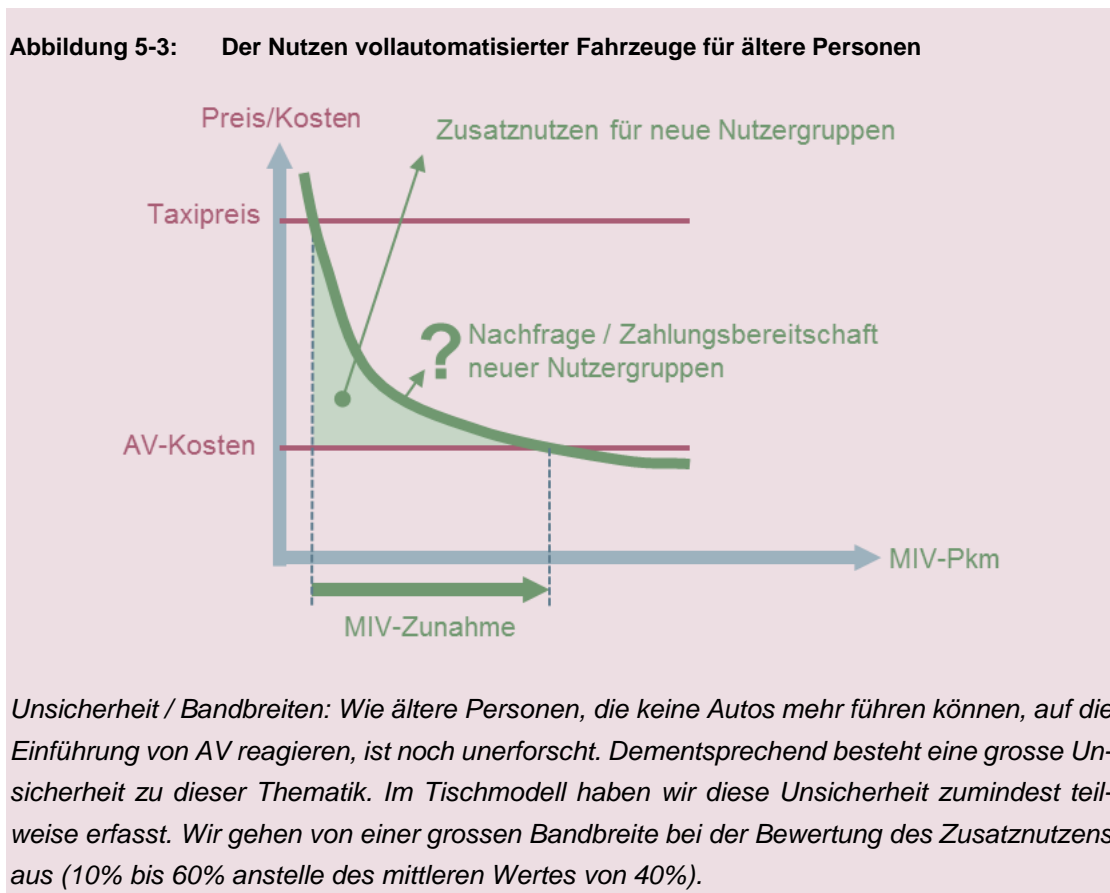
*Wir gehen davon aus, dass sich die tieferen Tagesunterwegszeiten dieser älteren Personen in etwa derjenigen Tagesunterwegszeit der unter 65-Jährigen angleicht<sup>31</sup>. Vereinfachend wird angenommen, dass die älteren Personen einen genügend guten Gesundheitszustand und die finanziellen Ressourcen dazu haben.<sup>32</sup> Es wird angenommen, dass diese zusätzliche Tagesunterwegszeit im AV absolviert wird.<sup>33</sup> Weiter wird unterstellt, dass das AV-Phase-in bei diesen älteren Personen schneller stattfindet als bei der übrigen Bevölkerung: Der AV-Bestand beträgt im Jahr 2040 in der mittleren Phase-in-Variante für diese ältere Bevölkerung 50% und ist damit doppelt so hoch wie der durchschnittliche AV-Bestand von 25%.*

*Die Zahlungsbereitschaft der älteren Personen für den Zugang zur individualisierten, motorisierten Mobilität ist nicht bekannt (vgl. die nachfolgende Grafik). Als oberste Grenze kann der heutige Taxipreis dienen. Wir gehen davon aus, dass der durchschnittliche Zusatznutzen der automatisierten Fahrzeuge für diese neuen Nutzergruppen (grüne Fläche in der nachfolgenden Grafik) 40% der Differenz aus Taxipreis und AV-Kosten beträgt.*

<sup>31</sup> Die Tagesunterwegszeit der über 65-Jährigen nimmt um 25% oder 16.7 Minuten pro Tag und Person zu und liegt nur mehr knapp 5% unter der Tagesunterwegszeit der unter 65-Jährigen.

<sup>32</sup> Bei einer detaillierteren Betrachtung könnte zusätzlich unterstellt werden, dass ältere Personen weniger mobil sein wollen oder – aus gesundheitlichen Gründen – sein können. Der einfachere und verbesserte Zugang zur individuellen, motorisierten Mobilität für ältere Personen wird auch dazu führen, dass ein grosser Teil der heute noch begleiteten Wege wegfallen wird. Auch dies wäre bei einer detaillierteren Betrachtung zu thematisieren.

<sup>33</sup> Weitere Annahmen, wie der Besetzungsgrad (Annahme von 1.4) und die Durchschnittsgeschwindigkeit (41.5 km/h) sind dem Tischmodell zu entnehmen.



### Zielwahländerungen

Wie der nachfolgende Exkurs beispielhaft aufzeigt, führen vollautomatisierte Fahrzeuge zu massgeblichen Einsparungen bei den generalisierten Kosten – also den Fahrzeug- inkl. Zeitkosten – in der Grössenordnung von 25% bei privaten Autos und 40% bei gepoolten Fahrzeugen. Diese Art von Mobilität wird somit deutlich günstiger, was zu einer steigenden Nachfrage führt.

Im öffentlichen Verkehr ergeben sich ebenfalls grössere Einsparungen bei den generalisierten Kosten im öffentlichen Strassenverkehr. Beim Schienenverkehr dürften die Einsparungen bei den generalisierten Kosten deutlich tiefer ausfallen.

#### **Methodik zur Erfassung der Zielwahländerung**

Zielwahländerungen sind aus dem Mikrozensus (mindestens differenziert nach Raumtypen und Fahrzweck) und mit Hilfe von Expertenschätzungen sowie vorhandenen Literatur (bspw. adaptierte Resultate aus Verkehrsmodellen oder Elastizitäten) vorzunehmen.

#### **Tischmodell**

Annahme: Wir gehen davon aus, dass die tieferen Kosten des automatisierten Fahrens vor allem zu MIV-Nachfrageerhöhungen im Einkaufs- und Freizeitverkehr führen: +10% höhere

*Nachfrage beim Einkaufsverkehr und +15% beim Freizeitverkehr.<sup>34</sup> Die Effekte im öffentlichen Verkehr vernachlässigen wir in diesem Tischmodell aus vereinfachenden Gründen.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Abschätzungen zu den Zielwähländerungen des automatisierten Fahrens liegen für verschiedenen Regionen und Städte im Ausland vor. Diese erlauben aber keine Rückschlüsse auf die Situation in der Schweiz. Daher ist im Moment die **Unsicherheit** bzgl. der möglichen Zielwähländerungen aufgrund des automatisierten Fahrens **sehr gross**. Wir haben für unsere Berechnungen eine Bandbreite von +0% bis +30% beim Freizeitverkehr und +0% bis +20% beim Einkaufsverkehr unterstellt.*

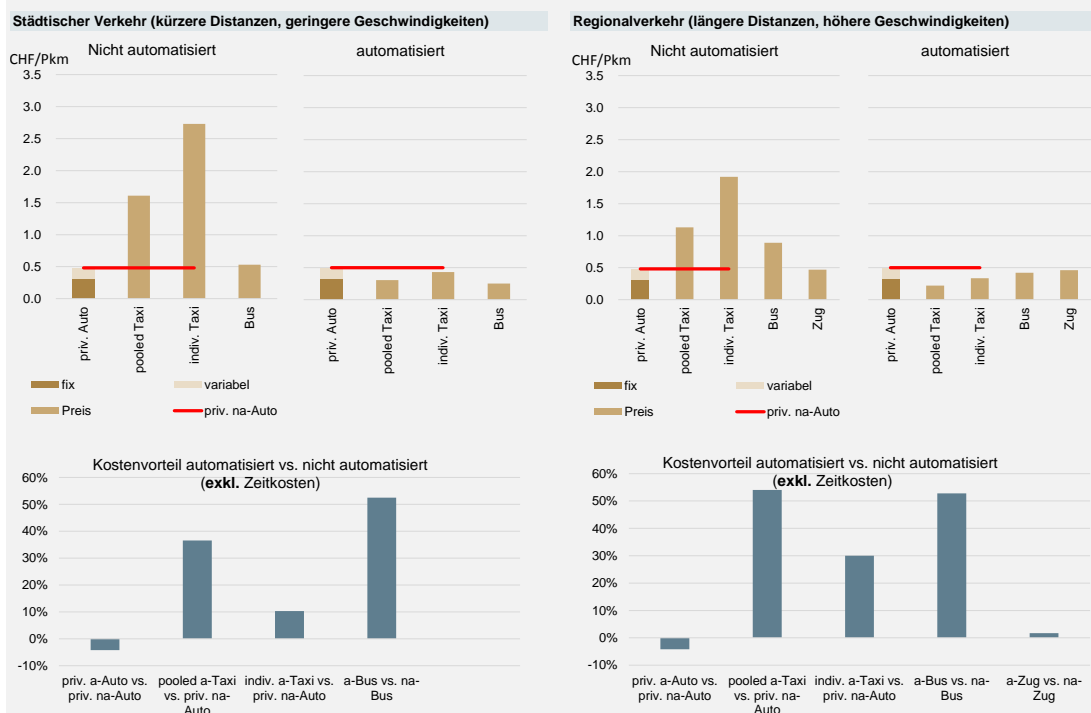
---

<sup>34</sup> Diese sehr grobe erste Einschätzung wurde im Rahmen eines Expertenworkshops gemacht. Im Tischmodell wurden die Auswertungen aus dem MZMV 2015, auf welchen die Annahmen der Experten ansetzen, nicht auf die Zusammensetzung der Wege der Verkehrsperspektiven 2040 abgeglichen bzw. «kalibriert». Dieser Abgleich ist im ökonomischen Impact Assessment vorzunehmen.

### Exkurs: Kosten der automatisierten Fahrzeuge im Vergleich (an einem Beispiel aus der Literatur)

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft mit Hilfe der Berechnungen von Bösch et al. (2017) einen Vergleich der Kosten von nicht automatisierten mit automatisierten Fahrzeugen.<sup>35</sup> In dieser Betrachtung sind vorerst die Zeitkosten ausgespart, welche bei Bösch et al. (2017) nicht miteinbezogen wurden. Gemäss Bösch et al. (2017) liegen bei automatisierten Autos die Kosten in CHF/Pkm um 4% höher als bei einem typähnlichen konventionellen Auto. Da mit der Automatisierung für Taxidienste keine Chauffeure mehr gebraucht werden, sinken die Kosten bzw. Preise für gepoolte (relevant für das Szenario 3) und individuelle Taxisdienstleistungen dramatisch und werden konkurrenzfähig im Vergleich zum Privatauto. Bösch et al. (2017) gehen davon aus, dass im Eisenbahnverkehr durch die Automatisierung keine grossen Einsparungen zu erzielen sind (die weiter reduzierten Zugfolgezeiten erhöhen zwar die Kapazität im Schienenverkehr, haben aber keinen Einfluss auf die hier relevanten Betriebskosten eines Zugs). Beim öffentlichen Strassenverkehr (Bus) wird aber aufgrund der Automatisierung mit Einsparungen in der Grössenordnung von 50% gerechnet.

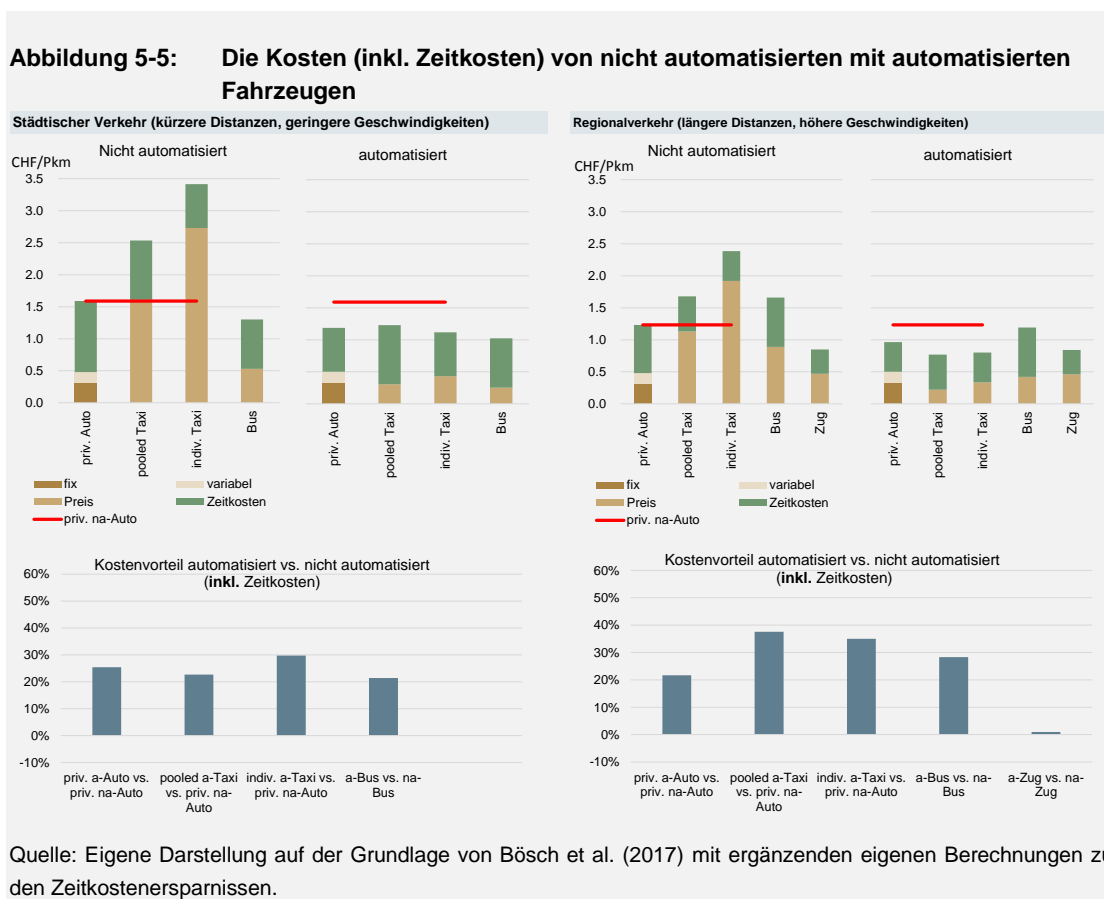
**Abbildung 5-4: Die Kosten (exkl. Zeitkosten) von nicht automatisierten mit automatisierten Fahrzeugen** (Anmerkung: die gepoolten Taxis werden im Szenario 1 noch nicht berücksichtigt und sind hier zu Vergleichszwecken aufgeführt)



Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von Bösch et al. (2017).

Die nachfolgende Abbildung ergänzt die obige Abbildung, indem die Zeitkosten mitberücksichtigt werden und so generalisierte Kosten von nicht automatisierten mit automatisierten Fahrzeugen miteinander vergleichbar werden. Die Abbildung zeigt, dass bei diesem beispielhaften – auf Bösch et al. (2017) basierenden – Vergleich die vollautomatisierten Fahrzeuge zu Einsparungen bei den generalisierten Kosten in der Grössenordnung von 25% (individuelles Privatauto) bis 40% (gepoolte Fahrzeuge) führen. Dieser beispielhafte Vergleich gilt aber nur unter bestimmten durchschnittlichen Bedingungen was die Etappenlänge, die Geschwindigkeit usw. anbelangt und auch die verbesserte, schnellere Tür-zu-Tür-Anbindung ist hier nicht einberechnet.

<sup>35</sup> Weitere Literatur zu den Kosten automatisierter Fahrzeuge finden sich in der Literaturliste von Boesch (2017) et al.



### c) Angebots-Wirkungen

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich im hier diskutierten Szenario 1 auf folgende beiden Punkte:<sup>36</sup>

- Angebotswirkung im ÖV: ÖV-Angebot und ÖV-Kapazitäten
- Angebotswirkung im MIV: Strassenkapazitäten

#### Angebotswirkung im ÖV: ÖV-Angebot und ÖV-Kapazitäten

Die Automatisierung kann im ÖV sowohl auf der Schiene als auch auf der Strasse folgende Auswirkungen haben:

- Mit der Automatisierung können im ÖV Chauffeur- oder Lokführerkosten eingespart werden. Auch beim Unterhalt wird davon ausgegangen, dass vor allem bei der schienengebundenen Infrastruktur Einsparungen erzielt werden können (bspw. Früherkennung, besseres Monitoring durch Einsatz neuer Technologien (Sensoren) erlauben Effizienzgewinne):
- Die Digitalisierung führt auf der Schiene (vgl. nachfolgende Kasten zur Literatur) und der Strasse (vgl. nächster Abschnitt) dazu, dass bei gleicher Infrastruktur mehr Verkehr bewältigt werden kann – die Kapazität der bestehenden Infrastruktur nimmt zu. Das ÖV-Angebot

<sup>36</sup> Weitere Angebotseffekte, wie der Aufbau von Mobilitätsplattformen oder die Aufhebung der Grenzen zwischen privatem und öffentlichen Verkehr, werden unter dem Szenario 3 berücksichtigt.

kann somit kostengünstiger – allenfalls ohne teure zusätzliche Infrastrukturmassnahmen – ausgebaut werden.

- Mit kleinteiligeren und/oder enger getakteten und/oder bedarfsgesteuerten Angeboten (bspw. Rufbusse) wird der öffentliche Verkehr attraktiver: Steigende Taktfrequenzen, kürzere Zu- und Abgangswege sind die Folge.

*Literatur:*

- **Effekte der Digitalisierung auf die Kapazitäten im Schienenverkehr**

*Mit der zunehmenden Automatisierung bzw. Digitalisierung können die Zugfolgeabstände reduziert werden. Bspw. ermöglicht das Zugssicherungssystem European Train Control System ETCS Level 2 eine höhere Streckenleistungsfähigkeit und Sicherheit als konventionelle Anlagen mit optischer Signalisierung.<sup>37</sup> Eine weitere Verkürzung der Zugfolgezeiten ist mit dem ETCS Level 3 möglich, bei welchem eine kontinuierliche Fahrwegfreigabe erreicht wird («Moving Block»). Die Abstände zwischen den Zügen verkürzen sich so nahe an den absoluten Bremswegabstand. Der ETCS Level 3 befindet sich in Entwicklung.<sup>38</sup>*

*Mit einem ETCS Level 4 oder «Train Convoy» und «Virtual Coupling» können die Zugfolgezeiten noch weiter reduziert werden. Die Züge kommunizieren untereinander. Wenn der erste Zug bremst, wird das Bremssignal an den nachfolgenden Zug weitergegeben, der zeitgleich die Bremsung einleitet. Der Abstand zwischen den Zügen kann somit unter dem absoluten Bremswegabstand liegen. Allerdings ist fraglich, inwieweit die immer kürzeren Zugfolgeabstände die Kapazität auch tatsächlich erhöhen. Sofern bspw. die Engpässe beim Ein- und Aussteigen liegen, bringt eine noch weiter reduzierte Zugfolgeabstand keine Kapazitätsgewinne mehr.<sup>39</sup>*

#### **Methodik zur Erfassung der ÖV-Angebote und ÖV-Kapazitäten**

*Die Einsparungen bei den Chauffeur- und Lokführerkosten können aus bestehenden Kosten-Nutzen-Analysen und mit Hilfe von Direktbefragungen bei den TUs (zum Anteil der Chauffeur- bzw. Lokführerkosten) grob eingeschätzt werden. Die Einsparungen bei den Unterhaltskosten sind mittels Experteninterviews einzuschätzen.*

*Der Nutzen der Kapazitätserhöhung im Schienenverkehr kann zumindest ganz grob auf Basis der heutigen Durchschnittskosten oder – noch besser – auf Basis der Grenzkosten (also der Kosten für die Bereitstellung eines zusätzlichen Infrastrukturangebots) abgeschätzt werden. Der Nutzen wird nur für diejenige Kapazitätssteigerung monetarisiert, der auch eine entsprechende Nachfrage gegenübersteht.*

*Anmerkung: Für die Berechnung der Nutzen kleinteiliger Angebote wäre ein Mengen- und Kostengerüst zu erstellen, welches auf einer Verkehrsmodellsimulation basieren müsste.*

<sup>37</sup> Bundesamt für Verkehr BAV (2016), European Train Control System ETCS, Standbericht 2016.

<sup>38</sup> <https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/verantwortung/die-sbb-und-ihre-kunden/die-sbb-und-die-sicherheit/zug-sicherung-etcs/level-3.html> (aufgerufen am 18.4.2018).

<sup>39</sup> Vgl. IRSE (2016), ERTMS Level 4, Train Convoys or Virtual Coupling.



**Tischmodell**

*Annahme: Auf Basis der Verkehrsmittel- und Infrastrukturkosten im öffentlichen Verkehr<sup>40</sup> wurden ganz grob folgende automatisierungsbedingte Einsparpotenzial angenommen:*

- 30% von 2.8 Mrd. CHF Verkehrsmittelkosten des öffentlichen Strassenverkehrs (Chauffeurkosten)
- 5% von 4.0 Mrd. CHF Verkehrsmittelkosten des Schienenverkehrs (Lokführerkosten)
- 0% von 0.5 Mrd. CHF Infrastrukturkosten des öffentlichen Strassenverkehrs
- 5% von 4.1 Mrd. CHF Infrastrukturkosten des Schienenverkehrs (Unterhalt)

*Insgesamt ergeben sich Einsparungen von 11%*

*Die Auswirkungen der erhöhten Schienenkapazitäten und der kleinteiligeren Angebote werden im Tischmodell nicht explizit erfasst. Dass nicht nur der private Strassenverkehr, sondern auch der öffentliche Verkehr attraktiver wird, wird implizit bei den Einschätzungen zur Verkehrsmittelwahländerung mitberücksichtigt (vgl. Punkt d) Wettbewerbs- und Markteffekte).*

**Angebotswirkung im MIV: Strassenkapazitäten und Geschwindigkeiten (Reisezeiten)**

Die Strasseninfrastruktur kann mit vollautomatisierten Fahrzeugen deutlich effizienter ausgenutzt werden: Die Reaktionszeiten und damit die Fahrzeugabstände sind bei vollautomatisierten Fahrzeugen tiefer und die Geschwindigkeit kann harmonisiert werden. Ein Konsens herrscht in der Einschätzung der Kapazitätseffekte auf Autobahnen, wenn alle Fahrzeuge vollautomatisiert sind – also *kein Mischverkehr* zwischen automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen herrscht. In diesem Falle wird davon ausgegangen, dass die Automatisierung die Kapazitäten deutlich erhöht. Zu beachten ist, dass mit automatisiertem Fahren nicht nur die Strassenkapazität erhöht wird, sondern auch zusätzlicher Verkehr generiert wird. Welcher dieser beiden Effekte überwiegt, ist noch nicht klar. Die Forschung wird in den nächsten Jahren – auch für den Schweizer Kontext – weitere Erkenntnisse bringen.

Aber auch für den *Mischverkehr* wird davon ausgegangen, dass auf Autobahnen Kapazitätserhöhungen erzielt werden können. Wie hoch diese sind und ab welchem Mindestanteil von AV-Fahrzeugen eine positive Wirkung auf die Strassenkapazität zu erwarten ist, ist Gegenstand der laufenden Projekte und Diskussionen in der Wissenschaft.

Auch im städtischen Verkehr wird damit gerechnet, dass sich durch den Einsatz von vollautomatisierten Fahrzeugen die Kapazität der bestehenden Strasseninfrastruktur deutlich steigern lässt. Welche Kapazitätsgewinne in einem städtischen Strassennetz im Mischverkehr zu erzielen sind, ist ebenfalls Gegenstand der laufenden Forschungsarbeiten.

---

<sup>40</sup> Bundesamt für Statistik (2017), Kosten und Finanzierung des Verkehrs 2014.

*Literatur:*

Einleitend ist anzumerken, dass sich die nachfolgend ausgeführten Erkenntnisse aus der Literatur auf Experteneinschätzungen oder auf theoretische Berechnungen oder Modellsimulationen abstützen. Empirische Praxiserfahrung liegt noch kein vor.

- **Effekte der Digitalisierung auf die Kapazitäten und Geschwindigkeiten (Reisezeiten) im Strassenverkehr**

Durch das automatisierte Fahren kann die bestehende Infrastruktur besser ausgelastet werden.<sup>41</sup> Diese Kapazitätssteigerungen können durch kürzere Reaktionszeiten und damit geringere Abstände zwischen den Fahrzeugen, durch harmonisierte Geschwindigkeiten, durch optimierte Routenwahl und eine gezieltere Steuerung der Verkehrsflüsse erzielt werden, bspw. durch eine optimierte Steuerung der Ampeln oder der Einführung eines Reservationssystems (Tile-based reservation intersection control).<sup>42</sup> Diese Optimierungen erhöhen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten und reduzieren damit die Reisezeiten. Aus der Literatur lassen sich erste Rückschlüsse über die Wirkungsrichtung machen. Klare Rückschlüsse über das Ausmass der Wirkungen sind aber noch nicht möglich. Nachfolgend wird die kurze Literaturdiskussion entlang folgender Gliederung vorgenommen:

- Strassenkapazitätseffekte automatisiertes Fahren
- Knoteneffekte (Kapazitäten und Verlustzeiten) automatisiertes Fahren
- Netzeffekte (Verlustzeiten, Reisezeiten, Kapazitäten) automatisiertes Fahren

- **Strassenkapazitätseffekte automatisiertes Fahren**

Eine Studie der Universität Stuttgart (Klaussner/Irtenkauf (2013)) ging der Frage nach, wie gross die Kapazitätsgewinne auf Autobahnen durch Platooning konkret sein könnten. Beim Platooning organisieren sich Fahrzeuge selbständig in Fahrzeugkolonnen (CACC)<sup>43</sup>, was eine deutliche Reduktion der Sicherheitsabstände erlaubt. Dafür wurde eine theoretische Kapazitätsanalyse vorgenommen. Bei einer zweispurigen Autobahn mit einer unterstellten Geschwindigkeit von 80 km/h (ohne Aus- und Einfahrten) ergibt sich eine Kapazitätserhöhung um **113%**, wenn alle Fahrzeuge (PW und Lastwagen) in Fahrzeugkolonnen fahren.<sup>44</sup>

Shladover et al. (2012) berechnen bei einer 100%igen Durchdringung mit automatisiertem Fahren (CACC) für eine einspurige, richtungsgetrennte Fahrbahn (ohne Aus- und Einfahrten) mit Richtgeschwindigkeiten von 105 km/h eine Kapazitätserhöhung von **+97%**.<sup>45</sup> Bei einer 50%igen Durchdringung mit automatisiertem Fahren liegt gemäss Shladover et al. (2012) die Kapazitätserhöhung unter 20%. Die Kapazitätsgewinne nehmen somit exponentiell zu.

In einer Studie der Columbia University (Tientrakool et al. (2011)) wird der Kapazitätsgewinn auf Autobahnen durch vollautomatisierte fahrende und miteinander kommunizierenden Autos sogar auf bis

<sup>41</sup> Für einen Überblick vgl. Prognos (2016), S. 26 ff, und Kockelman et al. (2017), S. 53 f und S. 87 ff.

<sup>42</sup> Vgl. bspw. Kockelman et al. (2017).

<sup>43</sup> Cooperative Adaptive Cruise Control.

<sup>44</sup> Klaussner, Irtenkauf (2013), S. 172.

<sup>45</sup> Siehe Shladover et al. (2012), S. 9 f (simulierte Spurkapazität für manuelles Fahren = 2012 Fahrzeuge pro Stunde und Spur, für automatisiertes Fahren = 3970 Fahrzeuge pro Stunde und Spur).

zu **+273%** geschätzt. Grundlage dafür sind Berechnungen aufgrund der verringerten Sicherheitsabstände. Tientrakool et al. (2011) berechnen bereits für teilautomatisiertes Fahren (ohne Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation) eine Kapazitätserhöhung auf Autobahnen von **+43%**.<sup>46</sup>

Friedrich (2015) findet Kapazitätsgewinne auf Autobahnen in ähnlichen Größenordnungen von **+80%** bei 100% automatisierten Fahrzeugen und reinem PW-Verkehr (vgl. Abbildung 5-6). Für Lastwagen berechnet Friedrich (2015) einen Kapazitätsgewinn von **+40%**.

Kockelman et al. (2017) schliesst aus der Literatur, dass die Strassenkapazität aufgrund des automatisierten Fahrens zwischen 1% bis 80% zunimmt, wenn die Durchdringungsrate von 10% auf 90% steigt.<sup>47</sup>

**Abbildung 5-6: Kapazität eines Fahrstreifens in Abhängigkeit des Anteils autonomer Fahrzeuge bei reinem PW-Verkehr** unter Berücksichtigung grösserer Folgezeitlücke von autonomen Fahrzeugen auf von Fahrern gelenkte Fahrzeuge



Quelle: Friedrich (2015), S. 344.

Auf Basis von Experteninterviews und Literaturlauswertungen analysieren Rapp Trans AG (2017) die Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandshaltesystemen und des Platooning. Rapp Trans AG (2017) erwartet bei unvernetzten Systemen (Adaptive Cruise Control ACC) einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit, aber keine Effizienzsteigerung. Fahrzeuge mit CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) können hingegen aufgrund ihrer Vernetzung mit den Vorgänger-Fahrzeugen kommunizieren und so mit kürzeren Abständen folgen, was insbesondere bei hoher Ausstattungsrate mit CACC (ab 40-50%) zu einer höheren Strassenkapazität führt. Im LKW-Verkehr können durch Truck Platooning schon früher positive Effekte erzeugt werden (bspw. Treibstoffeinsparungen). Allerdings sehen Rapp Trans AG (2017) noch keinen Business Case für eine kurzfristige Einführung von Truck-Platooning. Sie betonen aber, dass auch wenn die Wirkungen erst zu einem späteren Zeitpunkt erkennbar werden, die entsprechenden Investitionsentscheidungen (bspw. Verlängerung Einfahrstrecken) bereits heute zu thematisieren sind.

<sup>46</sup> Tientrakool et al. (2011), S. 1., weitere Resultate von Tientrakool et al. (2011) sind in Pinjari et al. (2013), S. 4, zusammengefasst.

<sup>47</sup> Kockelman et al. (2017), S. 23.

- **Knoteneffekte (Kapazitäten und Verlustzeiten) automatisiertes Fahren**

Automatisierte Fahrzeuge können die grüne Ampelphase antizipieren und erlauben damit eine bessere Ausnutzung der Grünphasen. Weitere Optimierungen können Fahrzeugkolonnen (Platooning) und Reservationssysteme, welche die Grünphasen hintereinanderliegender Knoten optimieren, bieten.<sup>48</sup>

Wagner (2015) zeigt, dass automatisierte Fahrzeuge bei Lichtsignalanlagen erhebliche Kapazitätsgewinne (mindestens eine Verdoppelung, also > 100%) ermöglichen, auf die Verlustzeiten an den Lichtsignalanlagen haben die automatisierten Fahrzeuge keinen Effekt. Eine Kapazitätserhöhung an Lichtsignalanlagen hat weiter einen positiven Nebeneffekt: Die notwendigen Freigabezeiten an einer LSA können kürzer werden. Damit steht mehr Zeit für andere Verkehrsteilnehmer (bspw. Fussgänger) zur Verfügung. Schon ab einem kleinen Anteil automatisiert fahrender Fahrzeuge können sich diese Effekte bemerkbar machen – dies insbesondere bei adaptiven Lichtsignalanlagen.<sup>49</sup> Wagner (2015) zeigt weiter, dass mit automatisierten Fahrzeugen bei optimal eingestellten, seriell geschalteten Lichtsignalanlagen, welche eine «grüne Welle» in einem Streckenabschnitt mit mehreren Kreuzungen hintereinander ermöglichen, keine Kapazitätsverbesserungen erzielt und nur die Verlustzeiten leicht gesenkt werden können.

- **Netzeffekte (Verlustzeiten, Reisezeiten, Kapazitäten) automatisiertes Fahren**

Zu den Netzeffekten des automatisierten Fahrens wurden Berechnungen mit Simulationsmodellen vorgenommen.

Wagner (2015) bedient sich eines Simulationsmodells, welchem ein Verkehrsnetz sowie eine Start-Ziel-Matrix der Stadt Braunschweig zugrunde liegt. Zusätzlich zu den manuell bedienten Fahrzeugtypen wurden die selbstfahrenden Autos erfasst. Diese unterscheiden sich von den manuell bedienten Fahrzeugtypen durch eine geringere Reaktionszeit (0.5 Sekunden anstelle von 1 Sekunde). Automatisiertes Fahren wurde nur bei den PWS, nicht aber bei den Lastwagen, unterstellt. Ohne weitere optimierende Massnahmen (bspw. an den Lichtsignalanlagen) kann mit automatisiertem Fahren zwischen 5 % und 80 % Verlustzeit an den Lichtsignalanlagen eingespart werden, mit einem Mittelwert von rund 40 %.

Kockelman et al. (2017)<sup>50</sup> untersucht die Auswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf drei Typen von Netzwerken bzw. längere Strassenabschnitte mit Kreuzungen:

- Urbane Hauptverkehrsstrassen mit vielen Kreuzungen und Lichtsignalanlagen
- Verkehrlich stark belastete Freeways mit vielen Ein- und Ausfahrten und Lichtsignalanlagen
- Urbanes Strassennetz (Downtown Austin)

Auch Kockelman et al. (2017) geht davon aus, dass die Reaktionszeit von automatisierten Fahrzeugen von 1 auf 0.5 Sekunden gekürzt werden kann und optional ein Reservationssystem (Tile-based reservation intersection control) eingeführt wird. Sie kommt für die drei unterschiedlichen Netzwerke zu folgenden Simulationsresultaten:

- Urbane Hauptverkehrsstrassen: Die Reduktion der Reaktionszeit alleine bringt beinahe eine Verdopplung der Strassen- und Knotenkapazitäten. In den beiden untersuchten Strassenabschnitten konnte bei einer vollständigen Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen die Reisezeit bei

<sup>48</sup> Vgl. u.a. Kockelman et al. (2017; S. 23.

<sup>49</sup> Bei einer adaptiven Steuerung, versucht die Lichtsignalanlage – im Gegensatz zur festzeitgesteuerten Anlage – ihre Freigabezeiten an der aktuellen Nachfrage auszurichten: Bei kleiner Nachfrage resultieren daraus kurze Freigabezeiten, bei grosser Nachfrage reagiert die Anlage mit langen Freigabezeiten.

<sup>50</sup> Kockelman et al. (2017), S. 84 bis 92.

hoher Nachfrage um 70% bzw. 87% reduziert werden. Die Effekte des Reservationssystems waren nicht eindeutig positiv: Bei geringer Nachfrage verbesserte das Reservationssystem den Verkehrsfluss und vermindert somit die Reisezeit. Hingegen verschlechterte bei hoher Nachfrage (Stausituation) das Reservationssystem den Verkehrsfluss sogar, da Reservationssysteme im komplexen urbanen Strassennetz bei sehr hoher Belastung die Verkehrsflüsse nicht so optimal regeln kann wie ein Lichtsignalanlagensystem.

- *Freeways mit Lichtsignalanlagen: Bei hoher Nachfrage kann dank verkürzter Reaktionszeit die Reisezeit für die drei untersuchten Freeways zwischen 27% bis 72% reduziert werden. Bei schwacher Nachfrage ergeben sich keine massgeblichen Verbesserungen in den Reisezzeiten. Die Auswirkungen des Reservationssystems können in Bezug auf die Reisezeit positiv oder negativ ausfallen und unterschieden sich deutlich zwischen den drei untersuchten Freeways.*
- *Urbanes Strassennetz (Downtown Austin): Die Simulation des urbanen Strassennetzes eröffnet freie Routenwahl innerhalb der Systemgrenzen. Zu erwähnen ist, dass die Simulationen ohne Berücksichtigung des Langsamverkehrs durchgeführt wurden. Die Simulationen zeigen, dass bei einer vollständigen Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen alleine die verkürzte Reaktionszeit eine Halbierung der Reisezeit bewirkt. Wird ein Reservationssystem eingeführt, kann die Reisezeit um insgesamt 78% reduziert werden.*

Friedrich (2015)<sup>51</sup> schätzt den Kapazitätsgewinn im Stadtverkehr auf rund 40% - gegenüber den bereits erwähnten 80% auf Autobahnen. Friedrich (2015) führt diese Unterschiede in den Steigerungspotenzialen auf die durchschnittliche Geschwindigkeit, mit der die Verkehrsanlagen befahren werden, zurück.

- **Weitere Punkte**

*Im ländlichen Raum ist bereits heute die Strassenkapazität nicht voll ausgenutzt. Das automatisierte Fahren wird daher in Bezug auf eine mögliche Kapazitätssteigerung in diesem Gebiet keinen grossen Einfluss haben.<sup>52</sup>*

*Durch das automatisierte Fahren wird ein Rückgang der Unfälle erwartet. Da es durch diesen Wegfall auch **weniger unfallbedingte Staus** geben wird, werden auch durch diesen Effekt neue Kapazitäten frei.<sup>53</sup>*

*Generell wird davon ausgegangen, dass die Kapazitätsgewinne durch automatisierte Fahrzeug mit ihrem Anteil am Strassenverkehr exponentiell zunehmen.<sup>54</sup>*

*Die Kapazitätsgewinne des Strassennetzes bedeutet aber nicht automatisch, dass die Strassen weniger stark ausgelastet werden. Es ist wahrscheinlich, dass das automatisierte Fahren auch zu einem Anstieg der Nachfrage nach Mobilität führt.*

---

<sup>51</sup> Friedrich (2015), S. 346.

<sup>52</sup> EBP (2017), S. 29.

<sup>53</sup> Clements/Kockelman (2017), S. 13.

<sup>54</sup> Friedrich (2015), S. 348.

- **Fazit aus der Literatursichtung**

Die Abschätzungen zu den Kapazitätsgewinnen des automatisierten Fahrens beruhen bisher auf theoretischen Überlegungen, ergänzt mit Modellsimulationen. Wie Wagner (2015<sup>55</sup>) festhält, «stimmt die Theorie nicht immer mit den Simulationsergebnissen überein. Hier besteht noch viel an Forschungsbedarf, weil es gar nicht so einfach ist, die in der Theorie vorausgesetzten Annahmen in die simulative Realität zu übertragen. Das wird sicherlich beim Vergleich mit realen Messwerten noch einmal schwieriger.» Diese Feststellung, welche Wagner (2015) für seine theoretischen Überlegungen und Modellsimulationen macht, gelten auch für alle anderen Resultate. Unklar ist auch, ob und wie die Resultate auf die Situation der Schweiz (mit bspw. vielen Aus- und Einfahrten bei Autobahnen, Tunnels und Strecken mit reduzierter Geschwindigkeit) übertragbar ist. Es gilt hier weitere Forschungsanstrengungen, auch spezifisch für das schweizerische Umfeld, abzuwarten. Für die Schweiz werden diverse laufende Arbeiten und das Forschungspaket «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» des Bundesamts für Strassen (ASTRA), insbesondere das vorgesehene Teilprojekt 2, weitere Schritte im langen Erkenntnisprozess über die Wirkung des automatisierten Fahrens auf die Strassenkapazität, die Geschwindigkeit und die Reisezeit sein.

**Methodik zur Erfassung der Angebotswirkung im MIV (Strassenkapazitäten usw.)**

Die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenkapazität, die allfällige Reduktion von Verlust- bzw. Reisezeiten bzw. auf die Geschwindigkeit sind im Rahmen weiterer vertieften Forschungsarbeiten zu analysieren. Die Berechnungen im Rahmen des ökonomischen Impact Assessments sollen in der Lage sein, die künftigen Forschungsergebnisse zu den Wirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenkapazität zu erfassen. Wir schlagen folgende Methodik vor:

- Trennung zwischen Autobahnen und urbanem Raum: Wie die Literatur zeigt, unterscheiden sich die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenkapazität.
- Annahme oder Herleitung einer Beziehung zwischen dem Durchdringungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen und der Strassenkapazität (oder der Reisezeit bzw. Geschwindigkeit) aus der Literatur oder (besser) aus Verkehrsmodellierungen für die Schweiz – getrennt nach Autobahnen und urbanem Strassennetz. Zu berücksichtigen ist, dass bei tiefem Durchdringungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen noch wenig Effekte auf die Strassenkapazität zu erwarten sind.
- Herleitung (mit Hilfe von Verkehrsmodellierungen) oder Annahme zur Entwicklung der Zunahme der Stautunden (oder der Abnahme der durchschnittlichen Geschwindigkeit) mit wachsendem Verkehr, unter der Annahme, dass keine weiteren Ausbauten/Massnahmen zur Stauvermeidung umgesetzt werden. Als Referenzszenario können grundsätzlich zwei verschiedene Entwicklungen gewählt werden: (i) Das Referenzszenario gemäss den aktuellen Verkehrsperspektiven, welches bereits Ausbauten erhält, (ii) oder ein Referenzszenario, das keine Ausbauten enthält.
- Annahmen zum Kosten-Nutzen Verhältnis und der Lebensdauer der Stauvermeidungsmassnahmen (bspw. abgeleitet aus den Bewertungen zur Engpassbeseitigung Nationalstrassennetz) sowie zu den Zeitkosten- und Fahrzeugkostenansätzen.

<sup>55</sup> Wagner (2015), S. 323.

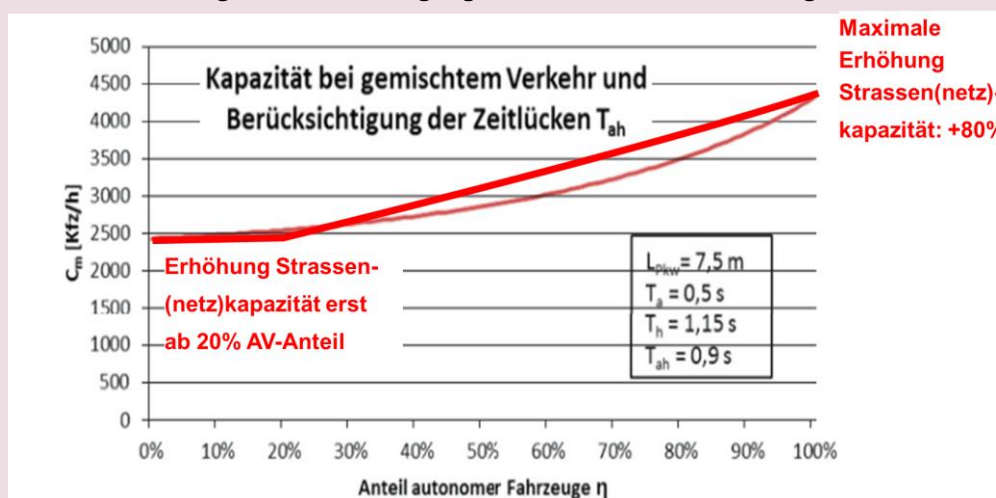
- Aus diesen Annahmen lassen sich die über den gesamten Zeithorizont anfallende Summe aus Stau- und Stauvermeidungsinvestitionen für folgende Situationen berechnen:
  - (i) Entwicklung der Stautunden (Geschwindigkeiten) mit zunehmendem Verkehr, mit/ohne automatisierten Fahrzeugen und ohne weitere Stauvermeidungsmassnahmen.
  - (ii) Entwicklung der Stauvermeidungsmassnahmen, wenn unterstellt wird, dass die Stautunden (oder die Geschwindigkeit) ein gewisses Niveau nicht überschreiten dürfen (reaktives Investitionsverhalten in Stauvermeidungsmassnahmen).
  - (iii) Entwicklung der Stautunden und Stauvermeidungsmassnahmen unter kostenminimalen Bedingungen, also die abdiskontierte Summe aus Staukosten und Stauvermeidungsinvestitionen - über den ganzen Zeithorizont betrachtet - minimal wird.

### Tischmodell

Annahme: Im Tischmodell, welches im Rahmen der Machbarkeitsstudie vereinfachend verwendet wurde, unterscheiden wir nicht zwischen Autobahnen und urbanem Strassennetz und illustrieren die Methodik an einem **hypothetischen Beispiel**:

Wir gehen davon aus, dass bei einer vollständigen Durchdringung mit vollautomatisierten Fahrzeugen eine Kapazitätserhöhung von +80% bei den staugefährdeten Strassen erreicht werden kann. Bei diesen +80% wird berücksichtigt, dass einzelne Fahrzeuge nicht automatisiert fahren. Es wird also unterstellt, dass das gesamte System tauglich ist für den Mischverkehr von automatisierten und nicht automatisierten Fahrzeugen. Weiter unterstellen wir, dass Kapazitätserhöhungen erst ab einem minimalen Bestand automatisierter Fahrzeuge von 20% erzielt werden können. Aus vereinfachenden Gründen gehen wir weiter davon aus, dass die Kapazitätserhöhungen ab 20% Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen mit dem Durchdringungsgrad linear – und nicht exponentiell – zunimmt. Wir bilden damit – stark vereinfacht – die Abschätzungen von Friedrich (2015) zum Strassenkapazitätseffekt automatisierter Fahrzeuge für den Fall eines reinen PW-Verkehr (vgl. Abbildung 5-6):

Abbildung 5-7: Hypothetisches Beispiel – Annahmen zur Erhöhung der Strassenkapazität mit steigender Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen



Quelle: Friedrich (2015).



*Die Zunahme der Staustunden mit zunehmendem Verkehr haben wir – stark vereinfacht – mit einem linearen Reaktionsparameter, welcher bei steigendem durchschnittlichen Auslastungsgrad die Durchschnittsgeschwindigkeit reduziert, erfasst.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Die Unsicherheiten in Bezug auf die durch automatisierte Fahrzeuge erzielbaren Kapazitätsgewinne sind weiterhin hoch und Gegenstand der Forschung. Insbesondere das Ausmass der Kapazitätseffekte in Mischsystemen und in städtischen Strassennetzen steht zur Diskussion. Im Rahmen unserer Sensitivitätsanalyse gehen wir von Kapazitätsgewinnen zwischen +40% bis +120% aus. Den minimalen Bestand automatisierter Fahrzeuge bis zur Kapazitätssteigerung variieren wir zwischen 10% bis 30%.*

### **Angebotswirkung im MIV: Smarte Infrastruktur**

Neben den bereits erwähnten Kosten und Nutzen erfordert automatisiertes Fahren neue technische Infrastrukturen, Kommunikationsstandards, strassenseitige Sensorik, sowie Steuerungs- und Koordinationsplattformen für Fahrzeugflotten. Wie die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen sowie den Fahrzeugen und der Infrastruktur konkret erfolgen wird, und welche Kosten dabei entstehen, ist noch offen und wurde in dieser Machbarkeitsstudie nicht untersucht.

#### **Methodik zur Erfassung der Angebotswirkung im MIV (Smarte Infrastruktur)**

*Die Kosten für die für die smarte Infrastruktur sind auf Basis der Literatur (vgl. insbesondere die laufenden Forschungspakete des SVI (Verkehr der Zukunft 2060) und des ASTRA (Auswirkungen des automatisierten Fahrens)) und mittels Expertenbefragung grob abzuschätzen.*

#### **Tischmodell**

*Auswirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert.*

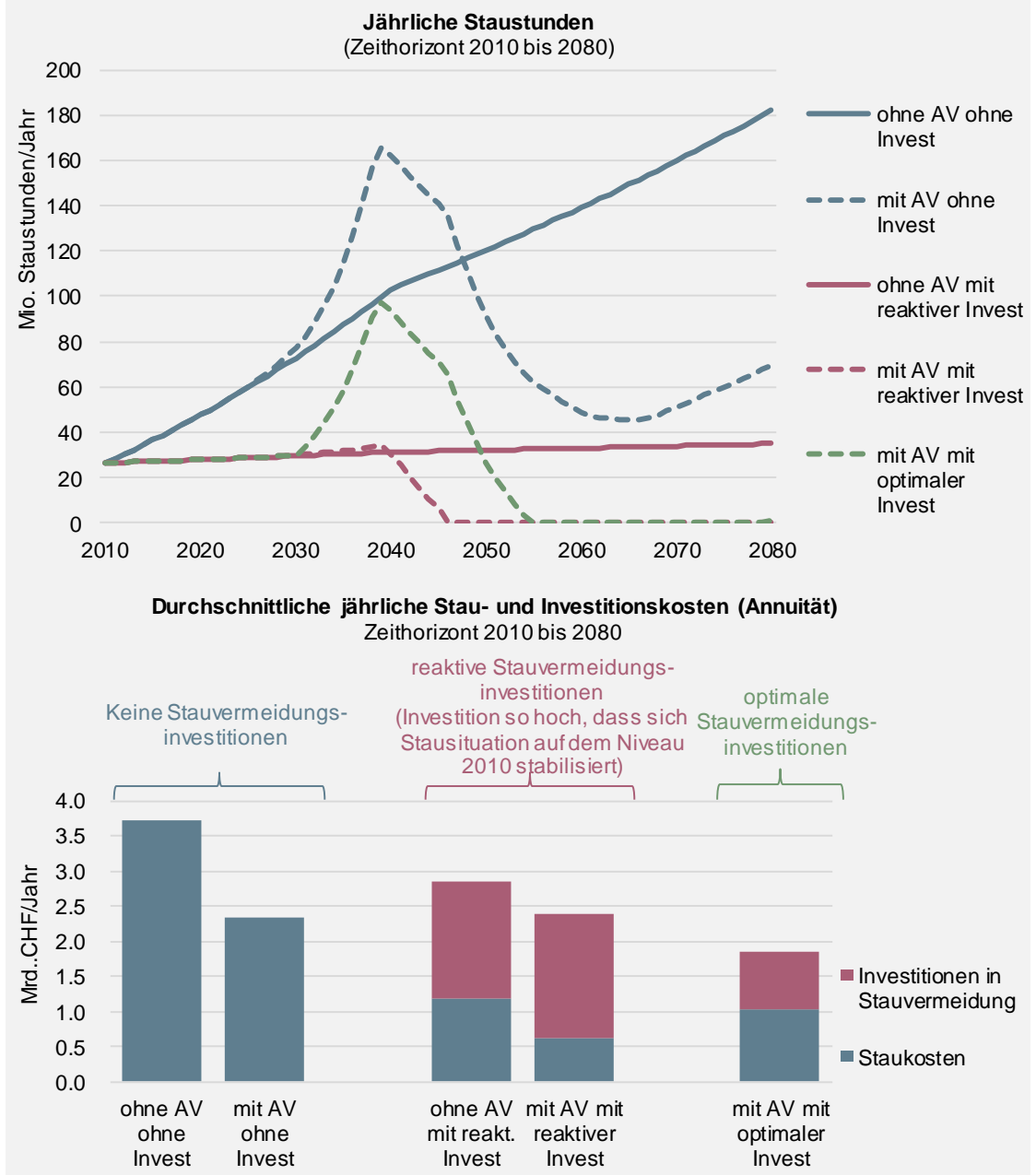


**Exkurs: Hypothetisches Beispiel: Kapazitätzunahme, Staukosten und Stauvermeidungsinvestitionen**

Die Wirkungszusammenhänge zwischen der Kapazitätzunahme aufgrund des vollautomatisierten Fahrens, den Stauzeiten, Staukosten und Stauvermeidungsinvestitionen (Engpassbeseitigungen oder andere kapazitätzfördernde Massnahmen) können wir – anhand einer exemplarischen Berechnung mit dem Tischmodell – wie folgt anhand der nachfolgenden Abbildung in aller Kürze zusammenfassen.<sup>56</sup>

**Abbildung 5-8: Stauvermeidungsinvestitionen: mittlere Phase-in-Variante**

Annahmen: AV-Kapazitätsgewinn **+80%**, wirkt erst ab Minimal-AV-Bestand von **20%**  
 Kosten-Nutzen-Verhältnis der Stauvermeidungsinvestitionen: **2**  
 Mittlere Lebensdauer der Stauvermeidungsinvestition: **30 Jahre**



<sup>56</sup> Für die detaillierte Analyse wird auf das Tischmodell verwiesen.

Die Abbildung 5-8 zeigt verschiedene Situationen mit/ohne AV, mit/ohne Stauvermeidungsinvestitionen für den Zeitraum 2010 bis 2080. In der unteren Grafik werden die im Zeitraum 2010 bis 2080 durchschnittlichen jährlichen Stau- und Investitionskosten (Annuitäten) dargestellt. Die obere Grafik zeigt den Verlauf der Staustunden:

- Sofern **keine Stauvermeidungsinvestitionen** getätigt werden, steigen die Staustunden aufgrund des Verkehrswachstums. Die Staustunden steigen bei einer Situation mit automatisierten Fahrzeugen (AV) anfänglich stärker an als bei einer Situation mit rein konventionellen Fahrzeugen (blaue Linien). Dies als Folge des zusätzlichen Verkehrs durch die automatisierten Fahrzeuge und der Annahme, dass die Strassenkapazität in einem Mischsystem erst zunimmt, wenn die automatisierten Fahrzeuge einen gewissen Mindestanteil (hier mit 20% angenommen) überschreiten. Mittelfristig sinken die Staustunden wieder, weil sich durch den vermehrten AV-Einsatz die Strassenkapazität erhöht. Längerfristig hätten wir ohne weitere Stauvermeidungsinvestitionen in unserem exemplarischen Beispiel mit AV weniger Stau - trotz deutlich höherer Verkehrsnachfrage (+41%, vgl. dazu Kapitel 1). Der Kapazitätsgewinn durch AV ist aber in diesem exemplarischen Beispiel nicht hoch genug, damit Staus gänzlich vermieden werden. Obwohl in einer AV-Situation ohne Stauvermeidungsinvestitionen die Staustunden über den ganzen Zeithorizont in etwa gleich hoch sind wie bei konventionellen Fahrzeugen, fallen die Staukosten für die Situation mit AV tiefer aus. Dies ist eine direkte Folge davon, dass die Stau-stunde weniger «kostet» in einem AV (aufgrund der Zeitkostensparnis durch AV).
- Mit **reaktiven Stauvermeidungsinvestitionen** können die Staustunden und damit die Staukosten massgeblich gesenkt werden. Für die Berechnung der reaktiven Stauvermeidungsinvestitionen haben wir folgende Annahmen getroffen: (i) die Stausituation im Jahr 2010 soll sich nicht verschlechtern, d.h. der Auslastungsgrad und damit die erzielbare durchschnittliche Geschwindigkeit bleiben in einer durchschnittlichen Betrachtung über das gesamte Strassennetz konstant. (ii) Es werden Stauvermeidungsmassnahmen mit einem Kosten- Nutzen-Verhältnis von mindestens 2 umgesetzt, (iii) die durchschnittliche Lebensdauer der Stauvermeidungsmassnahmen beträgt 30 Jahre und (iv) einmal umgesetzte Stauvermeidungsmassnahmen werden nicht mehr rückgebaut (also müssen sie nach Ablauf der Lebensdauer erneuert werden).  
Bei diesem Investitionsverhalten in Stauvermeidungsmassnahmen fallen relativ hohe Investitionen an. Dies vor allem als Folge der durch AV ausgelösten zusätzlichen Nachfrage und der Tatsache, dass die Kapazitätsgewinne mit AV annahmegemäss erst ab einem gewissen AV-Bestand (>20%) erzielbar sind. Fazit: Für die «Stabilisierung» der Stausituation würden unter den getroffenen exemplarischen Annahmen<sup>57</sup> hohe Stauvermeidungskosten anfallen.
- Bei über den ganzen Betrachtungszeitraum kostenminimierenden, **optimalen Stauvermeidungsmassnahmen** würde deutlich weniger in Stauvermeidungsmassnahmen investiert, dafür temporär zunehmende Staus in Kauf genommen. «Optimal» verstehen wir hier in dem Sinne, dass die abdiskontierte Summe aus Staukosten und Stauvermeidungsinvestitionen über den ganzen Zeithorizont betrachtet minimal wird. Insgesamt würde in diesem exemplarischen Beispiel beim optimalen Investitionsverhalten weniger als die Hälfte in Stauvermeidungsmassnahmen investiert im Vergleich zu einer reaktiven Stauvermeidung. Im Gegenzug würden die Staustunden über rund 20 Jahren (2030 bis 2050) bei diesem optimalen Investitionsverhalten bis zum 4-fachen zunehmen.

**Fazit:** Dieses exemplarische Beispiel zeigt, dass das Phase-in von AV einen massgeblichen Effekt auf die Stausituation und auf die Stauvermeidungsinvestitionen hat. Der Trade-off zwischen Stauvermeidungsmassnahmen und temporär in Kauf zu nehmenden Staus ist für die Transitionsphase vertieft zu diskutieren.<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Aus unserer Sicht sind diese Annahmen nicht unrealistisch, sind aber empirisch nicht abgestützt.

<sup>58</sup> Dies kann bspw. im Rahmen einer Anpassung des Normenwerks zur Kosten-Nutzen-Analyse geschehen.

#### d) Wettbewerbs- und Markteffekte

Automatisierte Fahrzeuge verändern die relativen Kosten der verschiedenen Mobilitätsgefässe. Es ist zu prüfen, welche Auswirkungen dies auf die Verkehrsmittelwahl hat. Hierzu wurden in einem Expertenworkshop die wichtigsten Teileffekte diskutiert, was zusammengefasst zu folgender Einschätzung führt.

Verkehrsmittelwahländerungen dürften nach Raumtypen und Verkehrszwecken variieren:

- Insgesamt sind keine grösseren Änderungen der Verkehrsmittelwahl zu erwarten. Dies insbesondere deshalb, weil dort, wo grössere Verlagerungen zum MIV erwartet werden könnten, schon heute hohe bis sehr hohe MIV-Anteile bestehen. Das ist insbesondere bei Einkaufs- und Freizeitfahrten im ländlichen Raum der Fall. Für Pendlerfahrten aus dem ländlichen Raum könnte automatisiertes Fahren zu neuen, flexibleren, auf kleinere Gefässe ausgerichtete ÖV-Angeboten führen. Die Wettbewerbssituation und damit auch die Verlagerungseffekte zwischen automatisierten, individuellen Fahrzeugen (MIV) und einem optimierten, bedarfsorientierten ÖV für den Pendlerverkehr aus dem ländlichen Raum bedarf einer differenzierteren Analyse.
- In städtischen Räumen ist zwar das Potenzial für Verlagerungen vom ÖV auf den MIV grösser, rein aufgrund der Automatisierung wird aber nicht mit grösseren Verlagerungseffekten gerechnet – am ehesten sicherlich im Einkaufs- und Freizeitverkehr. Dies ist unter anderem mit der weiterhin deutlich besseren Flächeneffizienz des ÖV zu begründen.

#### **Methodik zur Erfassung der Verkehrsmittelwahländerungen**

Grundlagen für die Verkehrsmittelwahländerungen ist die Einschätzung zur Veränderung der Wettbewerbsposition der verschiedenen Verkehrsmittel als Folge des automatisierten Fahrens. Dazu sind Einschätzungen zu den sich verändernden generalisierten Kosten vorzunehmen (analog zum Beispiel in Abbildung 5-5).

Die Verkehrsmittelwahländerungen können basierend auf dem MZMV (mindestens differenziert nach Raumtypen und Fahrzweck) und mit Hilfe von Expertenschätzungen sowie vorhandener Literatur (bspw. adaptierte Resultate aus Verkehrsmodellen oder Elastizitäten) vorgenommen werden.

#### **Tischmodell**

Annahme: Wir gehen davon aus, dass das vollautomatisierte Fahren vor allem den MIV-Freizeitverkehr in intermediären und ländlichen Räumen auf Kosten des ÖV deutlich attraktiver macht. In diesen Räumen gehen wir beim ÖV-Freizeitverkehr in einer Situation mit 100% AV-Bestand von einem Rückgang von rund 50% aus (grobe Einschätzung aus dem Expertenworkshop). Die anderen Verkehrszwecke (Einkaufen, Arbeit, usw.) sind weniger betroffen, aber auch hier gilt, dass in den intermediären und ländlichen Räumen ein deutlich grösserer Rückgang des ÖV auf Kosten des MIV anzunehmen ist. Insgesamt gehen wir davon aus, dass in den städtischen Räumen der ÖV nur gerade 4% an den MIV verliert, in den intermediären Räumen 25% und in den ländlichen Räumen 33%. Insgesamt verliert der ÖV damit 18% an

den MIV. Würden diese Annahmen auf den heutigen Modalsplit von 72% MIV und 28% ÖV angewendet, würde sich der Modalsplit auf 77% MIV und 23% ÖV ändern. Achtung: Dieser 18%-ige Verlust bezieht sich auf eine Situation mit 100% AV-Bestand. Für das Jahr 2040 wäre in der mittleren Phase-in-Variante mit einer ÖV-Einbusse von -5% zu rechnen. Weiter ist zu beachten, dass sich diese relative Einbusse auf das Referenzszenario bezieht und im Referenzszenario der ÖV bis 2040 noch über 50% zunimmt. Insgesamt wächst somit der ÖV auch unter Einrechnung dieser ÖV-Einbusse immer noch stark.

### 5.1.2 Veränderung der Verkehrsleistung aufgrund des automatisierten Fahrens

#### **Tischmodell**

Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate der verkehrlichen Auswirkungen für das Szenario 1 vorgestellt.

Mit dem automatisierten Fahren kann die Fahrzeit produktiver genutzt werden. Die Mobilität wird im automatisierten Fahrzeug somit günstiger, was die Nachfrage erhöht: (i) Es werden längere Distanzen gefahren oder mehr Fahrten unternommen und (ii) der MIV wird gegenüber dem ÖV relativ attraktiver, was zu einer Verlagerung vom ÖV zum MIV führt. Insgesamt erhöht dies die geleisteten Personenkilometer (Pkm) im MIV und reduziert die im ÖV zurückgelegten Personenkilometer. Das automatisierte Fahrzeug bringt zudem ein neues Phänomen auf unseren Strassen – die Fahrten ohne Passagiere, die sogenannten Leerfahrten (bspw. Leerfahrten zum «Selbstoparkieren» des Fahrzeugs). Diese Leerfahrten erhöhen einzig die Fahrzeugkilometer.

Die Abbildung 5-9 zeigt die verkehrlichen Effekte für die drei Phase-in-Varianten für die beiden Jahre 2040 und 2080. Betrachten wir zuerst das **Jahr 2080** in der mittleren oder schnellen Phase-in-Variante. In diesen beiden Varianten gibt es nur noch automatisierte Fahrzeuge (AV-Bestand =100%) auf den Strassen. Gehen wir von den in den Expertenworkshops diskutierten Einschätzungen zur Änderung des Verkehrsverhaltens mit automatisierten Fahrzeugen aus, dann ergibt sich eine Zunahme der im MIV zurückgelegten Personenkilometer um +29% gegenüber dem Referenzszenario. Aufgrund der Leerfahrten steigen die Fahrzeugkilometer mit +41% sogar noch stärker an. Aufgrund der Verkehrsverlagerung vom ÖV auf den MIV sinkt die Verkehrsleistung im ÖV um -18% gegenüber dem Referenzszenario.

Da im Jahr 2080 auch in der langsamen Phase-in-Variante fast schon die ganze Fahrzeugflotte automatisiert ist, unterscheiden sich die verkehrlichen Auswirkungen nicht stark von der mittleren und schnellen Phase-in-Variante.

Die verkehrlichen Auswirkungen des automatisierten Fahrens sind im Jahr **2040** ganz wesentlich von der Phase-in-Variante abhängig. Bei einem langsamen Phase-in von automatisierten Fahrzeugen ergeben sich kaum massgebliche Veränderungen in der Verkehrsleistung gegenüber dem Referenzszenario. Hingegen wären bei einem disruptiven, schnellen Phase-in bereits massive verkehrliche Auswirkungen zu erwarten: Zunahme der Fahrzeugkilometer um +25% gegenüber der Referenzvariante und -9% Abnahme bei den Personenkilometern im ÖV.

Auch bei einer mittleren Phase-in-Variante wären unter den getroffenen Annahmen bereits mit grossen verkehrlichen Auswirkungen zu rechnen: Zunahme der Fahrzeugkilometer um +14% gegenüber der Referenzvariante und -5% Abnahme bei den Personenkilometern im ÖV.

**Abbildung 5-9: Verkehrliche Auswirkungen im Szenario 1 «automatisiertes Fahren» für drei Phase-in-Varianten für die Jahre 2040 und 2080 – Veränderungen gegenüber Referenzszenario**

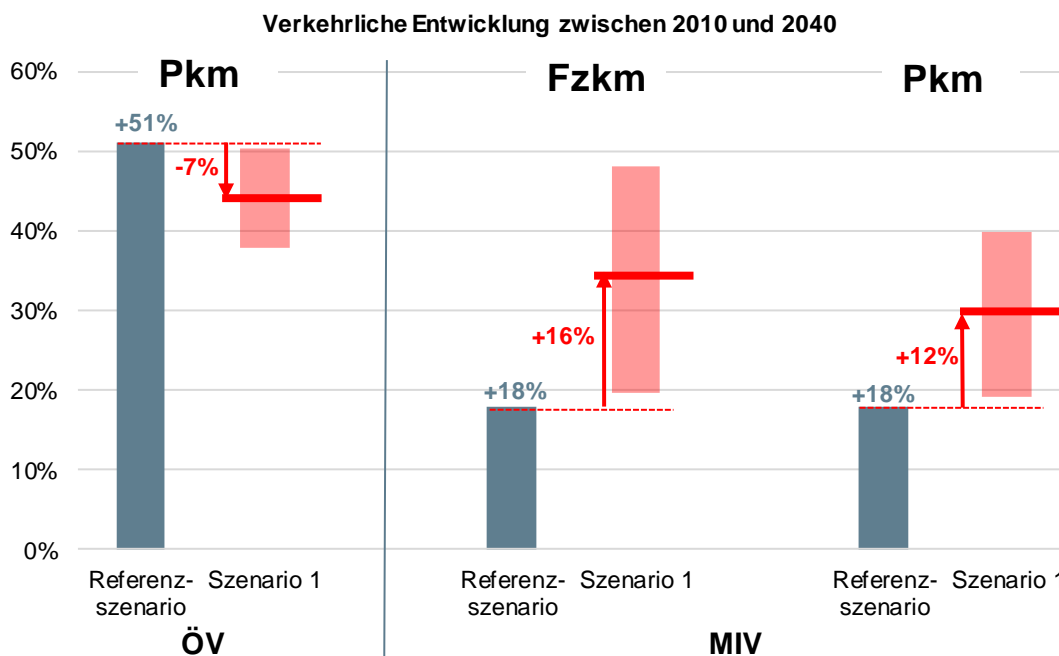
Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 1		Jahr 2040		
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen	langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)	
AV-Bestand in % des gesamten MIV-Bestandes	3%	25%	47%	
Verkehrsleistungen MIV: Pkm	1%	10%	19%	
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm	1%	14%	25%	
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm	-1%	-5%	-9%	

Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 1		Jahr 2080		
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen	langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)	
AV-Bestand in % des gesamten MIV-Bestandes	91%	100%	100%	
Verkehrsleistungen MIV: Pkm	27%	29%	29%	
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm	39%	41%	41%	
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm	-17%	-18%	-18%	

Die Abbildung 5-9 zeigt, welchen Effekt die Einführung automatisierter Fahrzeuge auf die verkehrliche Entwicklung zwischen 2010 und 2040 hätte. Gemäss den aktuellen Verkehrsperspektiven des ARE wächst der ÖV in dieser Phase um +51% und der MIV um +18%.

**Abbildung 5-10: Auswirkung des Szenarios 1 auf das Verkehrswachstum im Vergleich zum Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040**

(-7% und +16% und +12% beziehen sich auf das mittlere Phase-in, die roten Balken zeigen die Bandbreite zwischen den beiden Eckvarianten langsames und schnelles Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen)



In der mittleren Phase-in-Variante würde das Wachstum im ÖV um -7% geringer ausfallen, also zwischen 2010 und 2040 statt mit 51% nur noch mit 44% wachsen. Im Gegenzug würde die Verkehrsleistung im MIV (Fzkm) bis 2040 nicht nur um +18%, sondern um zusätzliche +16% - also insgesamt um +34% - zunehmen. Das automatisierte Fahren hat somit das Potenzial, die Verkehrsleistung bereits im Jahr 2040 massiv zu verändern, auch wenn – wie mit den roten Bandbreiten illustriert – die Bandbreiten der Auswirkungen allein aufgrund der Unsicherheiten zum Phase-in der automatisierten Fahrzeuge sehr gross sind.

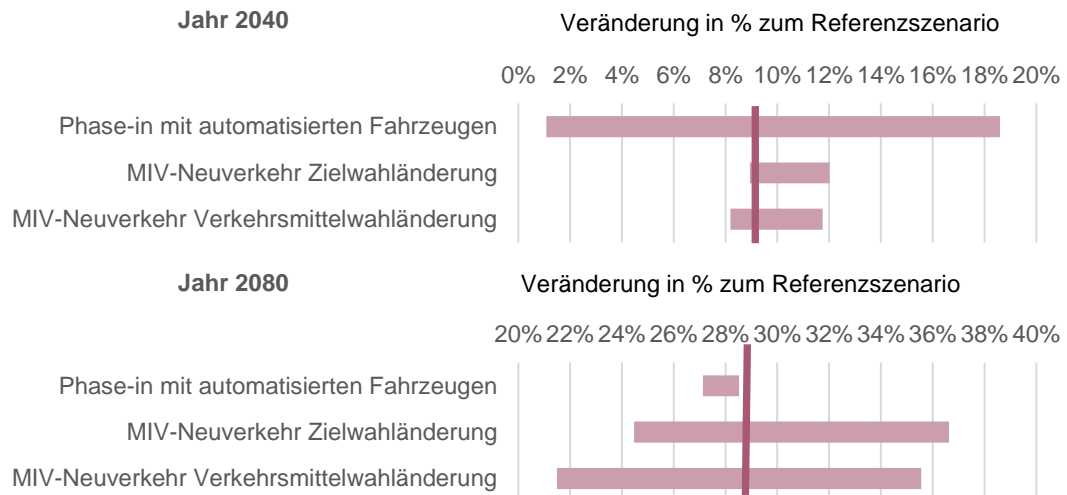
### Sensitivitätsanalyse

Abbildung 5-11 zeigt die Bandbreiten der Unsicherheit zu den Wirkungen auf die MIV-Pkm, wenn einzelne Annahmen verändert werden. Die grösste Unsicherheit bzw. Bandbreite, zeigt sich im Jahre 2040 beim Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen. Es ist heute noch nicht absehbar, ob das Jahr 2040 erst am Beginn des Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen steht oder sich bereits mitten im Phase-in befindet. Das heisst, dass, auch wenn die Bandbreiten bzw. Unsicherheiten bei der Zielwähländerung und der Verkehrsmittelwähländerung bspw. durch bessere Verkehrsmodelle noch verkleinert werden können, die grosse Unsicherheit zum Phase-in für das Jahr 2040 bestehen bleibt.

Eine bessere Voraussage oder Prognose zu den Zielwahl- und Verkehrsmittelwähländerungen aufgrund des automatisierten Fahrens wird die Unsicherheiten bzw. Bandbreiten erst längerfristig einengen können. Vergleiche dazu die Bandbreiten im Jahr 2080: Zu diesem Zeitpunkt

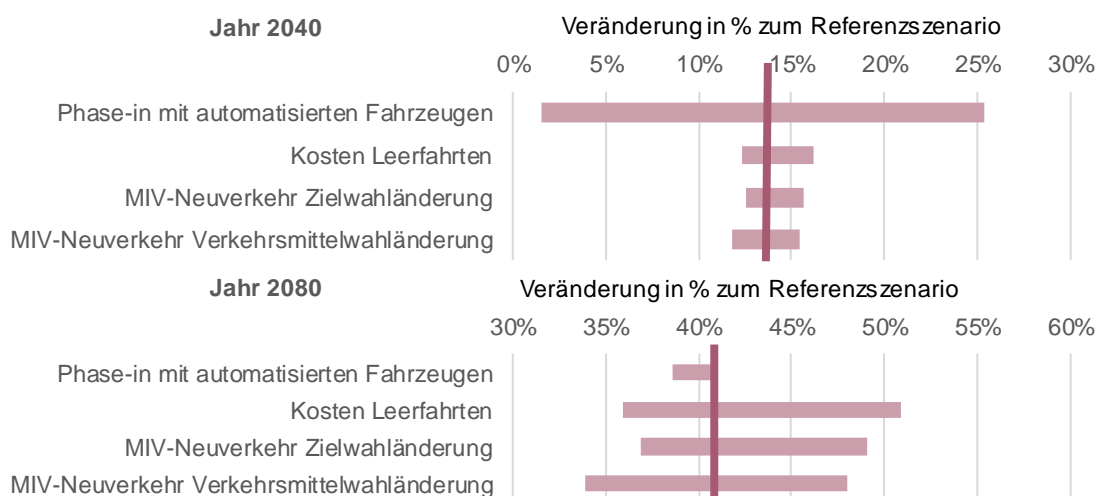
ist das Phase-in fast vollständig abgeschlossen und die Unsicherheiten in Bezug auf die Schnelligkeit des Phase-in spielt keine wesentliche Rolle mehr. Wichtiger sind zu diesem Zeitpunkt die – heute noch schwer abschätzbaren – Unsicherheiten in Bezug auf die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahländerungen.

**Abbildung 5-11: Sensitivitätsanalyse: Einflussgrößen auf die MIV-Pkm mit ihren Unsicherheiten (mittlere Phase-in-Variante)**



Die Abbildung 5-12 zeigt die Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die MIV-Fzkm. Hier kommen als zusätzliche Einflussgrösse die zusätzlichen Leerfahrten (bspw. für das Selbstparkieren der automatisierten Fahrzeuge) hinzu.

**Abbildung 5-12: Sensitivitätsanalyse: Einflussgrößen auf die MIV-Fzkm mit ihren Unsicherheiten (mittlere Phase-in-Variante)**

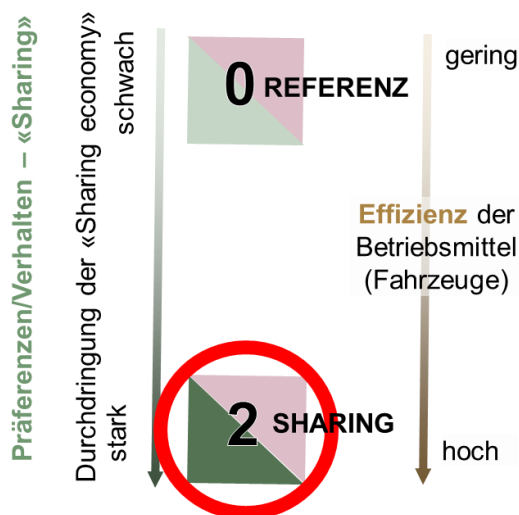


## 5.2 Wirkungen Szenario 2 - Sharing

### 5.2.1 Auswirkungen von Car- und Ridesharing

In den nachfolgenden Ausführungen werden die «isolierten» Auswirkungen des Car- und Ridesharing diskutiert – also die Auswirkungen des Szenarios 2. In diesem Szenario setzt sich die Technologie hin zu fahrerlosen Fahrzeugen nur sehr langsam durch. Es wird also davon ausgegangen, dass Car- und Ridesharing ohne automatisiertes Fahren eine gewisse Bedeutung erlangen.

Abbildung 5-13: Szenario 2 – Wirkung des Car- und Ridesharing



Die Wirkungen, welche wir unter diesem Szenario thematisieren sind: (i) Carsharing und (ii) Ridesharing.

#### Carsharing

Carsharing führt zu einem Rückgang von Neuwagenkäufen, spart also Fahrzeugfixkosten. Das Potenzial für Carsharing wurde von den Experten im Workshop in einer Welt, wie sie im Szenario 2 unterstellt wurde, zurückhaltend beurteilt. Ein bedeutendes Potenzial wird nur in den Städten erwartet. Auch wird davon ausgegangen, dass das Carsharing-Potenzial erst längerfristig – mit dem Wechsel der Generationen (Kohortenwechsel), welche in Bezug auf den Autobesitz andere Präferenzen aufweisen – nutzbar gemacht werden kann.



Literatur:

### **Carsharing**

*Interface, Infras (2006) schätzen das Potenzial für Carsharing (ohne automatisiertes Fahren) auf rund 500'000 Kunden. Mobility weist 2017 136'900 Kunden aus. Rechnet man die Click & Drive-Fahrer dazu, dann sind es 177'100 Kunden.<sup>59</sup> Carsharing-Kunden weisen gemäss Interface (2015) ein stark auf den ÖV ausgerichteten Mobilitätsverhalten aus. Für die Veränderung des Mobilitätsverhaltens bedeutsam ist insbesondere der Entscheid, ob im (hypothetischen) Falle ohne Mobility ein zusätzliches Motorfahrzeug angeschafft würde. 22 Prozent der von Interface (2015) befragten Privatkunden bejahten diese Frage. Bei diesen Haushalten würde sich das Mobilitätsverhalten grundlegend verändern, was sich insbesondere in einer höheren MIV- und einer tieferen ÖV-Fahrleistung zeigen würde.*

*Schuster et al. (2005) schätzen das Potenzial für Carsharing (ohne automatisiertes Fahren) indem sie den ökonomischen Entscheid, ein Fahrzeug zu besitzen oder zu teilen, auf Basis der generalisierten Kosten und des beobachteten Mobilitätsverhaltens simulieren. Sie kommen in ihrer Fallstudie eine Größenordnung von 4.2% bis 14.8% Carsharing-Anteil. Haupterklärungsfaktoren sind gemäss Schuster et al. (2005) die Reisezeit und die zurückgelegte Distanz mit dem Auto.*

*Schreier (2016) zeigt, dass die neuartigen Carsharing-Angebote in München vor allem von der Altersgruppe zwischen 25 und 35 Jahren genutzt werden. Personen über 55 Jahre sind kaum vertreten. Berufstätige Paare, unter 40 Jahren und ohne Kinder, sind die stärkste Nutzergruppe. Der durchschnittliche Carsharing-Kunde hat einen überdurchschnittlichen Bildungsstand und ein überdurchschnittliches Einkommen. 10% bis 20% der Kunden geben an, wegen Carsharing mindestens einen Privat-PW abgeschafft zu haben.*

*Andrew, Douma (2006) beschreiben Gebiete, in denen Carsharing effektiv sein kann wie folgt: Hohe Anzahl mit mittlerem Einkommen und gutem Bildungsstand, hohe Kosten für die Parkierung, gute ÖV-Anbindung und hoher Dichte mit guter Durchmischung von Arbeit und Wohnen.*

### **Methodik zur Erfassung des Carsharings**

*Auf Basis der Literatur können carsharing-affine Haushalte, Mobilitätsmuster oder Räume definiert werden und auf Basis des MZMV und der Verkehrsperspektiven zumindest grob in Bezug auf das Potenzial eingeschätzt werden.*

### **Tischmodell**

*Annahme: Längerfristig halbiert sich in den Städten der Anteil derjenigen, die einen direkten Zugang zu einem Auto haben (sehr grob auf aktuell 70% geschätzt) auf rund 35%. In den intermediären und ländlichen Räumen wird nur ein kleines Carsharing-Potenzial unterstellt: Der Anteil derjenigen, die einen direkten Zugang zu einem Auto haben, sinkt um 5%. Unter dieser Annahme ist die Fahrzeugflotte um 15% kleiner als ohne Carsharing.*

*Weiter wurde im Tischmodell vereinfachend unterstellt, dass sich Carsharing nicht auf den individuellen Modalsplit auswirkt.*

<sup>59</sup> Mobility (2018), Medienmitteilung zum Jahresergebnis 2017 vom 22. März 2018. Rotkreuz.

## Ridesharing

Das Ridesharing führt bei gegebenem «Stammverkehr» (Verkehrsnachfrage im Referenzszenario) zu einer Reduktion der Fahrzeugkilometer. In einem Szenario 2, in welchem sich das automatisierte Fahren nicht grossflächig durchsetzt, wird dem Ridesharing in der Schweiz von den Experten ein geringes Potenzial zugeschrieben. Das automatisierte Fahren wird als Voraussetzung für die grossflächige Verbreitung von Ridesharing betrachtet.

*Literatur:*

### **Ridesharing**

*Furuhata et al. (2013) strukturieren die Ridesharing-Diskussion. Insbesondere die vier Ridesharing-Muster<sup>60</sup> können helfen, das Ridesharing-Potenzial abzuschätzen:*

- «*Identical Ridesharing*»: Ziel und Quelle der Fahrt sind für Fahrer wie für den Passagier dieselben.
- «*Inclusive Ridesharing*»: Der Passagier absolviert eine Teilstrecke auf der Route des Fahrers.
- «*Partial Ride-sharing*»: Der Passagier absolviert eine Teilstrecke auf der Route des Fahrers, muss aber noch weitere Verkehrsmittel benutzen oder Strecken zu Fuss zurücklegen, um sein Ziel zu erreichen.
- «*Detour Ridesharing*»: Der Fahrer macht einen Umweg, um den Passagier aufzunehmen oder abzusetzen.

*Cici et al. (2014) schätzen auf Basis der beobachteten Mobilitätsmuster und sozialen Bezügen zwischen Personen das Potenzial für Ridesharing in grösseren Städten (Barcelona, Madrid, New York und Los Angeles) auf bis zu 31%. Jalali et al. (2017) schätzt für eine chinesische Stadt (Changsha) auf Basis der zweimonatigen Beobachtung von 8900 privaten Autos, dass Ridesharing die Fahrzeugkilometer potenziell bis zu 24% reduzieren kann.*

### **Methodik zur Erfassung des Ridesharings**

*Auf Basis der Literatur können ridesharing-affine Haushalte, Mobilitätsmuster oder Räume definiert werden und auf Basis des MZMV und der Verkehrsperspektiven zumindest grob in Bezug auf das Potenzial eingeschätzt werden.*

### **Tischmodell**

*Annahme: Ridesharing wird in diesem Szenario 2 – ohne automatisiertes Fahren – nur eine kleinere Rolle spielen. Eine gewisse Bedeutung erhält Ridesharing bei Fahrten für Arbeitszwecke und in den Städten, welche eine hohe Verkehrsdichte aufweisen. Insgesamt führen die unterstellten Annahmen zum Ridesharing zu einer Abnahme der Fahrzeugkilometer um -5%.*

<sup>60</sup> «*Identical Ridesharing*»: Ziel und Quelle der Fahrt sind für Fahrer wie für den Passagier dieselben. «*Inclusive Ridesharing*»: Der Passagier absolviert eine Teilstrecke auf der Route des Fahrers. «*Partial Ridesharing*»: Der Passagier absolviert eine Teilstrecke auf der Route des Fahrers, muss aber noch weitere Verkehrsmittel benutzen oder Strecken zu Fuss zurücklegen, um sein Ziel zu erreichen. «*Detour Ridesharing*»: Der Fahrer macht einen Umweg, um den Passagier aufzunehmen oder abzusetzen.

Es wurde unterstellt, dass beim Ridesharing zusätzliche Wartezeiten von 2 Minuten pro Ridesharing-Trip anfallen, was einen leicht dämpfenden Effekt auf die Veränderung der Verkehrsleistung im MIV hat.

Weiter wurde unterstellt, dass es für ein Ridesharing ebenfalls unterschiedliche Phase-in-Varianten geben wird. Wir haben stark vereinfachend angenommen, dass für das Ridesharing dieselben Phase-in-Varianten wie für die automatisierten Fahrzeuge gelten.<sup>61</sup>

## 5.2.2 Veränderung der Verkehrsleistung aufgrund von Car- und Ridesharing

### Tischmodell

Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate der verkehrlichen Auswirkungen für das Szenario 2 vorgestellt.

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen, dass die Fahrzeugkilometer längerfristig um die unterstellten -5% abnehmen. Bis 2040 wird erst ein kleiner Teil des Ridesharing-Potenzials umgesetzt. In diesem Szenario 2 gehen wir also davon aus, dass das Car- und Ridesharing ohne automatisierte Fahrzeug in ihren verkehrlichen Auswirkungen limitiert bleiben. Entsprechend haben wir in diesem Szenario 2 auch keine Änderungen in der Verkehrsmittelwahl unterstellt.

**Abbildung 5-14: Verkehrliche Auswirkungen im Szenario 2 «Sharing» für drei Phase-in-Varianten für die Jahre 2040 und 2080**

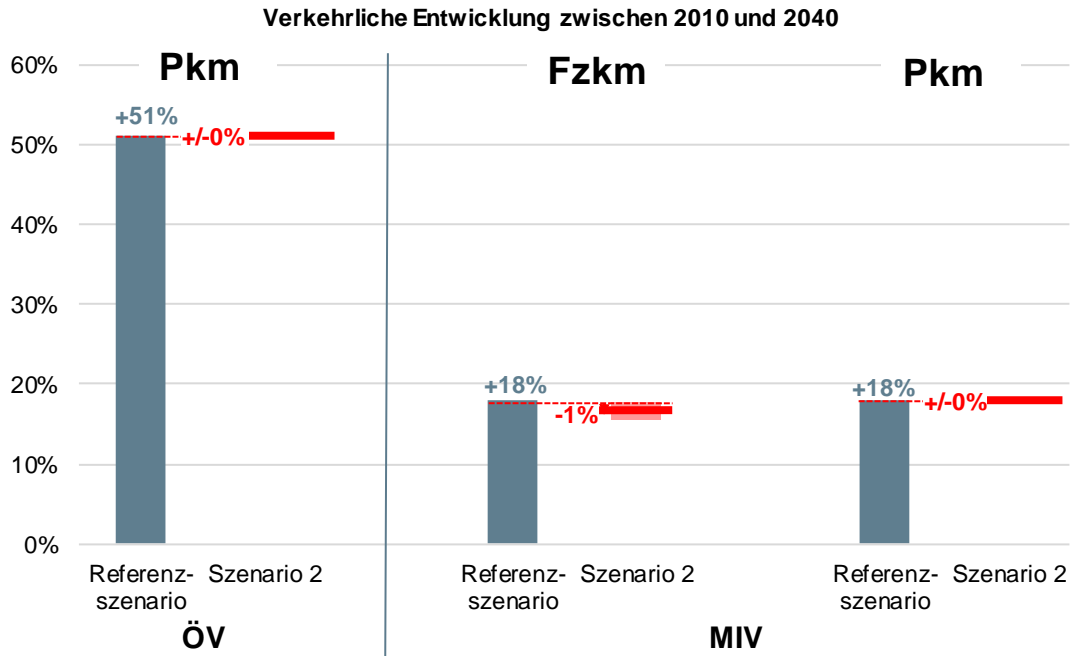
Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 2		Jahr 2040		
Phase-In von Ridesharing *)		langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)
Verkehrsleistungen MIV: Pkm		0%	0%	0%
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm		0%	-1%	-2%
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm		0%	0%	0%

Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 2		Jahr 2080		
Phase-In von Ridesharing *)		langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)
Verkehrsleistungen MIV: Pkm		0%	0%	0%
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm		-4%	-5%	-5%
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm		0%	0%	0%

\*) Es wird angenommen, dass sich **Ridesharing** im Szenario 2 nur wenig durchsetzt und die Fahrzeugkilometer um maximal -5% reduziert werden. Für das Phase-in von Ridesharing wurde dasselbe zeitliche Profil unterstellt wie für die automatisierten Fahrzeuge, die im vorliegenden Szenario 2 keine Rolle spielen.

<sup>61</sup> Dies haben wir aus vereinfachenden Gründen im Tischmodell so unterstellt, damit das Tischmodell möglichst einfach und transparent bleibt.

Abbildung 5-15: Auswirkung des Szenarios 2 auf das Verkehrswachstum im Vergleich zum Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040

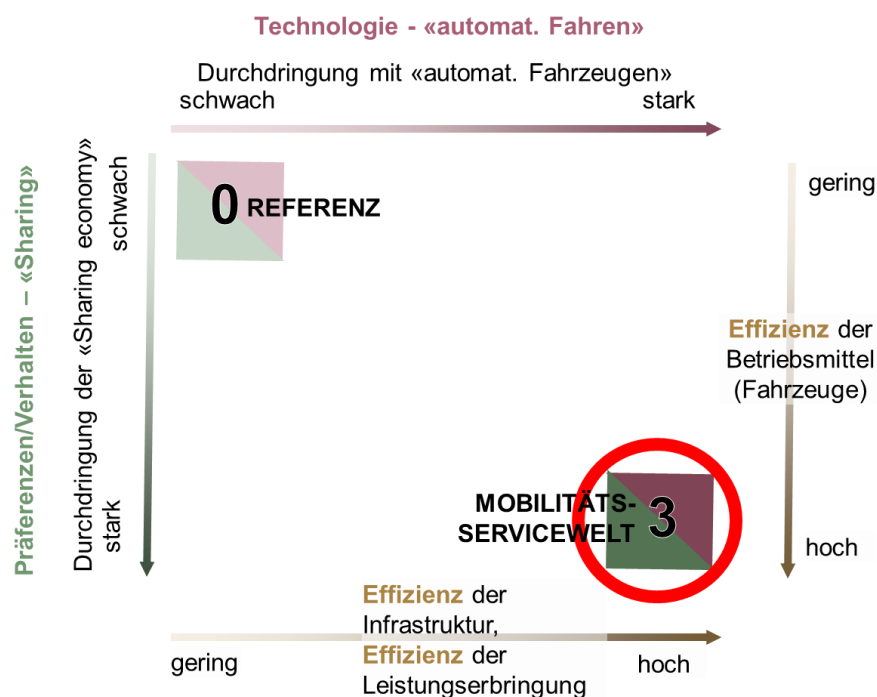


## 5.3 Wirkungen Szenario 3 – Mobilitäts-Servicewelt

### 5.3.1 Auswirkungen einer Mobilitäts-Servicewelt

In den nachfolgenden Ausführungen werden die Auswirkungen des Szenarios 3 diskutiert. In diesem Szenario entwickeln sich «automatisiertes Fahren» und die «Sharing economy» im Mobilitätsbereich Hand in Hand – mit entsprechend unterstützenden Rahmenbedingungen bzw. angepassten Regulativen. Es bildet sich eine Mobilitäts-Servicewelt, bei dem der private Fahrzeugbesitz beim Zugang zur individuellen Mobilität keine Rolle mehr spielt.

Abbildung 5-16: Szenario 3 – Wirkung einer Mobilitäts-Servicewelt



Die Mobilitäts-Servicewelt weist sehr hohe Flexibilität und Variabilität im Verkehrsangebot auf. Die klaren Grenzen zwischen öffentlichem und privatem Verkehr verschwinden. Öffentliche und private Anbieter organisieren sich auf einer Plattform (Maas). Zu jeder Zeit (mit kurzen Wartezeiten, wie im Szenario 2), an jedem Ort wird das gewünschte Mobilitätsbedürfnis abgedeckt (Ein-Platz-Fahrzeug, Familienwagen, Sammeltaxis, funktionales Fahrzeug, Freizeitfahrzeug usw.).

#### Tischmodell

Im Tischmodell haben wir das Szenario 3 so umgesetzt, dass wir die Durchdringung mit Car- und Ridesharing gegenüber dem Szenario 2 deutlich höher angesetzt haben und diese dann mit den Annahmen zum Szenario 1 kombiniert haben.

**Carsharing:**

*Annahme: Obwohl in einer Mobilitäts-Servicewelt alle Mobilitätsbedürfnisse auch ohne Besitz eines eigenen Fahrzeuges erfüllt werden können, gehen wir davon aus, dass insbesondere im ländlichen Raum der Besitz eines eigenen Fahrzeuges eine gewisse Rolle spielt. Wir gehen von folgender, sehr groben Annahme aus: Längerfristig sinkt der Autobesitzeranteil in den Städten von 70% auf 20%. In den intermediären und ländlichen Räumen sinkt der Autobesitzeranteil um 30% bzw. 10% auf 60% bzw. 80%. Unter dieser Annahme ist die Fahrzeugflotte um 32% kleiner als ohne Carsharing.<sup>62</sup>*

**Ridesharing:**

*Annahme: Ridesharing (auch «Sammeltaxis» darunter subsummiert) wird sich im Szenario 3 zusammen mit dem automatisierten Fahren vor allem in den Städten, welche eine hohe Verkehrsdichte aufweisen, etablieren. Aber auch in den intermediären und ländlichen Räumen liegt ein flächendeckendes Angebot vor. Insgesamt führen die unterstellten Annahmen zum Ridesharing zu einer Abnahme der Fahrzeugkilometer um -21%.*

*Weiter wurde unterstellt, dass beim Ridesharing zusätzliche Wartezeiten von 2 Minuten pro Ridesharing-Trip anfallen, was einen leicht dämpfenden Effekt auf die Veränderung der Verkehrsleistung im MIV hat.*

**5.3.2 Veränderungen der Verkehrsleistung mit einer Mobilitäts-Servicewelt****Tischmodell**

*Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate der verkehrlichen Auswirkungen für das Szenario 3 vorgestellt.*

Die Abbildung 5-17 zeigt die verkehrlichen Effekte für die drei Phase-in-Varianten für die beiden Jahre 2040 und 2080. Betrachten wir zuerst das **Jahr 2080** in der mittleren oder schnellen Phase-in-Variante. In diesen beiden Varianten gibt es nur noch automatisierte Fahrzeuge (AV-Bestand =100%) auf den Strassen. Die Zunahme der Personenkilometer im MIV, welcher als privater oder öffentlicher Verkehr abgewickelt werden kann, beträgt +29% gegenüber dem Referenzszenario und ist gleich hoch wie im Szenario 1, da auch im Szenario 3 die gesamten Vorteile des automatisierten Fahrens eingerechnet werden. Anders als im Szenario 1 steigen die Fahrzeugkilometer aufgrund der Leerfahrten nicht mehr bis auf +41%, sondern nehmen aufgrund des Ridesharings nur noch um +11% zu. Die Verkehrsverlagerung vom ÖV auf den

<sup>62</sup> Walker, Johnson (2016) gehen davon aus, dass die jährliche Fahrzeugnachfrage in den USA bereits bis 2035 um 30% tiefer liegt als in der Referenzentwicklung (vgl. Figure 12). Die prognostizierte Nachfrage im Jahr 2035 teilt sich dabei in etwa zu gleichen Teilen auf Fahrzeuge für den MaaS-Einsatz und für den ausschliesslich persönlichen Gebrauch.

MIV ist dieselbe wie im Szenario 1: Die Verkehrsleistung nimmt im ÖV um -18% gegenüber dem Referenzszenario ab.<sup>63</sup>

Die verkehrlichen Auswirkungen des automatisierten Fahrens sind im Jahr **2040** ganz wesentlich von der Phase-in-Variante abhängig. Bei einem langsamen Phase-in von automatisierten Fahrzeugen ergeben sich kaum massgebliche Veränderungen in der Verkehrsleistung gegenüber dem Referenzszenario. Hingegen wären bei einem disruptiven, schnellen Phase-in bereits massive verkehrliche Auswirkungen zu erwarten: Zunahme der Fahrzeugkilometer um +13% gegenüber der Referenzvariante und -9% Abnahme bei den Personenkilometern im ÖV. Auch bei einer mittleren Phase-in-Variante wären unter den getroffenen Annahmen bereits mit grossen verkehrlichen Auswirkungen zu rechnen: Zunahme der Fahrzeugkilometer um +8% gegenüber der Referenzvariante und -5% Abnahme bei den Personenkilometern im ÖV.

**Abbildung 5-17: Verkehrliche Auswirkungen im Szenario 3 «Mobilitäts-Servicewelt» für drei Phase-in-Varianten der AV für die Jahre 2040 und 2080**

Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 3		Jahr 2040		
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen *)	langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)	
AV-Bestand in % des gesamten MIV-Bestandes	3%	25%	47%	
Verkehrsleistungen MIV: Pkm	1%	10%	19%	
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm	1%	8%	13%	
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm	-1%	-5%	-9%	

Verkehrliche Auswirkungen von Szenario 3		Jahr 2080		
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen *)	langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)	
AV-Bestand in % des gesamten MIV-Bestandes	91%	100%	100%	
Verkehrsleistungen MIV: Pkm	27%	29%	29%	
Fahrzeugleistungen MIV: Fzkm	12%	11%	11%	
Verkehrsleistungen ÖV: Pkm	-17%	-18%	-18%	

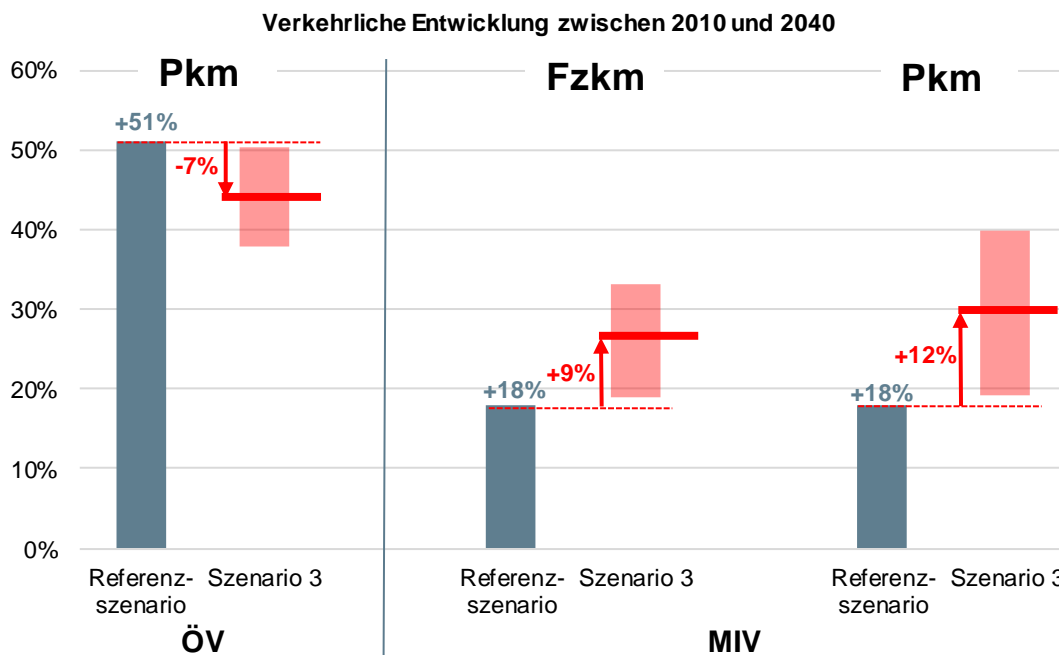
\*) Es wird angenommen, dass sich **Ridesharing** im Szenario 3 durchsetzt und die Fahrzeugkilometer (isoliert betrachtet, also ohne Verkehrsmittelwahländerungen zu berücksichtigen) um maximal **-21%** reduziert werden. Für das Phase-in von Ridesharing wurde dasselbe zeitliche Profil unterstellt wie für die automatisierten Fahrzeuge.

Die Abbildung 5-18 zeigt, welchen Effekt die Einführung automatisierter Fahrzeuge auf die verkehrliche Entwicklung zwischen 2010 und 2040 hätte. Gemäss den aktuellen Verkehrsperspektiven des ARE<sup>64</sup> wächst der ÖV in dieser Phase um +51% und der MIV um +18%.

<sup>63</sup> Es wird hier im Szenario 3 weiterhin von MIV und ÖV gesprochen, damit ein Vergleich mit den anderen Szenarien möglich ist. Im Szenario 3 heben sich aber die Grenzen zwischen öffentlichem und privaten Verkehr auf (siehe Glossar).

<sup>64</sup> Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2016), Verkehrsperspektiven 2040.

**Abbildung 5-18: Auswirkung des Szenarios 3 auf das Verkehrswachstum im Vergleich zum Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040**



In der mittleren Phase-in-Variante würde das Wachstum im ÖV (in Pkm) um -7 Prozentpunkte geringer ausfallen, also zwischen 2010 und 2040 statt mit 51% nur noch mit 44% wachsen. Im Gegenzug würde die Fahrzeugleistung im MIV (in Fzkm) bis 2040 nicht nur um +18%, sondern um zusätzliche +9 Prozentpunkte - also insgesamt um +27% - zunehmen. Die Personenkilometer würden anstelle von +18% um zusätzliche +12% - also insgesamt +30% - zunehmen. Eine Mobilitäts-Servicewelt hat somit das Potenzial, die Verkehrsleistungen bereits im Jahr 2040 zu verändern, auch wenn – wie mit den roten Bandbreiten illustriert – die Bandbreiten der Auswirkungen allein aufgrund der Unsicherheiten zum Phase-in der automatisierten Fahrzeuge sehr gross sind.

Im Vergleich zu Szenario 1 weist Szenario 3 ein tieferes Wachstum der Fzkm im MIV auf. Dies ist damit begründet, dass es in einer Mobilitäts-Servicewelt weniger Leerfahrten als in Szenario 1 gibt und zusätzlich das Ridesharing eine grosse Rolle spielt.



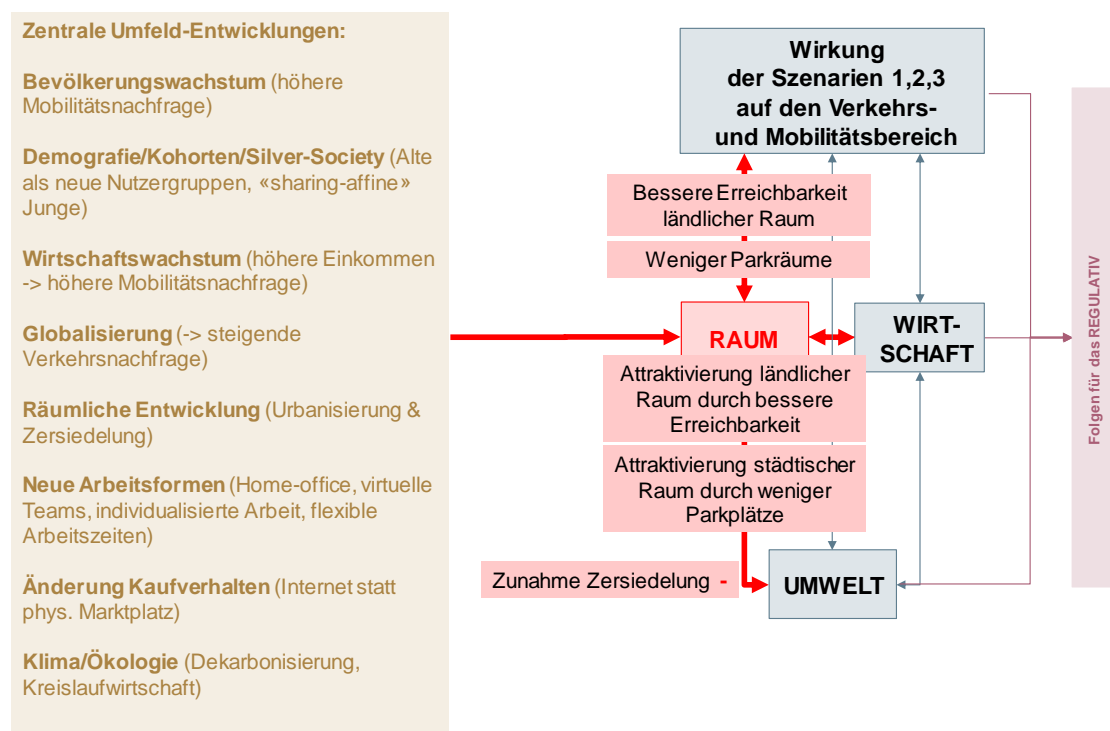
## 6 Personenverkehr - Auswirkungen auf Raum, Wirtschaft, Umwelt

### 6.1 Wirkungen auf den Raum

#### 6.1.1 Wirkungsmodell

Zur Analyse der ökonomischen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf den Raum dient das Wirkungsmodell gemäss Abbildung 6-1. Bei den nachfolgenden qualitativen Ausführungen zu den Wirkungen gehen wir von einem fortgeschrittenen Digitalisierungsstadium aus.

Abbildung 6-1: Wirkungsmodell «RAUM»



Das Wirkungsmodell «RAUM» basiert auf der Literaturanalyse zu den Wirkungsrichtungen der Digitalisierung in der Mobilität (vgl. Kapitel 6.1.2). Dabei haben sich die beiden folgenden, räumlich relevanten Wirkungstypen einer Digitalisierung der Mobilität herauskristallisiert:

- Die Erreichbarkeit des ländlichen Raums wird verbessert
- In den urbanen Räumen nimmt die Anzahl individueller Parkplätze stark ab. Demgegenüber nimmt der Platzbedarf für Umsteigevorgänge zu.

Das Ausmass dieser Wirkungen hängt wesentlich von der Entwicklung der Umfeldfaktoren ab (vgl. Kapitel 2.2).

## 6.1.2 Abzuschätzende Wirkungen

Es sind folgende raumwirksame Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität zu untersuchen:<sup>65</sup>

### a) Wirkung R1: Steigende Attraktivität des ländlichen Raums

Die Attraktivität des ländlichen Raums steigt aus zwei Gründen: Die Erreichbarkeit wird verbessert und es entstehen neue Optionen zur Nutzung der Reisezeit. Die Zeit für das Pendeln kann im Vergleich zu einer Situation ohne automatisiertes Fahren besser genutzt werden. Als Folge sinken die Opportunitätskosten der Reisezeit. Als erste Annäherung könnte unterstellt werden, dass die Bewertung der Reisezeit im MIV sich derjenigen im ÖV annähert (vgl. Ausführungen zur erhöhten Effizienz der Mobilitätszeit im Kapitel 5.1.1a).

#### Literatur:

- Eine Studie der ETH Zürich zeigt, dass das automatisierte Fahren vor allem in ländlichen Räumen zu einer substantiell besseren Erreichbarkeit führt.<sup>66</sup>
- Dank der besser nutzbaren Reisezeiten sinken die Opportunitätskosten von Wohnorten mit grösseren Entfernungen zum nächsten Zentrum. Dies könnte zu einem (unerwünschten) Zersiedlungseffekt führen.<sup>67,68</sup> Existierende Modellberechnungen stützen diese These.<sup>69</sup> Zudem werden die Fahrtzeiten aufgrund der gesteigerten Strassenkapazität (vgl. Ausführungen zu den Angebots-Wirkungen im MIV im Kapitel 5.1.1c) tendenziell eher kürzer, was ländliche Räume ebenfalls attraktiver macht.<sup>70</sup> Dies könnte im Gegenzug zu Bodenpreiserhöhungen in diesen Regionen führen, was wiederum die ländlichen Räume relativ weniger attraktiv macht.<sup>71</sup>

### Methodik zur Erfassung der Wirkung der Attraktivität des ländlichen Raums

Das ökonomische Impact Assessment zeigt auf, wie gross der direkte Nettonutzen (gemäss Kapitel 5) des automatisierten Fahrens bzw. der Mobilitäts-Servicewelt für den ländlichen Raum ist.

Die Resultate aus dem ökonomischen Impact Assessment bilden für die Abschätzung der raumwirksamen Folgeeffekte eine wichtige Grundlage. Eine eigentliche Quantifizierung der raumwirksamen Folgeeffekte könnte in einem späteren Zeitpunkt im Rahmen von Fallstudien oder mit entsprechenden Modellen (bspw. spatial economic models) erfolgen.

<sup>65</sup> Die im Folgenden diskutierten Wirkungstypen sind je nach Szenario von unterschiedlicher Bedeutung, was in der Hauptstudie entsprechend zu berücksichtigen ist. An dieser Stelle beschränken wir uns mehrheitlich darauf, die verschiedenen Wirkungstypen zu beschreiben, ohne sie schon auf die Szenarien 1, 2 und 3 herunterzubrechen.

<sup>66</sup> Meyer et al., (2016), S. A-8.

<sup>67</sup> Anderson et al. (2016), S. 26.

<sup>68</sup> Pinjari et al. (2013), S. 5; Bundesrat (2016), S. 18

<sup>69</sup> Zhang (2017), S.102, Thakur et al. (2016).

<sup>70</sup> Clements/Kockelman (2017), S. 11.

<sup>71</sup> Kim et al. (2015), S. 23.

**Tischmodell**

*Auswirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert.*

**b) Wirkung R2: Sinkender Parkraumbedarf in urbanen Räumen**

Der Parkraumbedarf in urbanen Räumen unterliegt einem grundlegenden Wandel. Bestehende Parkflächen könnten infolge von automatisiertem Fahren anders genutzt werden, da solche Fahrzeuge grundsätzlich weniger stehen (Szenario 3) und sich selber ausserhalb der Stadtkerne parkieren können (Szenario 1 und 3). Das Ausmass dieses Effekts hängt wesentlich davon ab, ob die Autos weiterhin im Privatbesitz verbleiben (Szenario 1) oder ob automatisiertes Fahren mit einem starken Zuwachs von Carsharing kombiniert wird (Szenario 3).

Im Fall von Szenario 1 (mehr Fahrzeugbesitzer dank tieferen generalisierten Kosten und neuer Nutzergruppen) wird sich am Parkraumbedarf am Wohnort nicht viel verändern. An typischen Zielorten (Arbeitsort, Einkaufsmöglichkeiten etc.) könnten durch örtlich gebündelte, automatische Parkier-Systeme zusätzliche Flächen eingespart werden.<sup>72</sup>

Im Fall von Szenario 2 muss abgeschätzt werden, wie sich der vermehrte Gebrauch von Carsharing auf den Parkraumbedarf auswirkt. Dabei sind zwei Effekte zu berücksichtigen. Der Bedarf an privater Parkraumfläche nimmt ab. Demgegenüber nimmt der Bedarf an öffentlicher Parkfläche für die Carsharing-Fahrzeuge zu.

Im Fall von Szenario 3 dürften die Auswirkungen auf die benötigte Parkfläche am stärksten ausfallen. Nach dem Abladen eines Passagiers werden die Fahrzeuge nicht parkiert, sondern nehmen den nächsten Fahrgast auf und fahren weiter. Dadurch sind die Fahrzeuge kontinuierlich in Betrieb, was den Bedarf an Parkflächen drastisch reduziert.<sup>73</sup> In diesem Fall würde die Ausgestaltung der Ein- und Aussteigeflächen sowie von Umsteigeorten zu einem grossen, auch städtebaulichen wichtigen Thema werden. Dies betrifft insbesondere Standorte mit einem hohen Verkehrsaufkommen (verkehrsintensive Einrichtungen wie Einkaufszentren und grosse Freizeitstandorte, Siedlungs- und Arbeitsplatzschwerpunkte) und Standorte mit hohem Volumen an Umsteigevorgängen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln (Mobilitätshubs). Weiter hat Szenario 3 grosse Auswirkungen auf die Planung neuer Siedlungen: Diese kommen praktisch ohne privaten Parkraum aus, brauchen aber mehr Platz für das Ein- und Aussteigen.

**Literatur:**

- *In Düsseldorf existiert ein Parkroboter, dank dem bis zu 60% des Platzbedarfs eingespart werden kann.<sup>74</sup> Die Platzgewinne durch automatisierte Autos können ungefähr in derselben Grössenordnung liegen.*

<sup>72</sup> Heinrichs (2015), S. 230.

<sup>73</sup> Heinrichs (2015), S. 233; Anderson et al. (2016), S. 27.

<sup>74</sup> Deutschland Rundfunk (2018)

**Methodik zur Erfassung der Wirkung der Attraktivität des ländlichen Raums**

Im Rahmen des ökonomischen Impact Assessments werden Annahmen zum Car- und Ride-sharing und damit zur Entwicklung der Fahrzeugflotte getroffen. Mit Hilfe dieser Annahmen können – ganz grob – die Auswirkungen auf die Parkflächen abgeschätzt werden. Weiter wäre allenfalls auch die Verschiebung von privaten Parkflächen zu Parkflächen von Mobilitätsdienstleistern zu diskutieren. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass zusätzliche Flächen für Drop-on-Drop-off-Zonen geschaffen werden müssen.

Für konkretere Berechnungen und Monetarisierung des Nutzens empfehlen wir in einem späteren Zeitpunkt die Durchführung einer Fallstudie für einen ausgewählten urbanen Raum.

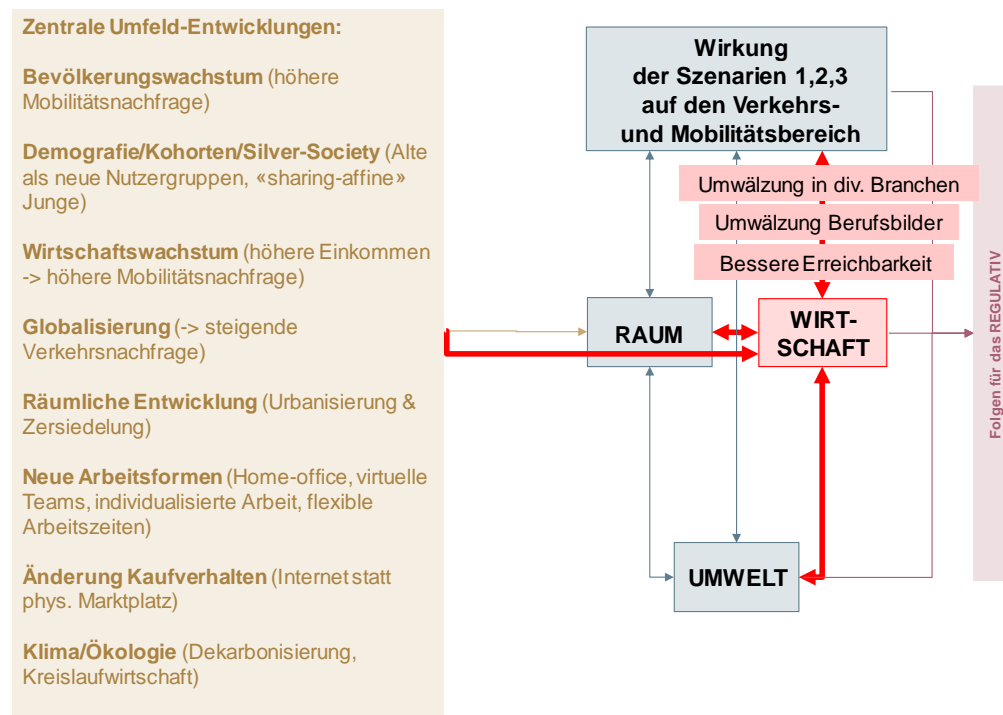
**Tischmodell**

Auswirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert.

**6.2 Wirkungen auf die Wirtschaft****6.2.1 Wirkungsmodell**

Zur Analyse der ökonomischen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Wirtschaft dient das Wirkungsmodell gemäss Abbildung 6-2.

Abbildung 6-2: Wirkungsmodell «WIRTSCHAFT»



Das Wirkungsmodell «WIRTSCHAFT» basiert auf der Literaturanalyse zu den Wirkungsrichtungen der Digitalisierung in der Mobilität. Dabei haben sich die beiden folgenden, wirtschaftlich relevanten Wirkungstypen einer Digitalisierung der Mobilität herauskristallisiert:

- Umwälzung in einzelnen Branchen
- Umwälzung von Berufsbildern
- Umwälzungen infolge besserer Erreichbarkeiten

Das Ausmass dieser Wirkungen hängt wesentlich von der Entwicklung der Umfeldfaktoren ab (vgl. Kapitel 2.2).

### 6.2.2 Abzuschätzende Wirkungen

Es sind folgende Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Wirtschaft zu untersuchen:

#### a) Wirkung W1: Branchenspezifische Auswirkungen

Von der Digitalisierung der Mobilität wird eine Vielzahl von Branchen betroffen sein. Zu nennen sind insbesondere der Mobilitätssektor, die Vorleister für den Mobilitätssektor (bspw. Autozulieferbranche) und die Versicherungsbranche.

##### Literatur:

- *Mobilitätssektor:*
  - *In einer Mobilitäts-Servicewelt (Szenario 3) sind existenzielle Umwälzungen in der Ausgestaltung der Mobilitätsangebote selbst zu erwarten. Neue MaaS-orientierte Geschäftsmodelle werden an Bedeutung gewinnen. Sie könnten beispielsweise das konventionelle Taxigewerbe vollständig ersetzen. Auch die ÖV-Angebote könnten einem grundlegenden Wandel unterworfen sein. So könnten in ländlichen Räumen Ridesharing und selbstfahrende Fahrzeuge die heutigen Bus- und Postautoangebote weitgehend ersetzen.<sup>75</sup>*
  - *Die Automobilindustrie wird sich grundlegend erneuern.<sup>76</sup> Zwar ist unklar, wie sich die Anzahl Fahrzeugverkäufe verändern wird (dies hängt von der Lebensdauer und der jährlichen Fzkm-Leistung der einzelnen Fahrzeuge ab – beides dürfte wesentliche davon abhängen, wie stark sich Car- und Ridesharing durchsetzen). Klar scheint aber, dass die IT-Komponente stark an Bedeutung gewinnen wird. Morgan Stanley geht davon aus, dass die Softwarekosten zukünftig bis zu 40% des Fahrzeugwertes ausmachen wird. Dieser Wert liegt aktuell bei ca. 10%.<sup>77</sup> Auch Kartendienste*

<sup>75</sup> Hier eröffnet sich eine Diskussion über den Anpassungsbedarf des bestehenden Regulativs: Neue Mobilitätsangebote wie Ridesharing werden vom bestehenden Regulativ nicht erfasst. Es ist absehbar, dass sich neue Anbieter auf lukrative Strecken konzentrieren werden, wenn sie ohne finanzielle Abgeltungen durch die öffentliche Hand auskommen müssen. Es stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, wie eine schweizweite Grundversorgung, die sowohl klassische als auch neue ÖV-Angebote integriert, kostengünstig und flächendeckend sichergestellt werden soll.

<sup>76</sup> Clements/Kockelman (2017), S. 3ff.

<sup>77</sup> Jonas et al (2014), S. 30.

*und weitere IT-lastige Anwendungen werden wichtiger.<sup>78</sup> Demgegenüber dürfte die übrige Autzulieferbranche tendenziell an Wertschöpfungsanteilen verlieren.*

- *Das Auto(reparatur)gewerbe dürfte einen tiefgreifenden Wandel erfahren. Im Szenario 3 käme es praktisch nur noch zu B2B-Transaktionen. Der (heute dominante) Privatkunde würde für das Autogewerbe als Kunde dagegen praktisch verschwinden.*
- *Die Versicherungsbranche muss mit einem Umsatzrückgang rechnen, dies in erster Linie aufgrund höherer Sicherheit (resp. der weiter zurückgehenden Anzahl Unfälle).<sup>79</sup> Für die Ausgestaltung der Versicherungsmodelle wird die Klärung noch offener Haftungsfragen bei durch automatisierte Fahrzeuge verursachten Unfällen eine wichtige Rolle spielen. Zudem ist zumindest im Szenario 3 vermehrt mit einem B2B-Modell zu rechnen, was eine entsprechende Neuausrichtung der Versicherungsmodelle bedingt.*

### **Methodik zur Erfassung der branchenspezifischen Auswirkungen**

*Die Annahmen aus dem ökonomischen Impact Assessment bilden eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der branchenspezifischen Auswirkungen. Das Impact Assessment liefert Hinweise zur Entwicklung des Fahrzeugparks bzw. zur Anzahl verkaufte Fahrzeuge, zum Besitz der Fahrzeuge (private oder Mobilitätsserviceanbieter), zur Nachfrage nach Mobilitätsserviceleistungen (Faktorkosten), Verkehrsleistungen usw.*

*Für konkretere Berechnungen und Monetarisierungen könnten bspw. berechenbare Gleichgewichtsmodelle in einem späteren Zeitpunkt eingesetzt werden, um die branchenspezifischen Auswirkungen abzuschätzen. Auch partialanalytische Studien oder Branchenstudien (Umfragen) können gezielt eingesetzt werden.*

### **b) Wirkung W2: Veränderungen in einzelnen Berufsbildern**

Die Marktdurchdringung mit automatisierten Fahrzeugen wird starke Auswirkungen auf mehrere Berufsgruppen haben. Falls keine menschliche Präsenz in den Fahrzeugen mehr nötig ist (dies hängt nicht nur von der Technik, v.a. aber von der Akzeptanz ab) werden viel weniger Chauffeure benötigt – dies sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Im Schienenverkehr werden ebenso weniger Lokführer eingesetzt werden und/oder das Berufsbild des Lokführers wird sich grundlegend verändern.

Im Verkehrs-Polizeiwesen ist von einem rückläufigen Effekt auszugehen, infolge der abnehmenden Anzahl Unfälle und des geringeren Verkehrsregelungsbedarfs vor Ort. Hingegen wird die IT-gestützte Verkehrsüberwachung und -regelung an Bedeutung gewinnen und damit auch der Bedarf an entsprechendem Fachpersonal zunehmen.

Fahrschulen resp. das Berufsbild des Fahrlehrers wird es in den Szenarien 1 und 3 nur noch vereinzelt geben.

<sup>78</sup> Clements/Kockelman (2017), S. 14.

<sup>79</sup> Burns (2013)

*Literatur:*

- *Konkrete Abschätzungen der gefährdeten resp. neu geschaffenen Arbeitsplätze als Folge von automatisierten Fahrzeugen liegen für die Schweiz bisher nicht vor.*
- *Mehrere Studien in den USA haben sich dieser Frage aber angenommen, z. B. eine Studie des U.S. Department of Commerce.<sup>80</sup> Darin zeigt sich, dass in den USA jeder neunte Arbeitsplatz (15.5 Mio. Arbeitsplätze im Jahr 2015) mehr oder weniger stark mit dem Führen eines Fahrzeugs verbunden ist. Dieser Wert mag auf den ersten Blick erstaunlich hoch sein. Es handelt sich dabei aber mit 11.7 Mio. Arbeitsplätzen mehrheitlich um "on the job drivers" (in Branchen wie Bau/Reparatur/Installation, Gesundheit, Entsorgung, Verwaltung). Hier wird das automatisierte Fahren zu einer Änderung der Berufsbilder und weniger zu einem Abbau von Arbeitsplätzen führen. Direkt mit dem Führen von Fahrzeugen für den Güter- oder Personentransport verknüpft sind aber immer noch rund 3.8 Mio. Arbeitsplätze. Diese wären durch voll-automatisierte Fahrzeuge direkt gefährdet und würden weitgehend verschwinden.*

**Methodik zur Erfassung der Veränderungen in einzelnen Berufsbildern**

*Die oben dargelegten Analysen zu den branchenspezifischen Auswirkungen können als Grundlage für eine Abschätzung dienen, wie sich die Beschäftigung in einzelnen Sektoren und Berufen ändert. Die spezifische Veränderung einzelner Berufsbilder könnte bspw. mit Expertenworkshops und/oder Delphi-Umfragen abgeschätzt werden.*

**Tischmodell**

*Auswirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert.*

**c) Wirkung W3: Produktivitätssteigerungen infolge besserer Erreichbarkeiten**

Mit automatisierten Fahrzeugen lässt sich die Fahrzeit besser nutzen. Dadurch sinken die Opportunitätskosten der Reisezeit resp. die (monetarisierbaren) Reisezeitkosten. Dies kommt einer Verbesserung der Erreichbarkeit gleich. Eine solchermassen verbesserte Erreichbarkeit vergrössert den Wirtschaftsraum, was zu zusätzlichen Produktivitätssteigerungen führen kann, dies aus mehreren Gründen:

- **Besserer Abgleich auf dem Arbeitsmarkt:** Die Chance steigt, dass ein Arbeitgeber exakt diejenige Arbeitskraft findet, die am besten für die Stelle geeignet ist. Umgekehrt steigt die Chance, dass eine Arbeitskraft diejenige Stelle findet, in der sie ihr Talent am passendsten einsetzen kann. Letztlich ermöglicht dies eine weitergehende Spezialisierung.
- **Teilen von positiven Externalitäten:** Einerseits steigt die Chance, dass sich Wissen verbreitet, andererseits können Kostenfaktoren wie Ausbildung oder Infrastrukturen günstiger gemeinsam organisiert und Synergien besser genutzt werden.

<sup>80</sup> U.S. Department of Commerce (2017), vgl. auch Miller (2015).

- Kosten für Servicewege sinken, was für Servicedienstleister und deren Kunden neue Optionen eröffnet. Zulieferanten können ihr Einzugsgebiet erhöhen, was zu einem Konzentrationseffekt auf Zuliefererseite und/oder einer weiteren Spezialisierung des Zuliefer-Angebots führen kann.

Die dadurch ausgelösten Effekte manifestieren sich insbesondere in höheren Löhnen der Arbeitnehmenden: Zwar profitieren auch die Unternehmen vom grösseren Arbeitsmarkt, es erwächst ihnen aber gleichzeitig zusätzliche Konkurrenz durch weitere Unternehmen, welche um die ideal passende Arbeitskraft buhlen. Somit sind die Unternehmen gezwungen, den zusätzlichen Nutzen, welcher ihnen durch die Agglomerationseffekte entsteht, über die Löhne zumindest teilweise weiterzugeben.

*Literatur:*

- *Aus ökonomischer Sicht stellt sich die Frage, ob das automatisierte Fahren zu «wider economic impacts» führt, also die Produktivität der Volkswirtschaft infolge besserer Erreichbarkeiten zusätzlich erhöht. Die Erreichbarkeit kann dabei nicht nur aufgrund der geringeren Opportunitätskosten der Reisezeit sondern auch aufgrund einer Abnahme der Staustunden verbessert werden. Der damit verbundene «wider economic impact» lässt sich aber nur schwer quantifizieren.<sup>81</sup>*
- *Agglomerationseffekte wurden erstmals 2015 empirisch für die Schweiz untersucht.<sup>82</sup> Die erhaltenen Resultate zeigen, dass Agglomerationseffekte auch in der Schweiz beobachtbar und quantifizierbar sind. So zeigt sich, dass in der Schweiz eine 100%-Verbesserung der Erreichbarkeit mit dem ÖV (bezüglich der Bevölkerung) zu einer Erhöhung von 1 bis 2% bei den ausbezahlten Löhnen pro Person führt.*

**Methodik zur Erfassung der Produktivitätssteigerungen infolge besserer Erreichbarkeiten**

*Im Rahmen des Impact Assessments werden Annahmen zur Veränderung der generalisierten Kosten im Personenverkehr getroffen. Diese könnten als Grundlage dienen, um die sog. Agglomerationseffekte abzuschätzen. Dabei sind aber aus unserer Sicht einige methodische Fragen noch offen: Es ist insbesondere nicht klar, ob die bestehenden Schätzungen von Agglomerationseffekten für die Schweiz für den vorliegenden Fall angewendet werden dürfen.*

**Tischmodell**

*Auswirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert.*

<sup>81</sup> Für eine zusammenfassende Diskussion und weiterführende Literatur verweisen wir auf Rothengatter (2017).

<sup>82</sup> Axhausen et al. (2015).

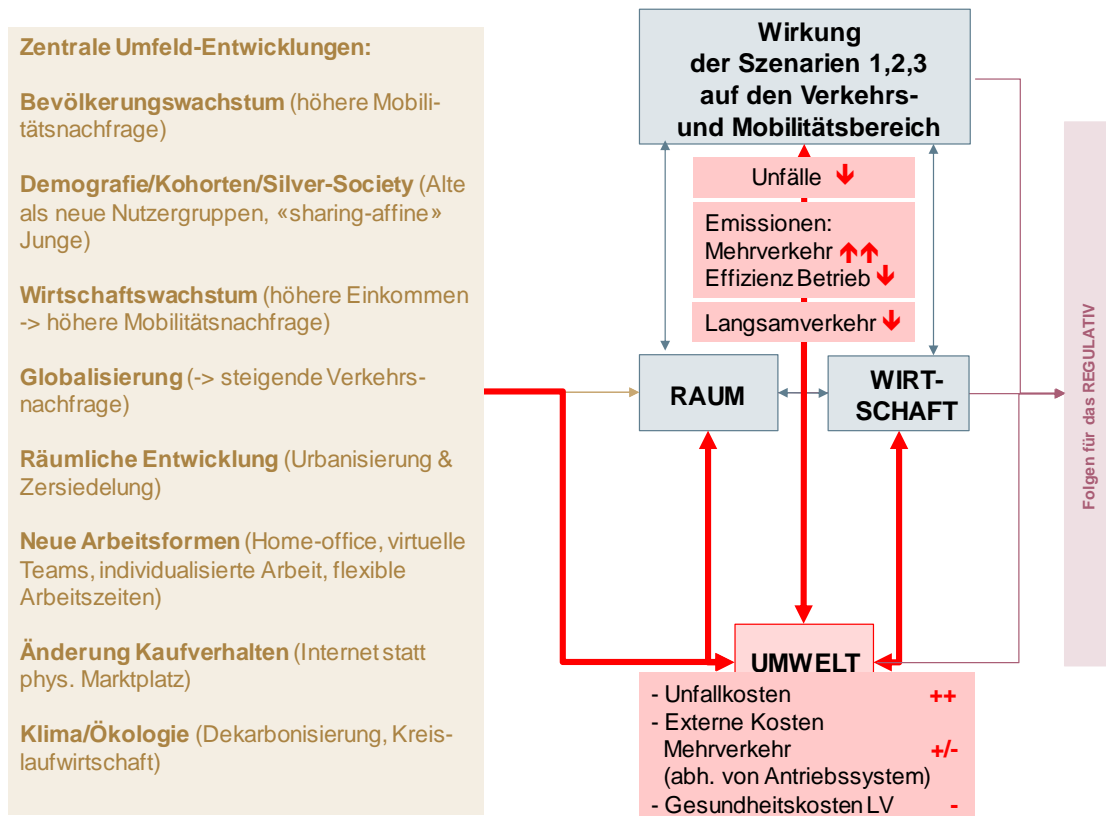


## 6.3 Wirkungen auf die Umwelt / Gesundheit

### 6.3.1 Wirkungsmodell

Zur Analyse der ökonomischen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Umwelt und die Gesundheit dient das Wirkungsmodell gemäss Abbildung 6-3.

Abbildung 6-3: Wirkungsmodell «UMWELT/GESUNDHEIT»



Das Wirkungsmodell «UMWELT/GESUNDHEIT» basiert auf der Literaturanalyse zu den Wirkungsrichtungen der Digitalisierung in der Mobilität. Dabei haben sich die folgenden für Umwelt und Gesundheit relevanten Wirkungstypen einer Digitalisierung der Mobilität herauskristallisiert:

- Reduktion der Anzahl Unfälle
- Effizienterer Betrieb der Fahrzeuge und Veränderungen bei den Luftschadstoff-, Lärmemissionen und Klimaeffekten (restliche externe Kosten):
- Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs: Abnahme bei Ersatz von Fusswegen durch direktere Tür-zu-Tür-Wege

Das Ausmass dieser Wirkungen hängt wiederum wesentlich von der Entwicklung der Umfeldfaktoren ab (vgl. Kapitel 2.2).

### 6.3.2 Abzuschätzende Wirkungen

Es sind folgende Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Umwelt und die Gesundheit zu untersuchen:

#### a) Wirkung U1: Weniger Unfälle

Die Digitalisierung der Mobilität wird zu einer Abnahme der Unfallrisiken führen (vgl. auch Kapitel 5.1.1).

##### Literatur:

- *Übereinstimmend wird davon ausgegangen, dass die Anzahl Unfälle durch automatisiert fahrende Autos reduziert werden kann.<sup>83</sup>*
- *So wird geschätzt, dass ca. 90% aller Unfälle auf menschliche Fehler zurückzuführen sind.<sup>84</sup> Diese könnten mit automatisiertem Fahren weitgehend eliminiert werden.*

#### Unfallkosteneffekt im MIV-Stammverkehr

Die Reduktion der Unfälle aufgrund einer hohen Durchdringung von AV wird als eines der zentralen positiven Argumente zugunsten der AV vorgebracht. Es wird damit gerechnet, dass die Unfälle drastisch reduziert werden können. Allerdings ist zu beachten, dass auch der Einsatz von halb-automatisierten Fahrzeugen und die Fortschritte in der Sicherung der Strassen die Unfallzahlen fallen lassen.

#### **Methodik zur Erfassung des Unfallkosteneffekts**

*Die Folgen des vollautomatisierten Fahrens auf die Unfallfolgen können der Literatur entnommen werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Unfallzahlen auch ohne Vollautomatisierung in Zukunft drastisch sinken werden.*

#### **Tischmodell**

*Annahme: Wir gehen davon aus, dass mit den AV die Unfälle mit entsprechenden Kostenfolgen (Verletzte und Tote) drastisch – um 85% - reduziert werden können. Auch gehen wir davon aus, dass im Referenzfall die Unfälle bzw. deren entsprechenden Kosten bis 2040 jährlich um 2% abnehmen (danach um 0.5%). Dies insbesondere aufgrund der weiteren Verbreitung von unfallvermeidenden Assistenzsystemen.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Es besteht ein breiter Konsens, dass mit AV die meisten der heutigen Unfälle vermieden werden können. Nicht klar ist, wie stark die Unfallzahlen und - folgen ohne Verbreitung von AV fallen würden. Im Tischmodell verzichten wir auf weitere Sensitivitätsanalysen in Bezug auf die Annahmen zu den Unfallkosten.*

<sup>83</sup> Fagnant/Kockelman (2015), S. 3.

<sup>84</sup> Stass (2015), S. 4.

**b) Wirkung U2: Effizienzgewinne beim Fahrzeugbetrieb und Veränderung der Luftschadstoff-, Lärmemissionen und Klimaeffekte**

Bei einem automatisierten Fahrzeugbetrieb sind **Effizienzgewinne beim Fahrzeugbetrieb** aufgrund eines energiesparenden Fahrmodus<sup>85</sup> zu erwarten (gilt für MIV und ÖV). Auch für fossil angetriebene automatisierte Autos ist davon auszugehen, dass ein gewisser Effizienzgewinn erzielt werden kann.<sup>85</sup>

Negativ wird sich die zu erwartende **Zunahme der gefahrenen Fahrzeugkilometer** (beispielsweise durch die wichtiger werdende Kohorte der Rentnerinnen und Rentner) infolge der Attraktivitäts- und Erreichbarkeitsgewinne durch das automatisierte Fahren resp. die zu erwartenden zusätzlichen Mobilitätsangebote (insbesondere in einer Mobilitäts-ServiceWelt gemäss Szenario 3) auswirken.

Positiv wird sich die **Abnahme der gefahrenen Fahrzeugkilometer** aufgrund des **Ridesharings** auswirken.

**Methodik zur Erfassung der Luftschadstoff-, Lärmemissionen und Klimaeffekte**

Ausgehend von den angenommenen Effizienzgewinnen, vom eingesetzten Treibstoff (fossil und Strom) und der Quantifizierung der verkehrlichen Wirkungen (Mehrverkehr aufgrund des automatisierten Fahrens und Minderverkehr aufgrund Ridesharing) der betrachteten Szenarien (vgl. Kapitel 5) könnten die Veränderungen der externen Kosten der Luftschadstoff- und Lärmemissionen im MIV und ÖV bestimmt werden. Es ist ein Energiemengengerüst herzuleiten, welches zumindest zwischen fossilen und Stromverbräuchen unterscheidet. Dabei ist analog den Unfällen zu berücksichtigen, dass die Effizienz der Fahrzeuge auch ohne Automatisierung bzw. auch ohne Elektrifizierung steigen wird. Bei den Berechnungen der externen Kosten sind auch Festlegungen zum langfristigen Strommix notwendig.

**Tischmodell**

Annahme: Im Tischmodell haben wir nur die positiven Effekte im MIV aufgrund des Ridesharings auf die externen Kosten im Bereich Luftschadstoff-, Lärmemissionen und Klima berechnet.

Die restlichen Effekte (z.B. durch den Mehrverkehr im Szenario 1 oder im ÖV) haben wir aus vereinfachenden Gründen nicht berücksichtigt. Auch wurde keine Annahme zum künftig zu erwartenden Rückgang der spezifischen externen Kosten getroffen. Es wurde mit konstanten spezifischen externen Kosten für die Luftschadstoff-, Lärmemissionen und Klima gerechnet, welche Ecoplan, Infrac (2014) entnommen wurden.

<sup>85</sup> Fagnant/Kockelmann (2015), S. 4.

**c) Wirkung U3: Rückgang beim Gesundheitsnutzen durch den Langsamverkehr**

Durch die neuen Mobilitätsangebote in einer Mobilitäts-Servicewelt (Szenario 3) wird es bis zu einem gewissen Grad zu einer Verlagerung von Langsamverkehr auf Tür-zu-Tür-Angebote mit automatisiert fahrenden Fahrzeugen kommen (vgl. dazu Kapitel 5.1.1.). Direktere Tür-zu-Tür-Anbindungen mit selbstparkenden Fahrzeugen führen zu kürzeren Fusswegen, was den Gesundheitsnutzen des Fussverkehrs schmälert. Die Auswirkungen auf die Velowege wurden bisher nicht thematisiert und bleiben vorerst offen.

**Methodik zur Erfassung des Gesundheitsnutzens Fussverkehr**

*Annahme zum spezifischen Gesundheitsnutzen (CHF/km Fussweg) auf Basis der aktuellsten Berechnungen des AREs zu den externen Effekten des Verkehrs. Die Multiplikation des spezifischen Gesundheitsnutzens mit den weniger zurückgelegten Fusswegen (vgl. Kapitel 5.1.1, die Ausführungen zur Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür im MIV-Stammverkehr).*

**Tischmodell**

*Annahme: Der Gesundheitsnutzen des Fussverkehrs wird auf rund 0.2 CHF pro Kilometer geschätzt (entspricht dem aktuellen Wert aus den Berechnungen des ARE zu den externen Effekten des Verkehrs<sup>86</sup>). Die durchschnittliche Zu-Fuss-Tagesdistanz beläuft sich gemäss MZMV 2015 auf 1.92 Kilometer pro Person. Wie oben bereits angenommen, führt die direktere Tür-zu-Tür-Anbindung bei automatisierten Fahrzeugen zu einem Rückgang des Fussverkehrs um 18% oder 0.34 Kilometer pro Tag und Person.*

*Unsicherheit / Bandbreiten: Die Unsicherheit betrifft vor allem das Ausmass der vermiedenen Fusswege (vgl. die vorhergehende Diskussion zu den Tür-zu-Tür-Zeitkostensparnissen).*

---

<sup>86</sup> Ecoplan, Infrac (2014).

## 7 Personenverkehr – Grobe Einordnung der Kosten und Nutzen

### 7.1 Kosten und Nutzen des automatisierten Fahrens (Szenario 1)

#### *Tischmodell*

*Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate zu den volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen im Szenario 1 vorgestellt.*

Bevor wir auf die Kosten und Nutzen im Jahr 2040 eingehen, wollen wir die volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen nach einem mehr oder weniger vollständigen Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen untersuchen. Das können wir anhand der Kosten und Nutzen im Jahr 2080 mit der nachfolgenden Abbildung 7-1 illustrieren. Die Abbildung 7-1 zeigt die zusätzlichen Kosten und Nutzen des Szenarios 1 im Vergleich zu einem Referenzszenario, welches bis 2040 dem Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 entspricht, vgl. Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2016).

Allein das automatisierte Fahren, wie wir es hier im Szenario 1 unterstellt haben, bringt bei einem vollständigen Phase-in, bezogen auf das Jahr 2080 (aber mit Preisen von ca. 2010)<sup>87</sup>, einen **totalen Nettonutzen von 43.5 Milliarden Franken pro Jahr**.

---

<sup>87</sup> Im Tischmodell wurden die Preise (noch) nicht auf ein einheitliches Jahr angepasst.

**Abbildung 7-1: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 1 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2080**

Kosten und Nutzen von Szenario 1	Jahr 2080		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
<b>MIV-Stammverkehr (Ceteris-paribus-Wirkungen)</b>			
<b>Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit</b> (erhöhter Reisekomfort im MIV-Stammverkehr)	21.5	23.7	23.7
<b>Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür</b> (kürzere Zugangswege im MIV-Stammverkehr)	7.3	8.1	8.1
<b>Gesundheitsnutzen Fussverkehr</b> (Wegfallender Gesundheitsnutzen aufgrund direkter Tür-zu-Tür-Anbindung mit AV)	-0.2	-0.3	-0.3
<b>Kosten Leerfahrten</b> (zusätzliche Leerfahrten für "Selbst-Parkierung")	-1.3	-1.4	-1.4
<b>Fahrzeugkosten (Ressourcenkosten)</b> (Mehrkosten der AV-Fahrzeuge i.Vgl. typähnlicher konv. Fahrzeuge)	-1.8	-2.0	-2.0
<b>Unfallkosten</b> (Einsparungen aufgrund weniger Unfälle mit AV-Fahrzeugen)	2.8	3.1	3.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund neuer Nutzergruppen</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	-6.7	-6.7	-6.7
<b>Nutzen des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	12.4	12.4	12.4
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch neue Nutzergruppen)	-0.1	-0.1	-0.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	-1.0	-1.2	-1.2
<b>Nutzen des Neuverkehrs Zielwahländerung</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	1.9	2.1	2.1
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch Zielwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Verkehrsmittelwahländerung</b>			
<b>Nutzen der Verkehrsmittelwahländerung</b> (Modal-Split-Effekt aufgrund attraktiverem Angebot im MIV)	0.8	0.8	0.8
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund MIV-Neuverkehr durch Verkehrsmittelwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0
<b>Erhöhte Kapazität der Strasseninfrastruktur</b>			
<b>Kosten / Nutzen Stauzeitveränderungen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Stauzeiten verändern sich)	1.3	1.3	1.3
<b>Kosten/Nutzen Stauverminderungsinvestitionen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Investitionen in Stauvermeidung verändern sich)	1.9	1.9	1.9
<b>Kosten smarte Infrastruktur</b>	n.b.	n.b.	n.b.
<b>Einsparungen beim ÖV</b>			
<b>Einsparungen beim ÖV</b> (weniger Lok-, Chauffeurpersonal, Einsparungen beim Unterhalt und kleinteiligeres Angebot)	1.8	1.8	1.8
<b>Total</b>	<b>40.5</b>	<b>43.5</b>	<b>43.5</b>

Gehen wir nun anhand der obigen Abbildung 7-1 auf die einzelnen Wirkungen ein und diskutieren diese nach der Bedeutung in Bezug auf die Kosten oder Nutzen. Die folgenden drei Wirkungen zeigen die grössten Kosten bzw. Nutzen:

- Die erhöhte Effizienz in der Mobilitätszeit, also die produktiver nutzbare Zeit im automatisierten Fahrzeug, hat mit 23.7 Mrd. CHF/Jahr den grössten Nettonutzen. Dies entspricht knapp 54% des totalen Nettonutzens.
- Die bessere Tür-zu-Tür-Anbindung trägt 19% oder 8.1 Mrd. CHF/Jahr zum totalen Nettonutzen bei.
- Für die neuen Nutzergruppen (ältere Personen) bringt das automatisierte Fahren einen Nutzen von 12.4 Mrd. CHF/Jahr. Allerdings entstehen den neuen Nutzergruppen auch Kosten im Umfang von 6.7 Mrd. CHF/Jahr. Der Nettonutzen für die neuen Nutzergruppen beträgt 5.7 Mrd. CHF/Jahr oder rund 13% des totalen Nettonutzens.

Weiter weisen auf der Nutzenseite folgende Wirkungen des automatisierten Fahrens einen Nettonutzen von über 1 Mrd. CHF/Jahr auf:

- Automatisiertes Fahren erhöht die Kapazität der Strassen, wofür wir – sehr grob – einen Nutzen von insgesamt 3.2 Mrd. CHF/Jahr schätzen (7% des totalen Nettonutzens). Dieser Nutzen setzt sich zusammen aus veränderten Stauzeiten bzw. Staukosten und Einsparungen bei Strasseninvestitionen zur Vermeidung von Staus (bspw. nicht mehr nötige Engpassbeseitigungen).
- Das automatisierte Fahren bringt drastische Einsparungen bei den Unfallkosten, was insgesamt zu einem Nutzen von rund 3 Mrd. CHF/Jahr führt. Die Unfallkostensparnisse betragen somit rund 7% des totalen Nettonutzens.
- In einer sehr groben Einschätzung zur Grössenordnung der automatisierungsbedingten Einsparungen im ÖV schätzen wir einen Nutzen der Automatisierung von 1.8 Mrd. CHF/Jahr.

Folgende Wirkungen zeigen einen Nettonutzen von knapp unter 1 Mrd. CHF/Jahr:

- Der durch automatisierte Fahrzeuge erzeugte Neuverkehr stiftet einen Nutzen von ungefähr 2.1 Mrd. CHF/Jahr. Die Kosten für die Erbringung dieser Neuverkehrsleistung betragen rund 1.2 Mrd. CHF/Jahr. Der Nettonutzen beläuft sich somit auf 0.9 Mrd. CHF/Jahr.
- Der Nutzen bei der Verkehrsmittelwahländerung schätzen wir auf rund 0.8 Mrd. CHF/Jahr.

Auf der Kostenseite wurden folgende Wirkungen erfasst (Veränderungen bei den externen Kosten haben wir im Tischmodell für das Szenario 1 nicht berücksichtigt. Wir haben aber im Szenario 2 und 3 aufgezeigt, wie die externen Kosten berücksichtigt werden können und von der Grössenordnung her eine untergeordnete Rolle spielen):

- Automatisierte Fahrzeuge werden (vermutlich) teurer sein als konventionelle Fahrzeuge. Insgesamt schätzen wir die Mehrkosten auf 2 Mrd. CHF/Jahr.
- Die zusätzlichen Kosten für die Leerfahrten können wir auf rund 1.4 Mrd. CHF/Jahr beziffern.

- Auf der Kostenseite erscheint auch der abnehmende Gesundheitsnutzen aufgrund der geringeren Fussdistanzen. Allerdings sind diese Nutzenverluste mit 0.3 Mrd. CHF/Jahr im Vergleich mit den anderen Wirkungen sehr gering.

Für das Jahr 2040, welches sich in Bezug auf das automatisierte Fahren mitten in der Transitionsphase befindet, verschieben sich die Gewichte der drei wichtigsten Nettonutzen des automatisierten Fahrens (vgl. Abbildung 7-2, nachfolgend referenzieren wir auf das mittlere Phase-in):

- Die erhöhte Effizienz in der Mobilitätszeit zeigt auch für das Jahr 2040 mit 5.4 Mrd. CHF/Jahr den grössten Nutzen.
- Mit netto 2.4 Mrd. CHF/Jahr (5.1 abzüglich 2.7 Mrd. CHF) ist der Nutzen für die neuen Nutzergruppen im Jahr 2040 bereits relativ hoch. Verantwortlich dafür sind, dass die neuen Nutzergruppen eine – von uns unterstellte – höhere Zahlungsbereitschaft für automatisiertes Fahren haben als der Durchschnitt der Bevölkerung. Dies aufgrund der Tatsache, dass ein Teil dieser Nutzergruppen ohne automatisiertes Fahren keinen, oder nur einen sehr teuren (bspw. Taxis) Zugang zur individuellen motorisierten Mobilität hat. Weiter kann davon ausgegangen werden, dass viele Personen in den neuen Nutzergruppen im Jahr 2040 ein relativ hohes Einkommen haben und damit auch in der Lage sind, für das automatisierte Fahren einen entsprechend hohen Betrag zu bezahlen. Weiter sind wir davon ausgegangen, dass das Phase-in automatisierter Fahrzeuge bei den neuen Nutzergruppen aufgrund der höheren Zahlungsbereitschaft schneller erfolgt als in der restlichen Bevölkerung.
- Die Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür steht mit einem Nutzen von 1.8 Mrd. CHF/Jahr noch vor dem Nutzen tieferer Unfallkosten (0.9 Mrd. CHF/Jahr).

Weiter zu beachten ist, dass im Jahr 2040 noch keine Staukostensparnisse aufgrund der durch automatisiertes Fahren geschaffenen höheren Strassenkapazitäten erzielt werden können. Es ist im Gegenteil – bei unserem hypothetischen Beispiel (vgl. Ausführungen zum Exkurs auf Seite 55) - mit zusätzlichen Staukosten im Umfang von -1.9 Mrd. CHF zu rechnen, da das automatisierte Fahren bereits zu Mehrverkehr führt, aber die kapazitätssteigernde Wirkung aufgrund des noch zu geringen AV-Bestandes noch nicht entfallen kann. Die Folge davon ist die Erhöhung der Stautunden und damit der Staukosten.

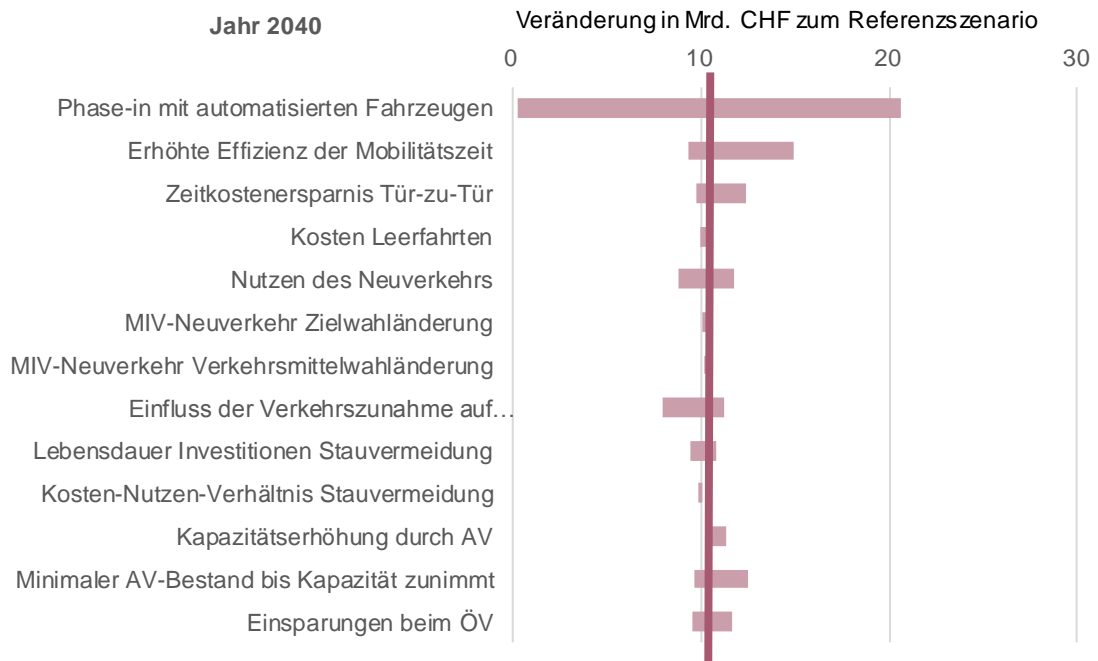
Abbildung 7-3 und Abbildung 7-4 zeigen die Auswirkungen geänderter Annahmen auf den gesamten Nettonutzen für die beiden Jahre 2040 und 2080. Im Jahr 2040 ist die Unsicherheit der Phase-in-Variante in Bezug auf das Resultat – die gesamten Nettonutzen – am grössten. Längerfristig (Jahr 2080) sind dann die Unsicherheit in Bezug auf die Ansätze zur Bewertung der Zeitkostensparnisse durch automatisiertes Fahren am grössten. Grosse Unsicherheiten sind auch bei der Staufunktion (= Veränderung der Stautunden aufgrund des wachsenden Verkehrsaufkommens) den kürzeren Wegzeiten zum Parkplatz und der Nutzenbewertung der neuen Nutzergruppen festzustellen.



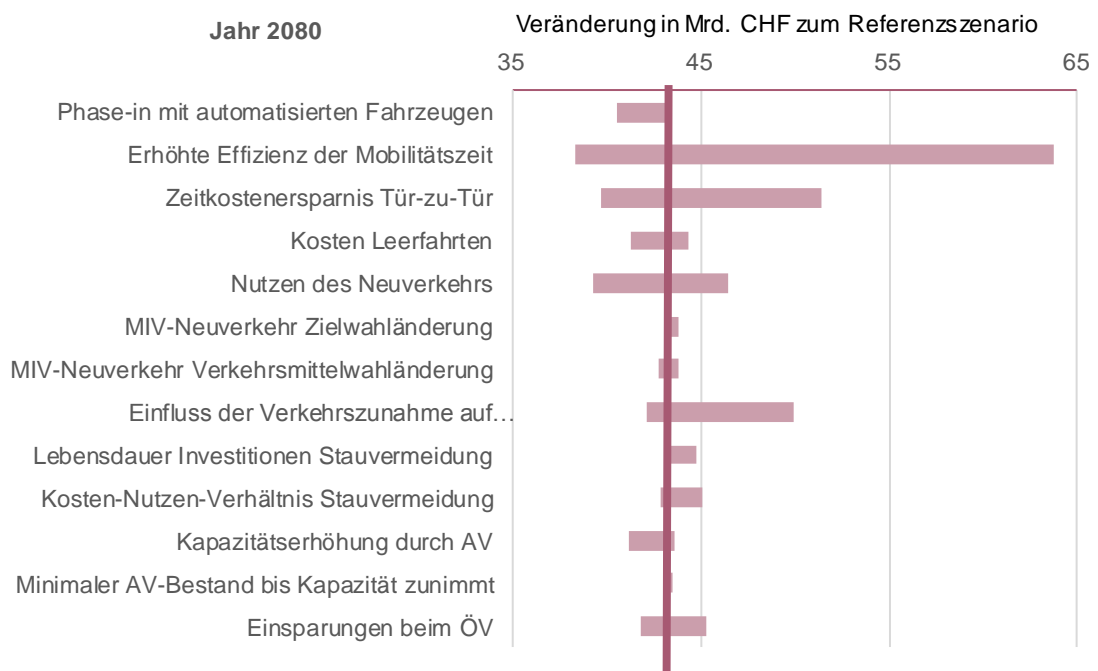
**Abbildung 7-2: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 1 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2040**

Kosten und Nutzen von Szenario 1	Jahr 2040		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
<b>MIV-Stammverkehr (Ceteris-paribus-Wirkungen)</b>			
<b>Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit</b> (erhöhter Reisekomfort im MIV-Stammverkehr)	0.6	5.4	10.0
<b>Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür</b> (kürzere Zugangswege im MIV-Stammverkehr)	0.2	1.8	3.4
<b>Gesundheitsnutzen Fussverkehr</b> (Wegfallender Gesundheitsnutzen aufgrund direkter Tür-zu-Tür-Anbindung mit AV)	-0.0	-0.1	-0.1
<b>Kosten Leerfahrten</b> (zusätzliche Leerfahrten für "Selbst-Parkierung")	-0.0	-0.3	-0.6
<b>Fahrzeugkosten (Ressourcenkosten)</b> (Mehrkosten der AV-Fahrzeuge i.Vgl. typähnlicher konv. Fahrzeuge)	-0.0	-0.5	-0.9
<b>Unfallkosten</b> (Einsparungen aufgrund weniger Unfälle mit AV-Fahrzeugen)	0.1	0.9	1.7
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund neuer Nutzergruppen</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	-0.3	-2.7	-5.1
<b>Nutzen des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	0.6	5.1	9.5
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch neue Nutzergruppen)	-0.0	-0.0	-0.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Zielwähländerung</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwähländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	-0.0	-0.3	-0.5
<b>Nutzen des Neuverkehrs Zielwähländerung</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwähländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	0.1	0.5	0.9
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch Zielwähländerung)	-0.0	-0.0	-0.0
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Verkehrsmittelwähländerung</b>			
<b>Nutzen der Verkehrsmittelwähländerung</b> (Modal-Split-Effekt aufgrund attraktiverem Angebot im MIV)	0.0	0.2	0.4
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund MIV-Neuverkehr durch Verkehrsmittelwähländerung)	-0.0	-0.0	-0.0
<b>Erhöhte Kapazität der Strasseninfrastruktur</b>			
<b>Kosten / Nutzen Stauzeitveränderungen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Stauzeiten verändern sich)	-0.0	-1.9	-1.0
<b>Kosten/Nutzen Stauverminderungsinvestitionen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Investitionen in Stauvermeidung verändern sich)	-1.1	1.5	1.5
<b>Kosten smarte Infrastruktur</b>	n.b.	n.b.	n.b.
<b>Einsparungen beim ÖV</b>			
<b>Einsparungen beim ÖV</b> (weniger Lok-, Chauffeurpersonal, Einsparungen beim Unterhalt und kleinteiligeres Angebot)	0.2	1.1	1.5
<b>Total</b>	<b>0.3</b>	<b>10.6</b>	<b>20.6</b>

**Abbildung 7-3: Bandbreiten der Kosten und Nutzen im Szenario 1 am Beispiel der mittleren Phase-in-Variante: Jahr 2040**



**Abbildung 7-4: Bandbreiten der Kosten und Nutzen im Szenario 1 am Beispiel der mittleren Phase-in-Variante: Jahr 2080**



## 7.2 Kosten und Nutzen von Car- und Ridesharing (Szenario 2)

### Tischmodell

Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate zu den volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen im Szenario 2 vorgestellt.

Der Nettonutzen beträgt im Jahr 2080 rund 3.9 Mrd. CHF/Jahr, wovon der Nutzen aus dem Carsharing alleine 3.5 Mrd. CHF ausmacht. Der Nettonutzen aus dem Ridesharing bleibt bescheiden.

Abbildung 7-5: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 2 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2040

Kosten und Nutzen von Szenario 2	Jahr 2040		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
<b>Car-Sharing</b>			
<b>Fahrzeugkosten (Fixkosten)</b> (weniger Fahrzeuge, Einsparungen bei den Fixkosten)	0.1	0.8	1.5
<b>Ride-Sharing</b>			
<b>Fahrzeugkosten (variable Kosten)</b> (weniger variable Kosten aufgrund höherer Auslastung der Fahrzeuge)	0.0	0.1	0.3
<b>Wartezeiten (Zeitkosten)</b> (zusätzliche Wartezeiten, Stopps, allf. kleinere Umwege usw.)	-0.0	-0.1	-0.1
<b>Externe Kosten</b> (Einsparungen bei den externen Kosten wie Luft, Lärm usw.)	0.0	0.0	0.1
<b>Total</b>	<b>0.1</b>	<b>0.9</b>	<b>1.7</b>

**Abbildung 7-6: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 2 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2080**

Kosten und Nutzen von Szenario 2	Jahr 2080		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
<b>Car-Sharing</b>			
<b>Fahrzeugkosten (Fixkosten)</b> (weniger Fahrzeuge, Einsparungen bei den Fixkosten)	3.2	3.5	3.5
<b>Ride-Sharing</b>			
<b>Fahrzeugkosten (variable Kosten)</b> (weniger variable Kosten aufgrund höherer Auslastung der Fahrzeuge)	0.6	0.6	0.6
<b>Wartezeiten (Zeitkosten)</b> (zusätzliche Wartezeiten, Stopps, allf. kleinere Umwege usw.)	-0.3	-0.3	-0.3
<b>Externe Kosten</b> (Einsparungen bei den externen Kosten wie Luft, Lärm usw.)	0.1	0.1	0.1
<b>Total</b>	<b>3.6</b>	<b>3.9</b>	<b>3.9</b>

### 7.3 Kosten und Nutzen einer Mobilitäts-Servicewelt (Szenario 3)

#### **Tischmodell**

*Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate zu den volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen im Szenario 3 vorgestellt.*

Der Nettonutzen einer Mobilitäts-Servicewelt kann langfristig (2080) und im Total auf bis zu 52.5 Mrd. CHF pro Jahr beziffert werden.

Abbildung 7-7: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 3 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2040

Kosten und Nutzen von Szenario 3	Jahr 2040		
	langsam (Variante 3)	mittel (Variante 2)	schnell (Variante 1)
	[Mrd. CHF]	[Mrd. CHF]	[Mrd. CHF]
<b>MIV-Stammverkehr (Ceteris-paribus-Wirkungen)</b>			
<b>Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit</b> (erhöhter Reisekomfort im MIV-Stammverkehr)	0.6	5.4	10.0
<b>Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür</b> (kürzere Zugangswege im MIV-Stammverkehr)	0.2	1.8	3.4
<b>Gesundheitsnutzen Fussverkehr</b> (Wegfallender Gesundheitsnutzen aufgrund direkter Tür-zu-Tür-Anbindung mit AV)	-0.0	-0.1	-0.1
<b>Kosten Leerfahrten</b> (zusätzliche Leerfahrten für "Selbst-Parkierung" oder Taxileerfahrten)	-0.0	-0.3	-0.5
<b>Fahrzeugkosten (Ressourcenkosten)</b> (Mehrkosten der AV-Fahrzeuge i.Vgl. typähnlicher konv. Fahrzeuge)	-0.0	-0.4	-0.8
<b>Unfallkosten</b> (Einsparungen aufgrund weniger Unfälle mit AV-Fahrzeugen)	0.1	0.9	1.7
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund neuer Nutzergruppen</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	-0.3	-2.6	-4.6
<b>Nutzen des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	0.6	5.1	9.5
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch neue Nutzergruppen)	-0.0	-0.0	-0.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	-0.0	-0.2	-0.4
<b>Nutzen des Neuverkehrs Zielwahländerung</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	0.1	0.5	0.9
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch Zielwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0

...Fortsetzung auf der nächsten Seite...

**Abbildung 7-7: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 3 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2040 (Fortsetzung)**

Kosten und Nutzen von Szenario 3	Jahr 2040		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen			
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Verkehrsmittelwahländerung</b>			
<b>Nutzen der Verkehrsmittelwahländerung</b> (Modal-Split-Effekt aufgrund attraktiverem Angebot im MIV)	0.0	0.2	0.4
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund MIV-Neuverkehr durch Verkehrsmittelwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0
<b>Erhöhte Kapazität der Strasseninfrastruktur</b>			
<b>Kosten / Nutzen Stauzeitveränderungen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Stauzeiten verändern sich)	-0.5	-1.8	-0.4
<b>Kosten/Nutzen Stauverminderungsinvestitionen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Investitionen in Stauvermeidung verändern sich)	1.5	1.5	1.5
<b>Kosten smarte Infrastruktur</b>	n.b.	n.b.	n.b.
<b>Einsparungen beim ÖV</b>			
<b>Einsparungen beim ÖV</b> (weniger Lok-, Chauffeurpersonal, Einsparungen beim Unterhalt und kleinteiligeres Angebot)	0.2	1.1	1.5
<b>Car-Sharing</b>			
<b>Fahrzeugkosten (Fixkosten)</b> (weniger Fahrzeuge, Einsparungen bei den Fixkosten)	0.1	1.0	1.9
<b>Ride-Sharing / Sammeltaxis</b>			
<b>Fahrzeugkosten (variable Kosten)</b> (weniger variable Kosten aufgrund höherer Auslastung der Fahrzeuge)	0.1	0.7	1.3
<b>Wartezeiten (Zeitkosten)</b> (zusätzliche Wartezeiten, Stopps, allf. kleinere Umwege usw.)	-0.0	-0.3	-0.6
<b>Externe Kosten</b> (Einsparungen bei den externen Kosten wie Luft, Lärm usw.)	0.0	0.2	0.3
<b>Total</b>	2.5	12.5	24.7

**Abbildung 7-8: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 3 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2080**

Kosten und Nutzen von Szenario 3	Jahr 2080		
	langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
<b>MIV-Stammverkehr (Ceteris-paribus-Wirkungen)</b>			
<b>Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit</b> (erhöhter Reisekomfort im MIV-Stammverkehr)	10.5	23.7	23.7
<b>Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür</b> (kürzere Zugangswege im MIV-Stammverkehr)	7.3	8.1	8.1
<b>Gesundheitsnutzen Fussverkehr</b> (Wegfallender Gesundheitsnutzen aufgrund direkter Tür-zu-Tür-Anbindung mit AV)	-0.2	-0.3	-0.3
<b>Kosten Leerfahrten</b> (zusätzliche Leerfahrten für "Selbst-Parkierung" oder Taxileerfahrten)	-1.0	-1.1	-1.1
<b>Fahrzeugkosten (Ressourcenkosten)</b> (Mehrkosten der AV-Fahrzeuge i.Vgl. typähnlicher konv. Fahrzeuge)	-1.5	-1.6	-1.6
<b>Unfallkosten</b> (Einsparungen aufgrund weniger Unfälle mit AV-Fahrzeugen)	2.8	3.1	3.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund neuer Nutzergruppen</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	-5.4	-5.3	-5.3
<b>Nutzen des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund des Zugangs zu AV der älteren Bevölkerung)	12.4	12.4	12.4
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch neue Nutzergruppen)	-0.1	-0.1	-0.1
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung</b>			
<b>Fahrzeugkosten des Neuverkehrs</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	-0.8	-0.9	-0.9
<b>Nutzen des Neuverkehrs Zielwahländerung</b> (Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung, v.a. im Freizeitverkehr)	1.9	2.1	2.1
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund des MIV-Neuverkehrs durch Zielwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0

...Fortsetzung auf der nächsten Seite...

**Abbildung 7-8: Zusätzliche Kosten und Nutzen im Szenario 3 im Vergleich zum Referenzszenario für drei Phase-in-Varianten: Jahr 2080 (Fortsetzung)**

Kosten und Nutzen von Szenario 3		Jahr 2080		
		langsam (Variante 3) [Mrd. CHF]	mittel (Variante 2) [Mrd. CHF]	schnell (Variante 1) [Mrd. CHF]
Phase-In von automatisierten Fahrzeugen				
<b>MIV-Neuverkehr aufgrund Verkehrsmittelwahländerung</b>				
<b>Nutzen der Verkehrsmittelwahländerung</b> (Modal-Split-Effekt aufgrund attraktiverem Angebot im MIV)	0.8	0.8	0.8	
<b>Unfallkosten</b> (Zusätzliche Unfallkosten aufgrund MIV-Neuverkehr durch Verkehrsmittelwahländerung)	-0.0	-0.0	-0.0	
<b>Erhöhte Kapazität der Strasseninfrastruktur</b>				
<b>Kosten / Nutzen Stauzeitveränderungen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Stauzeiten verändern sich)	1.3	1.3	1.3	
<b>Kosten/Nutzen Stauverminderungsinvestitionen</b> (AV bringt mehr Verkehr, höhere Kapazitäten -> Investitionen in Stauvermeidung verändern sich)	1.9	1.9	1.9	
<b>Kosten smarte Infrastruktur</b>	n.b.	n.b.	n.b.	
<b>Einsparungen beim ÖV</b>				
<b>Einsparungen beim ÖV</b> (weniger Lok-, Chauffeurpersonal, Einsparungen beim Unterhalt und kleinteiligeres Angebot)	1.8	1.8	1.8	
<b>Car-Sharing</b>				
<b>Fahrzeugkosten (Fixkosten)</b> (weniger Fahrzeuge, Einsparungen bei den Fixkosten)	4.2	4.6	4.6	
<b>Ride-Sharing / Sammeltaxis</b>				
<b>Fahrzeugkosten (variable Kosten)</b> (weniger variable Kosten aufgrund höherer Auslastung der Fahrzeuge)	2.7	3.0	3.0	
<b>Wartezeiten (Zeitkosten)</b> (zusätzliche Wartezeiten, Stopps, allf. kleinere Umwege usw.)	-1.3	-1.5	-1.5	
<b>Externe Kosten</b> (Einsparungen bei den externen Kosten wie Luft, Lärm usw.)	0.4	0.4	0.4	
<b>Total</b>	37.6	52.5	52.5	



## 7.4 Szenarienvergleich

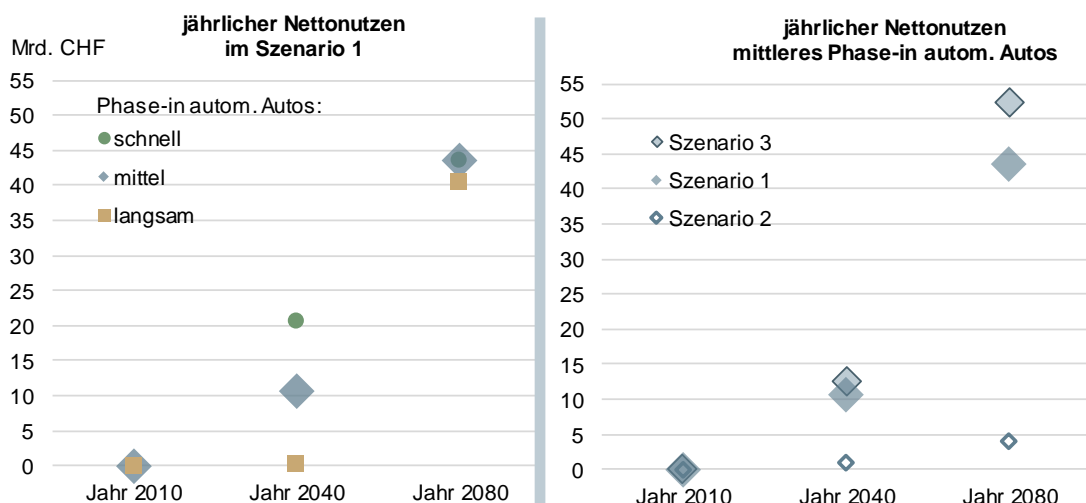
### Tischmodell

Nachfolgend werden die Tischmodell-Resultate zu den volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen in den Szenarien 1 bis 3 und für die drei Phase-in-Varianten vorgestellt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt auf der linken Seite die jährlichen Nettonutzen für die drei Phase-in-Varianten für die Jahre 2040 und 2080 am Beispiel des Szenarios 1, bei dem sich das automatisierte Fahren durchsetzt, aber sich keine Mobilitäts-Servicewelt entwickelt. Die heutigen konventionellen Autos werden also durch automatisierte Fahrzeuge ersetzt. Längerfristig – bis 2080 – zeigt sich auch bei einem langsamen Phase-in ein Nettonutzen aufgrund des automatisierten Fahrens von rund 43 Mrd. CHF/Jahr. Das Jahr 2040 liegt in der Transitionsphase. Der Nettonutzen für das Jahr 2040 wird daher massgeblich durch die Schnelligkeit, mit welcher sich die automatisierten Fahrzeuge durchsetzen geprägt. Bei einem schnellen Phase-in können bereits im Jahr 2040 Nettonutzen von über 20 Mrd. CHF/Jahr erzielt werden.

Die Grafik auf der rechten Seite zeigt die Entwicklung in den drei Szenarien. Es zeigt sich sehr deutlich, dass schon allein das automatisierte Fahren (Szenario 1) einen sehr hohen Nettonutzen von 43 Mrd. CHF/Jahr bringt. Der zusätzliche Nutzen durch die Mobilitäts-Servicewelt (Differenz zwischen Szenario 1 und 3) ist aber mit rund 10 Mrd. CHF/Jahr ebenfalls sehr hoch – der Nettonutzen beträgt längerfristig (Jahr 2080) somit rund 53 Mrd. CHF/Jahr. Dieser Nettonutzen von 53 Mrd. CHF im Jahr 2080 ist 100 Mal grösser als der jährliche Nutzen der NEAT ohne Berücksichtigung der Investitionskosten.<sup>88</sup>

Abbildung 7-9: Jährlicher Nettonutzen: Vergleich der Phase-in-Varianten und der Szenarien



<sup>88</sup> Ecoplan, Infrac (2011), Wirtschaftlichkeitsstudie NEAT 2010.

## 8 Güterverkehr

### 8.1 Ausgangslage

#### 8.1.1 Szenarien und Umfeldfaktoren

Wie schon beim Personenverkehr soll auch für den Güterverkehr versucht werden, einfache Szenarien zu definieren, die als Grundlage für das ökonomische Impact Assessment dienen. Auch im Güterverkehr sehen wir dabei zwei Achsen, auf welchen sich die Auswirkungen der Digitalisierung im «Kern» erfassen lassen:

- **Technologie – Durchdringung mit «automatisierten Betriebsprozessen»**  
Automatisierte Betriebsprozesse betreffen nicht alleine das automatisierte Fahren, sei es von LKW oder Lieferwagen, sei es von Lokomotiven, sei es im Rahmen technologisch vollständig neuer Lösungen wie Cargo sous terrain oder Drohnen. Die Automatisierung betrifft auch die Logistikprozesse (Verladen, Lagern, Disponieren).
- **Verhalten – Sharing im Güterverkehr**  
Sharing kann durchaus auch ein Teil innovativer Logistikdienstleistungen sein. Zu nennen sind insbesondere Lösungen für eine «gemeinsame» letzte Meile in der City-Logistik, insbesondere die Ausgestaltung neuer Angebote bei den Zulieferdiensten. Sharing könnte aber auch bei LKW-Transporten (Stichwort UBER-Trucks) eine weiter steigende Rolle haben.

Wie schon beim Personenverkehr haben diese beiden Haupttreiber einen direkten Konnex auf die ökonomischen Wirkungsmechanismen:

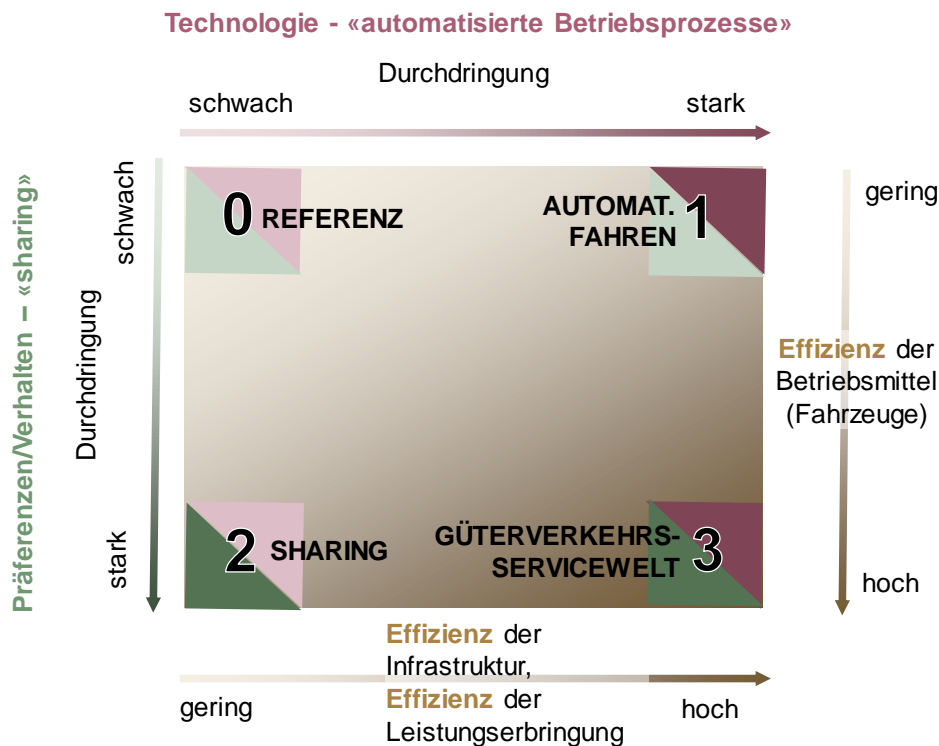
- Das «automatisierte Fahren» erhöht die **Effizienz der Infrastruktur** und **reduziert die Kosten des Transports** infolge des Wegfalls des Chauffeurs oder Lokführers
- Das «Sharing» erhöht die **Effizienz der Betriebsmittel** (sinkende Flottengrösse resp. bessere Auslastung der einzelnen Fahrzeuge).

Entsprechend zeigt die Abbildung 8-1 wiederum drei Szenarien im Vergleich zum Referenzszenario (wobei wir für das Referenzszenario vom Referenzszenario gemäss «Verkehrsperspektiven 2040» des ARE ausgehen):

- Szenario 1 «automatisierte Betriebsprozesse»: Im Vordergrund steht der Ersatz von Lokführern und Chauffeuren durch fahrerlose Fahrzeuge. Darüber hinaus werden als Folge des fahrerlosen Fahrens auch weitere Betriebsprozesse (Ver-, Um- und Entladen) zunehmend automatisiert.
- Szenario 2 «Sharing»: Dieses Szenario dürfte im Güterverkehr von geringerer Bedeutung sein als im Personenverkehr. Der Hauptgrund ist, dass davon ausgegangen werden kann, dass schon im Referenzfall wesentliche, durch Sharing zu erreichende Effizienzsteigerungspotenziale realisiert werden dürften.

- Szenario 3 «Güterverkehrs-Servicewelt»: In diesem Szenario ist davon auszugehen, dass neue Angebotsmodelle mit neuen oder schon existierenden Akteuren den Güterverkehr spürbar verändern werden.

**Abbildung 8-1: Die drei Szenarien der Güterverkehrszukunft mit Bezug auf die Haupttreiber der Digitalisierung im Güterverkehr**



Auch im Güterverkehr beeinflussen **Umfeldfaktoren** die zukünftige Entwicklung der Nachfrage (räumlich, nach Gütergruppen) und damit die Rahmenbedingungen zur Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung im Güterverkehr. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um dieselben Faktoren wie sie schon für den Personenverkehr erläutert wurden (vgl. Kapitel 2.2).

### 8.1.2 Schwerpunktsetzung in den Expertenworkshops

In den Expertenworkshops wurden die verschiedenen Haupttreiber der ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung im Güterverkehr diskutiert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Güterverkehr und Personenverkehr können getrennt analysiert werden. Eine Ausnahme könnte in Zukunft die Feinverteilung in urbanen Räumen darstellen. Hier könnten Personen- und Güterverkehrsdienstleistungen im Rahmen von Sharing- und Rideselling-Angeboten kombiniert werden.

- Haupttreiber im Güterverkehr sind automatisierte Betriebsprozesse; «Sharing» dürfte für die Schweiz mit der (wichtigen) Ausnahme der Güterfeinverteilung im urbanen Raum keine bedeutende Rolle haben.
- Die hohe Wettbewerbsintensität in der Logistikbranche führt dazu, dass Kostensenkungspotenziale schon im Referenzfall konsequent ausgenutzt werden. Von daher sind disruptive Effekte (z. B. durch Sharing) im Vergleich zum Personenverkehr in geringerem Ausmass zu erwarten. Entsprechend werden neue Technologien (Cargo sous terrain, automatisierte LKW) dann implementiert, wenn sie rentieren.
- Wichtig ist im Güterverkehr, dass die Auswirkungen der Digitalisierung differenziert nach Warengruppen und Distanzkategorien untersucht werden.
- Die Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Güterverkehrsmodi wird wesentlich durch das bestehende Regulativ geprägt. Wenn das Regulativ im Zuge der Digitalisierung grundlegend angepasst wird, könnte dies zu starken Verkehrsmittelwahleffekten führen. Hierzu ein Beispiel: Es wäre denkbar, für Elektro-LKWs das Nachtfahrverbot zu lockern, da Elektro-LKWs geringere Lärm- und praktisch keine Luftschadstoffemissionen verursachen. Eine solche Massnahme würde nicht nur völlig neue Potenziale erschliessen, sie würde auch zu einer besseren Kapazitätsausnutzung der bestehenden Strasseninfrastruktur führen. Gleichzeitig hätte sie aber auch einen weiteren Verlust der Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs zur Folge. Insgesamt wäre mit grundlegenden Anpassungen der Logistik-Konzepte zu rechnen.

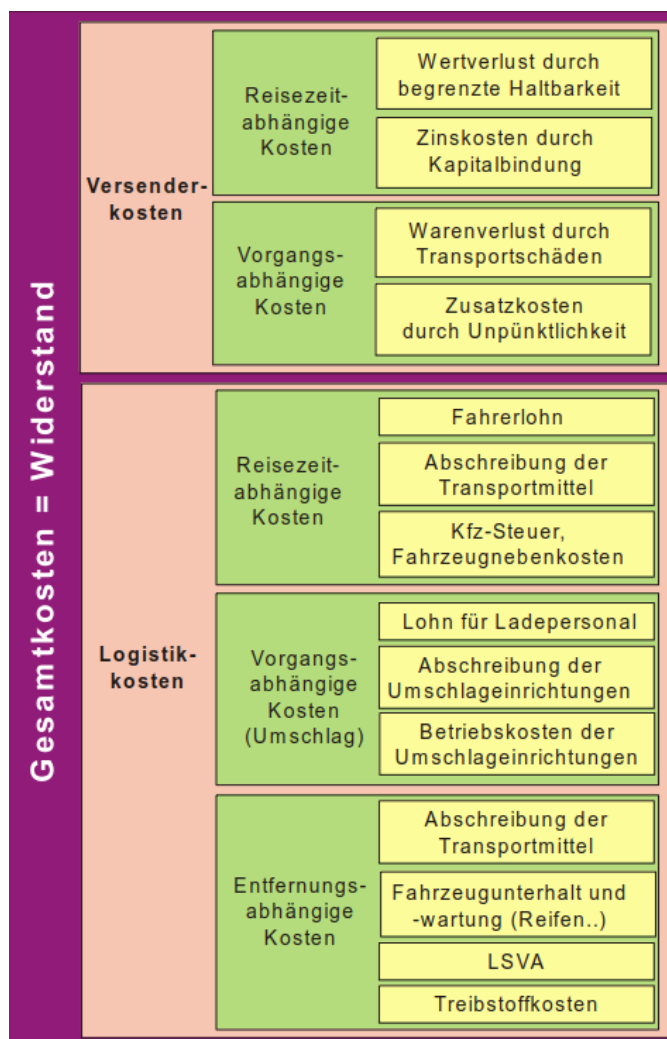
## 8.2 Grundüberlegungen

Die Nachfrage im Güterverkehr wird sich weitgehend unabhängig von der Digitalisierung in der Dienstleistung Güterverkehr selber entwickeln. Weiterhin werden die Wirtschaftskraft und das Wirtschaftswachstum die Nachfrage und damit das Aufkommen im Güterverkehr bestimmen. Wichtige Treiber für die Güterverkehrsnachfrage sind damit neben den schon in Kapitel 2.2 erwähnten Umfeldfaktoren auch die Entwicklung

- der Arbeitsteiligkeit der Produktionsprozesse
- die 'Kleinteiligkeit' der produzierten Mengen
- die Durchdringung mit neuen Produktionstechnologien wie 3D-Drucker
- der Bedeutung des Online- vs. des standortgebundenen Detailhandels
- der Kosten für die Verkehrsinfrastruktur-Nutzung.

Um den Einfluss automatisierter Betriebsprozesse auf die Kosten des Güterverkehrs abzuschätzen, ist es nützlich, zwischen den verschiedenen Kostenkomponenten des Güterverkehrs zu unterscheiden. Bei den in Abbildung 8-2 dargestellten Kostenkomponenten erwarten wir insbesondere bei folgenden Komponenten ein Kostensenkungspotenzial infolge automatisierter Produktionsprozesse:

- Reisezeitabhängige Kosten: Der Lohn für das Fahren kann wegfallen oder zumindest sinken, da der Fahrer während der Fahrt andere Arbeiten erledigen kann.
- Umschlagskosten: Automatisierte Umschlagsvorgänge reduzieren Personalkosten und Kapital- und Betriebskosten für die Umschlagseinrichtungen
- Gesunkene Unfallrisiken und bessere zeitliche Planbarkeit reduzieren das Risiko von Transportschäden und das Verspätungsrisiko.

Abbildung 8-2: **Kostenkomponenten des Güterverkehrs** <sup>89</sup>

Die potenziellen Effizienzgewinne dürften je nach Warengruppe und Gütertransportdistanz unterschiedlich ausfallen. Hierzu lohnt sich ein Blick auf die Gütertransportstatistik: Abbildung 8-3

<sup>89</sup> Quelle: Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2011), Nationales Güterverkehrsmodell des UVEK, Basismodell 2005: Modellbeschreibung und Validierung, S. 50.

zeigt für den Strassengüterverkehr, dass knapp 80% des Aufkommens auf fünf Warenarten entfällt, nämlich

- Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd, Forstwirtschaft und Fischerei
- Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse
- Nahrungs- und Genussmittel
- Sonstige Mineralerzeugnisse (verarbeitete Baustoffe, Glas, etc.)
- Sekundärrohstoffe; Abfälle

**Abbildung 8-3: Güterverkehrsaufkommen auf dem schweizerischen Strassennetz nach Warenarten in t und in tkm**

Inländische schwere Fahrzeuge 2016 Warenart (NST 2007)	Transportgut		Transportleistung	
	in 1000 t	in %	in 1000 tkm	in %
01 - Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd, Forstwirtschaft und Fischerei	22'461	7.9%	1'270'134	11.9%
02 - Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	1'182	0.4%	37'083	0.3%
03 - Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	93'357	33.0%	1'837'044	17.2%
04 - Nahrungs- und Genussmittel	31'787	11.2%	2'062'621	19.3%
05 - Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	864	0.3%	47'713	0.4%
06 - Holz sowie Holzwaren (ohne Möbel); Papier; Druckerzeugnisse	4'392	1.6%	290'800	2.7%
07 - Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	9'638	3.4%	410'933	3.8%
08 - Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren	4'855	1.7%	383'302	3.6%
09 - Sonstige Mineralerzeugnisse (verarbeitete Baustoffe, Glas, etc.)	42'922	15.2%	949'010	8.9%
10 - Metalle, Metallerzeugnisse (ohne Maschinen und Geräte)	6'048	2.1%	393'961	3.7%
11 - Maschinen und Ausrüstungen, elektronische Geräte	1'469	0.5%	84'824	0.8%
12 - Fahrzeuge	514	0.2%	19'479	0.2%
13 - Möbel; sonstige Erzeugnisse	2'149	0.8%	177'438	1.7%
14 - Sekundärrohstoffe; Abfälle	31'540	11.2%	882'915	8.3%
15 - Post, Pakete	2'289	0.8%	119'246	1.1%
16 - Geräte und Material für die Güterbeförderung	8'634	3.1%	369'587	3.5%
17 - Nichtmarktbestimmte Güter (Fahrzeuge zur Reparatur, Umzugsgut, etc.)	6'397	2.3%	263'512	2.5%
18 - Sammelgut	9'454	3.3%	960'965	9.0%
19 - Nicht identifizierbare Güter (z.B. Waren in Containern)	1'065	0.4%	64'458	0.6%
20 - Sonstige Güter	1'737	0.6%	55'484	0.5%
<b>Total</b>	<b>282'755</b>		<b>10'680'509</b>	

Quelle: BFS - Gütertransportstatistik (GTS)

#### Kommentar:

- Insgesamt entfallen fast 50% der transportierten Mengen (gemessen in t) auf die Baubranche (im weitesten Sinn), also auf «Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse» und «Sonstige Mineralerzeugnisse (verarbeitete Baustoffe, Glas, etc.)». Bei diesen Warenarten dürften die Potenziale für Produktivitätsgewinne eher gering sein, insbesondere weil

sie unterdurchschnittliche Transportdistanzen aufweisen und die Digitalisierung die bei diesen Warenarten erforderliche Logistik wenig beeinflussen dürfte.

- Demgegenüber dürfte die Digitalisierung eher bei Warenarten mit überdurchschnittlichen Transportdistanzen (also bspw. aufgrund von wegfallenden Ruhezeiten) Potenziale für Produktivitätsgewinne mit sich bringen. Abbildung 8-3 zeigt, dass diesbezüglich vor allem Nahrungs- und Genussmittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse und Sammelgut zu nennen sind.

Zum Vergleich zeigt Abbildung 8-4 die Struktur des Güterverkehrs auf dem schweizerischen Schienennetz. Im Schienengüterverkehr dominiert sowohl bezüglich der transportierten Mengen (fast 50%) als auch bezüglich der Transportleistung (65%) der Transitverkehr. Im Binnenverkehr werden gut 22 Mio. Tonnen auf der Schiene transportiert, was nicht mehr als gut 8% der im nationalen Verkehr auf der Strasse transportierten Gütermenge entspricht.

Bei den einzelnen Güterarten dominieren die «nicht identifizierbaren Güter» – es sind dies Transporte in Containern, insbesondere im internationalen unbegleiteten kombinierten Verkehr.

**Abbildung 8-4: Güterverkehrsaufkommen auf dem schweizerischen Schienennetz nach Warenarten in t und in tkm**

Verkehrsaufkommen Schienengüterverkehr 2016	Transportgut		Transportleistung	
	in 1000 t	in %	in 1000 tkm	in %
Warenart (NST 2007)				
01 - Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd, Forstwirtschaft und Fischerei	1'959	3.2%	274'900	2.4%
02 - Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	62	0.1%	8'700	0.1%
03 - Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	5'099	8.3%	725'100	6.2%
04 - Nahrungs- und Genussmittel	2'137	3.5%	282'400	2.4%
05 - Textilien und Bekleidung; Leder und Lederwaren	15	0.0%	3'400	0.0%
06 - Holz sowie Holzwaren (ohne Möbel); Papier; Druckerzeugnisse	1'501	2.5%	331'300	2.8%
07 - Kokereierzeugnisse und Mineralölerzeugnisse	6'725	11.0%	872'200	7.5%
08 - Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren	2'720	4.4%	445'200	3.8%
09 - Sonstige Mineralerzeugnisse (verarbeitete Baustoffe, Glas, etc.)	2'138	3.5%	279'800	2.4%
10 - Metalle, Metallerzeugnisse (ohne Maschinen und Geräte)	3'825	6.3%	878'300	7.5%
11 - Maschinen und Ausrüstungen, elektronische Geräte	38	0.1%	5'200	0.0%
12 - Fahrzeuge	1'467	2.4%	206'000	1.8%
13 - Möbel; sonstige Erzeugnisse	26	0.0%	7'100	0.1%
14 - Sekundärrohstoffe; Abfälle	1'433	2.3%	186'500	1.6%
15 - Post, Pakete	2'771	4.5%	360'400	3.1%
16 - Geräte und Material für die Güterbeförderung	614	1.0%	79'600	0.7%
17 - Nichtmarktbestimmte Güter (Fahrzeuge zur Reparatur, Umzugsgut, etc.)	0.00	0.0%	-	0.0%
18 - Sammelgut	1'201	2.0%	207'400	1.8%
19 - Nicht identifizierbare Güter (z.B. Waren in Containern)	27'390	44.8%	6'495'200	55.7%
20 - Sonstige Güter	29	0.0%	1'900	0.0%
<b>Total</b>	<b>61'150</b>		<b>11'650'600</b>	
Davon Binnenverkehr	22'497	36.8%	2'903'100	24.9%
Davon Import- / Exportverkehr	9'793	16.0%	1'220'900	10.5%
Davon Transitverkehr	28'858	47.2%	7'526'300	64.6%

Quelle: BFS – Statistik des öffentlichen Verkehrs (OeV)

**Kommentar:**

- Der Marktanteil der Schiene am gesamten Güterverkehrsaufkommen entspricht bezogen auf die transportierten Tonnen nur 18%, bezogen auf die Transportleistung in tkm sind es dagegen 52%. Dieses Ergebnis widerspiegelt die überdurchschnittliche Transportdistanz im Schienengüterverkehr, insbesondere der sehr hohe Anteil im Transitverkehr.
- Die Digitalisierung dürfte (ohne Änderungen der bestehenden Regulierung, also insbesondere des Nachtfahrverbots und der LSVa) an dieser Struktur wenig ändern. Der Schienengüterverkehr dürfte beim (alpenquerenden) Transitverkehr seine starke Wettbewerbsposition behalten. Der UKV über lange Distanzen und Ganzzüge (z. B. für Mineralöltransporte) werden weiterhin konkurrenzfähig bleiben, dies umso mehr, als dass die Digitalisierung auch bei der Schiene zu Produktivitätssteigerungen führen wird.
- Hingegen ist es durchaus denkbar und entsprechend vertieft zu überprüfen, dass im Binnengüterverkehr die Schiene infolge der Digitalisierung – insbesondere durch vollautomatisierte LKW – weitere Marktanteile verliert.

### 8.3 Hypothesen und abzuschätzende Wirkungen einer Digitalisierung im Güterverkehr

Insgesamt lassen sich als Grundlage für vertiefende Abklärungen folgende Hypothesen zu den ökonomischen Auswirkungen einer Digitalisierung im Güterverkehr aufstellen:

**G1: Die Wirkungen der Digitalisierung auf das Gesamtaufkommen im Güterverkehr sind vergleichsweise gering.** Die zentralen Treiber der Güterverkehrsnachfrage bleiben die Ausgestaltung der Produktionsprozesse, Wirtschaftskraft und -wachstum und das Konsumverhalten.

**G2: Automatisierte Betriebsprozesse verbessern die Effizienz der Infrastrukturnutzung und die Effizienz der Leistungserbringung,** indem sie

- die verfügbare Strasseninfrastrukturkapazität wegen geringerem Platzbedarf und gleichmässigerer Geschwindigkeit erhöhen (gilt insbesondere für Autobahnen), resp. bei der Schieneninfrastruktur die Zugfolgezeiten reduzieren;
- Lenk- und Ruhezeitüberschreitungen obsolet werden lassen (und damit effizientere Tourenplanungen zulassen);
- zu einer energiesparenderen Fahrweise beitragen;
- die Zuverlässigkeit erhöhen;
- zu sinkenden Unfallraten führen.

**G3: Der Einfluss der Digitalisierung auf die Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Güterverkehrsmodi ist nicht eindeutig**

- Die Kostensenkungspotenziale automatisierter Betriebsprozesse sind bei den Fahrerkosten im Strassengüterverkehr höher als im Schienengüterverkehr. Dies dürfte insbesondere im Binnengüterverkehr tendenziell zulasten des Schienengüterverkehrs gehen.



- Was die Automatisierungseffekte bei den übrigen betrieblichen Prozessen betrifft (z. B. Lade- und Entladevorgänge, Transportkosten), müssen die potenziellen Produktivitätsgewinne im Strassen- und Schienengüterverkehr vertieft untersucht werden.
- Anpassungen bei der bestehenden Regulierung infolge der Automatisierung können die Wettbewerbsfähigkeit von Strassen- und Schienengüterverkehr massiv beeinflussen (Stichworte: Nachfahrverbot bzw. Lockerung dessen, Regelung von Haftungsfragen, Arbeitsvorschriften)

#### **G4: Die Marktfähigkeit neuer Güterverkehrstechnologien ist unsicher**

- Cargo sous terrain wäre eine Ergänzung zu LKW- und Lieferwagentransporten und tendenziell eine Konkurrenz zum Schienengüterverkehr. Die Rentabilität von Cargo sous terrain könnte durch automatisierte LKW sinken, weil diese das Potenzial haben, die Strassenkapazität zu erhöhen, besonders wenn das Nachfahrverbot für (elektrisch betriebene) LKW gelockert oder aufgehoben würde. Es wäre zu prüfen, ob dadurch die Kapazitätsengpässe nicht soweit abgebaut werden könnten, dass der Bedarf nach einem grundlegend neuen Gütertransportmodus in Frage gestellt wäre.
- Drohnen können ein weiterer Modus in der Güterfeinverteilung sein. Ihr Potenzial wird von den befragten Experten als eher gering eingeschätzt.
- Intelligente, unterstützende Roboter könnten im Zustelldienst auf der letzten Meile eine ergänzende Funktion übernehmen (Entlastung der Zusteller) oder teilweise sogar ohne menschliche Begleitung (insbesondere bei der Paketzustellung) eingesetzt werden.

#### **G5: Wirtschaft: Die Gütertransportbranche wird sich weiter verändern**

- Bei den Produktionsprozessen ist mit weiterhin dynamischen Anpassungsprozessen zu rechnen. Insgesamt werden die Kosten des Gütertransports infolge der erwarteten Effizienzgewinne weiter sinken.
- Die Berufsbilder im Güterverkehr könnten sich dramatisch verändern: Chauffeure und Lokführer könnten verschwinden oder doch zumindest einer grundlegenden Änderung des Anforderungsprofils unterliegen. Statt ein Fahrzeug zu führen, würde ein Fahrzeug vermehrt «begleitet» mit zusätzlich zu erfüllenden Aufgaben während der Fahrzeit. Dagegen dürften Überwachungsfunktionen und IT-nahe Aufgaben noch mehr an Bedeutung gewinnen.
- Der Sharing-Aspekt könnte besonders in urbanen / dicht besiedelten Räumen einen Einfluss haben, indem sich neue Marktplayer für die letzte Meile / Zulieferdienste etablieren, die ihr Angebot auch auf digitalen Plattformen vermarkten.

#### **G6: Eher geringe Auswirkungen auf Raum und Umwelt**

- Aus räumlicher Sicht ist vor allem die Frage der zukünftigen Organisation von Logistikstandorten von grosser Bedeutung. Denkbar ist, dass mittelgrosse sowie siedlungsnahe und urbane Standorte stark an Bedeutung gewinnen. Dies im Rahmen einer teilweise bereits angedachten und/oder sich in Planung befindenden Neugestaltung der City-Logistik, in welcher beispielsweise die Paketzustellung gesamthaft an solchen neuen Standorten koordiniert wird.

- Bei den Auswirkungen auf die Umwelt sind zwei Faktoren zentral: Die Frage der zukünftigen Anteile von Strassen- und Schienengüterverkehr am gesamten Güterverkehrsaufkommen und die Frage, in welchem Mass sich bestehende Antriebstechnologien verbessern und neue Antriebstechnologien (Elektro-LKW) durchsetzen.

**Fazit:** Die Effekte im Güterverkehr können für das ökonomische Impact Assessment getrennt vom Personenverkehr analysiert werden.

Das automatisierte Fahren wird zu weiteren Effizienzsteigerungen im Güterverkehr beitragen. Dies wird zwar einen Einfluss auf die Güterverkehrsnachfrage haben, die zentralen Treiber der Güterverkehrsnachfrage bleiben aber die Ausgestaltung der Produktionsprozesse, Wirtschaftskraft und -wachstum und das Konsumverhalten.

Der Umsatz des Güterverkehrs auf Schiene und Strasse betrug 2008 rund 11.4 Milliarden Franken (Bundesamt für Statistik (2011)). Auch wenn das automatisierte Fahren eine effizientere Logistik verspricht, werden die Effizienzgewinne deutlich kleiner ausfallen als die Nutzen- gewinne von über 50 Milliarden Franken im Personenverkehr. Im Vordergrund des ökonomischen Impact Assesments dürfen somit die Effekte im Personenverkehr stehen, da hier deutlich grössere, potenziell auch wesentlich disruptivere Nutzeneffekte zu erwarten sind als im Güterverkehr.

Insgesamt sind die zu erwartenden Effizienzgewinne nur teilweise im Transportvorgang per se zu suchen. Ein wohl grösserer Teil betrifft die Ausgestaltung der gesamten Logistik und den Einsatz neuer Transporttechnologien. Als Fazit zeigt sich, dass es sehr aufwendig sein dürfte, die **spezifischen** ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung in der Güterverkehrsmobilität zu separieren und zu quantifizieren. In jedem Fall muss eine klare Abgrenzung vorgenommen werden, welche Effekte dazugerechnet und welche so oder so (also schon in einem Referenzfall ohne automatisierte Fahrzeuge) eintreten würden (Einsatz und/oder Aufbau von Partialanalysemodellen).

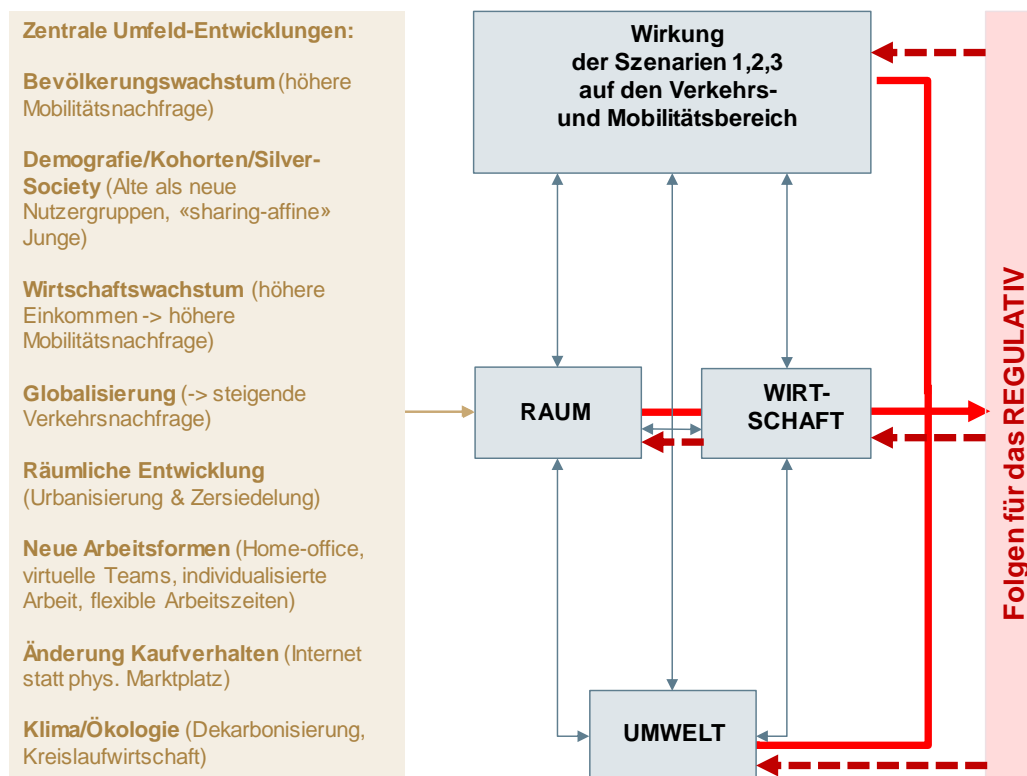
## 9 Folgen für das Regulativ

### 9.1 Ausgangslage

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf das Regulativ sind vielschichtig und sollen im Rahmen dieses Projekts nur in einer auf die Themen «Automatisierung» und «Sharing» fokussierten ersten Auslegeordnung angesprochen werden.<sup>90</sup>

Hierzu rufen wir wiederum das Wirkungsmodell in Erinnerung (vgl. Abbildung 9-1). Dieses zeigt, dass die Wirkungen der Digitalisierung auf den Verkehrs- und Mobilitätsbereich von der Ausgestaltung des Regulativs abhängen. Dabei interessieren insbesondere die je nach Szenario unterschiedliche Durchdringung mit automatisiertem Fahren und mit Sharing. Ebenso von Interessen sind die Folgen für das Regulativ auf den drei Auswirkungsebenen Raum, Wirtschaft und Umwelt.

**Abbildung 9-1: Die drei Szenarien der Güterverkehrszukunft mit Bezug auf die Haupttreiber der Digitalisierung im Güterverkehr**



<sup>90</sup> Im laufenden SVI-Forschungspaket «Verkehr der Zukunft (2060)» befasst sich das Projekt «Risiken und Chancen für das Regulativ und das Finanzierungssystem» spezifisch mit Fragen des Regulierungsbedarfs bei der langfristigen Ausgestaltung des Verkehrssystems. Die Bearbeitung dieses Projekts begann Anfang 2018 und dauert bis Ende 2019. Auch das eben angelaufene Forschungspaket «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» des ASTRA, ASTRA (2017), wird wichtige Grundlagen zur Klärung des zukünftigen Regulierungsbedarfs bereitstellen.

## 9.2 Auswirkungen des automatisierten Fahrens und von Sharing auf das Regulativ

### a) Regulativer Rahmen zum automatisierten Fahren: Anforderungen an Fahrzeuge, Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsregelung

Mit Bezug zu den Anforderungen an automatisierte Fahrzeuge ist davon auszugehen, dass das Regulativ stark durch internationale Regelungen geprägt sein wird und entsprechend eine Koordination auf internationaler Ebene gefragt ist. Der Spielraum für nationale Alleingänge dürfte diesbezüglich beschränkt sein.

Dies betrifft insbesondere:

- Zulassungsfragen und Leistungsstandards für automatisierte Fahrzeuge: Ziel muss es sein, einen international gültigen rechtlichen Rahmen zu setzen.<sup>91</sup>
- Zulassungsbedingungen für Fahrzeugbesitz und Fahrzeugnutzung: Es ist zu klären, welche Anforderungen diesbezüglich noch erfüllt werden müssen. Bei vollkommen automatisierten Fahrzeugen kann grundsätzlich auf einen Führerschein verzichtet werden. Sollten die Fahrzeugpassagiere trotzdem noch «eingreifen» können, müssten spezifische Auflagen an die Ausstellung eines Führerscheins geknüpft werden. Diese wären vermutlich aber viel tiefer als die heutigen Standards.
- Die Klärung von Haftungs- und Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit der Nutzung automatisierter Fahrzeuge: Es muss geklärt werden, in welchen Fällen ein Versicherer, der Autohersteller, der Fahrzeugführer oder möglicherweise gar der Infrastrukturbesitzer für allfällige Kosten haften muss. Erste Überlegung zu diesem Thema existieren bereits.<sup>92</sup> Es sind zudem auch ethische Fragen bei der «Programmierung des Verhaltens» von automatisierten Fahrzeugen in Ausnahmefällen zu klären (beispielsweise wie sich ein automatisiert fahrendes Auto verhalten soll, wenn sich plötzlich eine Person, ein Tier oder ein Gegenstand auf der Fahrbahn befindet).
- Die Klärung von Fragen des Datenschutzes und -zugangs: Automatisiertes Fahren bedingt das Sammeln einer Vielzahl von Datensätzen. Es ist zu klären und festzulegen, welche Daten wie verwendet und mit wem geteilt werden dürfen.

Ein eigenes Thema sind die zu erfüllenden Anforderungen an die Infrastruktur. Es braucht Vorgaben in verschiedener Hinsicht:

- Definition und Vorgaben von Mindestanforderungen an die Strasseninfrastruktur, damit diese automatisiert befahren werden dürfen.

---

<sup>91</sup> First Mover ist diesbezüglich häufig der US-Staat Kalifornien. So dürfen ab dem 2. April 2018 in Kalifornien selbstfahrende Autos ohne Lenkrad und Pedale auf die Strasse. Gemäss NZZ vom 27. Februar 2018 können entsprechende Lizenzen für Fahrzeuge ohne Menschen am Steuer beantragt werden. Für die Erteilung einer Lizenz müsse der Hersteller allerdings beweisen, dass die Autos Sicherheitsstandards erfüllen und gegen Cyberattacken geschützt sind. Zudem müsse noch ein Verfahren für die Kommunikation mit einem Polizisten entwickelt werden, der ein Roboterauto anhält.

<sup>92</sup> Gasser (2015), S. 567ff.

- Vorgaben, wann ein Nebeneinander von automatisiertem und nicht-automatisiertem Verkehr zulässig sind (allenfalls auch, wo nur automatisiert gefahren werden darf).
- Bereitstellen genügender und sicherer Leistungen der Telekommunikationsnetze für den Datenaustausch zwischen den Fahrzeugen und zwischen Fahrzeugen und Strasseninfrastruktur.

Die Nutzung der Verkehrsinfrastruktur durch automatisierte Fahrzeuge erfordert auch eine Anpassung der Verkehrsregeln:<sup>93</sup> Um die Vorteile von automatisiertem Fahren auszuschöpfen, sollte das bestehende Verkehrsregelwerk überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Dies betrifft beispielsweise Mindestabstand zwischen Fahrzeugen.

### **b) Regulativer Rahmen zum «Sharing» bzw. «Mobilitäts-Servicewelt»: Gestaltung des Marktzugangs, Datenhoheit, Ein- und Aussteigevorgänge**

Besonders in Szenario 3 – also in einer Mobilitäts-Servicewelt – bei welcher individuelle Mobilität nicht mehr mit privatem Fahrzeugbesitz verknüpft ist, besteht ein Anpassungsbedarf im Regulativ. Dies betrifft beispielsweise:

- Re-Regulierung (oder «Regulierung der Deregulierung»): Der Marktzugang für neue Akteure im Mobilitätsmarkt muss möglichst hindernisfrei ausgestaltet werden. Dies ist aber nicht einfach mit einer Deregulierung zu schaffen. Vielmehr braucht es eine Re-Regulierung. Hierzu folgende Stichworte:
  - Konzessionswesen: Abschaffung oder Neugestaltung
  - Pricing: Mit dem Übergang zum elektrischen Antrieb und aus weiteren Gründen (bspw. Spitzenbrechung) braucht es mit dem Mobility Pricing einen neuen Ansatz zur Finanzierung der Verkehrsinfrastrukturen. Mobility Pricing ist auch in einer Mobilitäts-Servicewelt das ideale Instrument um den Verkehr entsprechend der übergeordneten Zielsetzungen zu lenken.
  - Auch beim «Sharing» stellt sich die Frage des Datenzugangs und der Datensicherheit: Es ist zu klären, wer in Zukunft über die Datenhoheit verfügt – insbesondere bei multimodalen Transportwegen, die über eine digitale Mobilitätsplattform gebucht werden.
- Städte und Regionen sollten ihre zunehmend wichtige Rolle als Innovationsmotoren wahrnehmen können. Es geht um einen Bottom-up-Einbezug der Zivilgesellschaft, z. B. was den Umgang mit dem Open-Data-Prinzip betrifft oder bei der Durchführung von Pilotprojekten. Bspw. könnte zur Förderung des Ridesharings im urbanen Raum die Benutzung von Busspuren für gesharte Fahrzeuge freigegeben werden.
- Parkieren und Ein- und Aussteigevorgänge: Es wird in Zukunft vielmehr Ein- und Aussteigevorgänge im öffentlichen Raum geben. Nach diesen Vorgängen fahren die Fahrzeuge selbständig auf einen Parkplatz oder – und das dürfte in einer Mobilitäts-Servicewelt viel häufiger der Fall sein – die Fahrzeuge treten ihre nächste Fahrt an. Es braucht entsprechend Regelungen, wo und wann im öffentlichen Raum ein- und ausgestiegen werden darf.

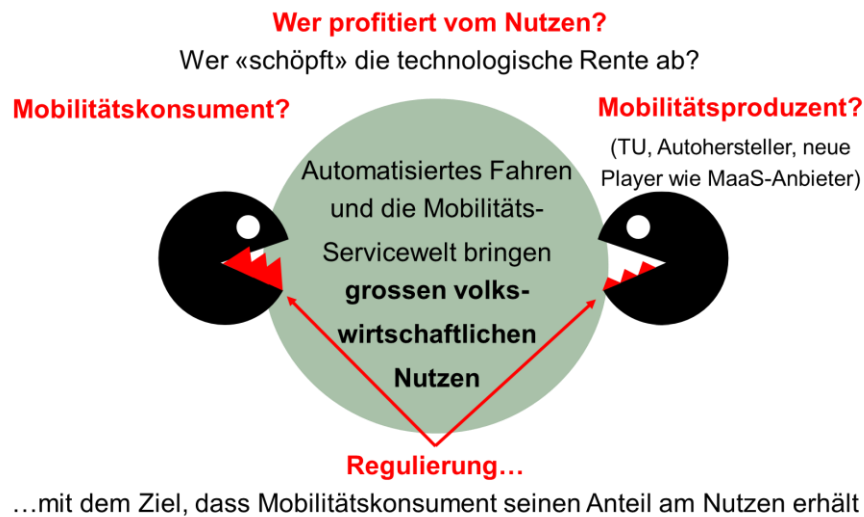
---

<sup>93</sup> Bundesrat (2016), S. 25.

### c) Regulativer Rahmen zur Sicherstellung eines angemessenen Anteils am Nutzen zugunsten der Mobilitätskonsumenten

Im Kapitel 7 haben wir aufgezeigt, dass das automatisierte Fahren bzw. die Mobilitäts-Servicewelt einen grossen volkswirtschaftlichen Nutzen bringen. Unklar ist, wie sich dieser Nutzen auf Mobilitätsangebot und -nachfrage verteilt, wer also wie viel von der Technologierente profitieren kann. Dies z.B. hängt davon ab, ob es den Mobilitätsproduzenten oder einem Mobilitätsvermittler gelingt, eine monopolartige Marktsituation herbeizuführen und in der Folge aufgrund ihrer Marktmacht in der Lage sind, einen grösseren Teil des Nutzens abzuschöpfen. In einem solchen Fall müsste mit regulatorischen Eingriffen sichergestellt werden, dass die Mobilitätskonsumenten einen angemessenen Anteil am Nutzen für sich beanspruchen können.

Abbildung 9-2: Wer profitiert vom Nutzen?



### Monopoltendenzen auf der Mobilitätsangebotsseite

Die neue Mobilitäts-Servicewelt ist ein datengetriebenes Geschäft in der «Sharing economy». Im Zentrum dieser Mobilitäts-Servicewelt werden Plattformen stehen, welche die Angebote und Nachfrage zusammenbringen. Solche Plattformen haben eine Tendenz zum Monopol. Die Gründe dafür sind:<sup>94</sup>

- Steigende Skaleneffekte: Der Aufbau und Betrieb einer Plattforminfrastruktur ist kostspielig, zusätzliche Nutzer hingegen bringen wenig zusätzliche Kosten. Plattformen weisen somit steigende Skaleneffekte aus, was die Bildung von Monopolen fördert.
- Netzwerkeffekte: Zusätzliche Plattformnutzer steigern über Netzwerkeffekte den Wert bzw. den Nutzen der Plattform. Dies gilt insbesondere für Plattformen im Bereich der «Sharing economy»: Ein effizientes Sharing ist erst ab einer gewissen Marktdurchdringung überhaupt

<sup>94</sup> Vgl. dazu Dobusch (2016).

möglich. Je mehr Nachfrager und Anbieter eine Plattform anziehen kann, desto häufiger und effizienter kommt es zu einem Matching von Angebot und Nachfrage.

- Koordinationseffekt: Die dritte Ursache von Marktmacht grosser Plattformbetreiber, folgt aus den regional, kantonal und vor allem national unterschiedlichen Regelungen (das beinhaltet Regelung, die direkt bspw. den Strassenverkehr betreffen bis hin zu arbeitsmarktlischen Regelungen). Der Aufwand zur regelkonformen Mobilitätsdienstleistungserbringung ist aufwendig. Grössere Plattformen sind hier im Vorteil und der Vorteil wächst, je undurchdringlicher die Regelungsdichte ist.

### **Ausübung der Marktmacht**

Die Marktmacht kann das Mobilitätsplattform-Monopol bei den Nutzern über die Preissetzung ausüben. Ein Mobilitätsplattform-Monopol kennt die Mobilitätsbedürfnisse ihrer Nutzer sehr genau und kann diese Informationen ergänzen mit sozioökonomischen Daten der Nutzer. Mit diesen Daten kann das Mobilitätsplattform-Monopol individuelle Preise setzen (Preisdifferenzierung) und damit die Mobilitätskonsumentenrente für sich selber weitgehend abschöpfen.

Weiter kann das Mobilitätsplattform-Monopol auch über Zugangshindernisse für Drittanbieter von Mobilitätsleistungen seine Marktmacht ausüben, um bspw. seine eigene Fahrzeugflotte zu schützen.

### **Grenzen der Marktmacht**

Dem Mobilitätsplattform-Monopol sind aber auch Grenzen gesetzt in Bezug auf die Ausübung seiner Marktmacht. Einerseits entstehen bei zu starker Preisdifferenzierung des Monopolisten Nischen, in denen sich weitere Marktplayer ausbreiten können, auch wenn diese weniger Nutzer haben und dementsprechend kostenintensiver produzieren müssen. Andererseits besteht für einige Plattform-Nutzer immer die Fallback-Option statt die Plattform zu nutzen, sich selber ein automatisiertes Fahrzeug zu kaufen. Schliesslich muss ein Mobilitätsplattform Anbieter private und öffentliche Mobilitätsdienstleistungen unter einem Dach vereinen. Zumindest im ÖV sind die Preise weitgehend von den entsprechenden Transportunternehmen vorgegeben und können – zumindest bei der heutigen Regulierung – durch einen Plattformbetreiber nicht verändert werden, was das Abschöpfen individueller Konsumentenrenten erschwert.

### **Regulierung**

Die Regulierung solcher Plattformen hat zum Ziel, die geschilderten negativen Auswirkungen zu verhindern ohne die positiven Netzwerkeffekte zu verlieren. Dies kann nicht mit den herkömmlichen kartellrechtlichen Instrumenten wie Preiskontrollen oder Zerschlagung des Monopols erfolgen. Weiter kommt hinzu, dass die Regulierung von der Dynamik der technologischen Entwicklung ständig herausgefordert wird. Neue innovative Regulierungen, welche direkt an den Ursachen des Plattformmonopols ansetzen, sind deshalb gefragt, bspw.:

- Schaffung von offenen Schnittstellen, die allen zugänglich sind
- Offenlegung von Daten und Algorithmen
- Harmonisierung der Regelungen, damit auch mit kleinem Aufwand die Regelungen national und international überblickbar sind.

#### **Vorschlag für Vertiefungen im Rahmen des Impact Assessments**

*Wir schlagen vor, in einem ersten Schritt die Grenzen der Marktmacht eines hypothetischen Plattform-Monopolisten für Mobilitätsserviceleistungen auszuloten. Dazu gehört beispielsweise die Abschätzung, welcher Teil des Nutzens «zwingend» bei den Mobilitätsnutzenden bleiben wird, solange diese anstelle des Sharings automatisierter Fahrzeuge via Plattform als «Fallback» ein automatisiertes Auto kaufen oder auf andere Verkehrsmittel ausweichen können. In einem zweiten Schritt könnten mögliche Massnahmen zur Plattform-Regulierung vertieft untersucht werden.*

### **9.3 Flankierende Regulierungen zu den Wirkungen auf Raum, Wirtschaft, Umwelt und Gesundheit**

Aus heutiger Sicht ist noch nicht im Detail geklärt, welcher konkrete Regulierungsbedarf in den Bereichen Raum, Wirtschaft, Umwelt und Gesundheit die Digitalisierung der Mobilität auslösen wird. Es lassen sich aber aufgrund der erwarteten Wirkungen thematische Felder mit einem möglichen Regulierungsbedarf abstecken. Diese sollen im Folgenden kurz diskutiert werden.

#### **a) Raum**

Die mit der Digitalisierung der Mobilität verbundene steigende Attraktivität des ländlichen Raums könnte zu einer unerwünschten Zersiedelung führen. Die mit der bestehenden Raumplanungsgesetzgebung auf nationaler, kantonaler und regionaler Ebene zunehmend verfolgte Strategie der Siedlungsentwicklung nach Innen und der Vorgabe klarer Siedlungsbegrenzungslinien dürfte deshalb noch an Bedeutung gewinnen. Dabei geht es nicht darum, dem ländlichen Raum Entwicklungspotenziale vorzuenthalten, sondern diese dezentral zu konzentrieren. Ebenfalls zu prüfen sind in dem Zusammenhang steuerliche Abzugsmöglichkeiten für den Arbeitsweg (Pendlerabzug). In einem Szenario 3 spricht vieles dafür, solche steuerlichen Abzugsmöglichkeiten vollständig aufzuheben oder zumindest weiter zu senken.

Mit dem insbesondere in Szenario 3 zu erwartenden massiven Rückgang der Parkplatznachfrage im urbanen Raum entsteht ein Bedarf, das gesamte Parkplatzzregulativ neu auszugestalten. Kantone und Gemeinden, für die bei Um-, Erweiterungs- und Neubauten eine Parkplatzerstellungspflicht mit Minimalbedarf vorschreiben, sollten diese kritisch hinterfragen und nach Möglichkeit abschaffen, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Ebenso muss die Ausgestaltung und Nutzung des öffentlichen Parkraums grundsätzlich hinterfragt werden. Das erfordert nicht



nur eine Anpassung der Parkplatzreglemente, sondern auch eine planerische Überlegung, wie und wo noch Parkraum benötigt wird und wie in Zukunft Flächen für Ein-, Aussteige- und Umsteigevorgänge bereitzustellen und auszugestalten sind. Ebenfalls wäre zu klären, wo und in welchem Umfang im innerstädtischen Bereich, autonom gesteuerten und womöglich «gesparten» Fahrzeugen Zugang gewährt wird und wo nicht (beispielsweise Altstädte wo heute der ÖV Zugang hat, dem MIV diesen aber grösstenteils verwehrt bleibt).

## **b) Wirtschaft**

Wenn das automatisierte Fahren im Personen- und Güterverkehr zur Norm wird, gehen einzelne Berufsbilder ganz oder zumindest zu grossen Teilen verloren. Dies gilt insbesondere für Chauffeure (Taxi, Lastwagen) aber auch für Fahrzeugführerinnen und -führer im ÖV (Busse, Tram, Lokomotiven). Entsprechend ist rechtzeitig zu prüfen, wie den betroffenen Personen eine neue berufliche Perspektive eröffnet werden kann, z. B. mit entsprechenden Weiterbildungsmassnahmen. Zudem: welche Berufsgruppen insb. im IT-Bereich wird es in Zukunft vermehrt brauchen (und dementsprechend welche Aus- und Weiterbildungen).

Ganz generell kann im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Digitalisierung darauf hingewiesen werden, dass diese eine Vielzahl von Berufsbildern grundlegend verändern, aber auch neue schaffen wird. Entsprechend braucht es hier übergeordnete Strategien der öffentlichen Hand, damit die kommenden Transformationsprozesse gelingen. Stichworte sind: Bildungspolitik, flexibler Arbeitsmarkt und Gewährleistung sozialer Auffangnetze.

Eine wichtige Voraussetzung für das automatisierte Fahren ist die Bereitstellung einer leistungsfähigen Mobilfunkinfrastruktur. Automatisiertes Fahren ist nur möglich, wenn genügend Kapazitäten bereitstehen, um grosse Datenmengen in Echtzeit verarbeiten zu können. Das aktuelle Stichwort dazu betrifft die Einführung der 5G-Technologie oder – gemäss Aussagen an den durchgeführten Expertenworkshops – die Umsetzung mehr dezentral ausgerichteter Lösungen (da es schwierig fallen dürfte, ganz Europa mit 5G abzudecken). Aber auch die physische Verkehrsinfrastruktur muss mit digitaler Technik aufgerüstet werden, um die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur zu ermöglichen.

Was den Güterverkehr betrifft, haben wir schon in Kapitel 8 darauf hingewiesen, dass die Automatisierung nicht nur das Führen der Fahrzeuge (LKW, Lokomotive) betrifft, sondern die Betriebsprozesse insgesamt. Dies wird häufig unter dem Stichwort «Logistik 4.0» zusammengefasst. Darunter sind alle digitalisierten Prozesse und Systeme zu verstehen, die einen kontinuierlichen Datenaustausch zwischen den Mitarbeitern, den transportierten Gütern und den Transportmitteln ermöglichen. Auch für eine «Logistik 4.0» ist die Bereitstellung ausreichender digitaler Kommunikationskapazitäten essenziell. Zudem ist allenfalls die Sicherung von Standorten für Hubs für die automatisierte Güter-Feinverteilung im urbanen Raum (City-Logistik) rechtlich zu regeln.

### c) Umwelt und Gesundheit

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Umwelt und die Gesundheit dürften mehrheitlich indirekter Natur sein und nicht direkt einen Handlungsbedarf im Regulativ auslösen. Einige Stichworte:

- Die Digitalisierung hat potenziell sowohl positive als auch negative klimapolitische Auswirkungen. Positiv fallen Effizienzgewinne beim Fahrzeugbetrieb und voraussichtlich das verstärkte Umsteigen auf elektrische Antriebssysteme ins Gewicht. Experten sehen direkte Abhängigkeiten zwischen der Digitalisierung und der Durchdringung elektrischer Antriebssysteme. Die Abgrenzung zu einer Entwicklung ohne Digitalisierung ist auch hier schwierig. Auswirkungen der Elektromobilität inkl. vorgelagerte Prozesse und Stromherkunft auf Umwelt und Gesundheit sind weiter zu analysieren. Negativ könnten die neuen Angebote in einer Mobilitäts-Servicewelt wirken, die eine zusätzliche Verkehrsnachfrage zur Folge haben werden. Insgesamt kommen wir zum Schluss, dass es keine grundsätzlichen Änderungen des bestehenden klima- und energiepolitischen Instrumentariums braucht, dieses aber u.U. zu verstärken ist.
- Ebenfalls über alle Sektoren hinweg zu klären sind Fragen zur Bedeutung von gesundheitlichen Risiken einer verstärkten Strahlung durch das Aufrüsten der Mobilfunkinfrastruktur. Allfällige Massnahmen, insbesondere die Vorgabe von Strahlungsgrenzwerten, haben sektorübergreifende Wirkung.

## 10 Vorgehenskonzept für ein ökonomisches Impact Assessment

### 10.1 Ziel und Strategieoptionen für ein ökonomisches Impact Assessment

#### 10.1.1 Ziel eines ökonomischen Impact Assessments

Die Diskussion zur Digitalisierung im Mobilitätsbereich und deren Auswirkungen auf den Mobilitätssektor, aber auch auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft ist sehr dynamisch und wird künftig noch intensiver geführt werden. Eine rege Forschungstätigkeit bringt in hoher Kadenz neue Erkenntnisse zu Teilaspekten der Digitalisierung im Mobilitätsbereich. Zentral ist daher das Ziel, welches mit einem ökonomischen Impact Assessment verfolgt werden soll. Folgende Ziele können für das ökonomische Impact Assessment im Vordergrund stehen:

- Einschätzung zu den Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich, Erkennen der wesentlichsten Wirkungen und Auswirkungen.
- Bereitstellung von Entscheidungshilfen zur Gestaltung des Regulativs: Das ökonomische Impact Assessment ist eine wichtige Grundlage für eine pro-aktive, auf die Optimierung des volkswirtschaftlichen Gesamtnutzens ausgerichtete Anpassung des Regulativs im Hinblick auf die Digitalisierung im Mobilitätssektor.

#### 10.1.2 Strategische Empfehlungen für das ökonomische Impact Assessment

Auch wenn wir die potenziellen Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich zumindest ansatzweise benennen können, ist die Unsicherheit in Bezug auf das Ausmass dieser Wirkungen immer noch sehr gross. Die Forschung wird in den nächsten Jahren einige dieser Teilfragen klären, andere neue Fragen werden auftauchen. Es stellt sich die Frage, wie das ökonomische Impact Assessment im heutigen Umfeld strategisch positioniert werden soll:

- **Kurzfristig kein integrativer Modell-Ansatz...**  
Integrated Impact-Assessment-Modelle (IAM)<sup>95</sup> sind, wenn sie alle wesentlichen Wirkungen erfassen sollen, ausserordentlich aufwendig. IAM sind *optimierende Modelle*, welche Erkenntnisse unterschiedlichster Fachrichtungen miteinander verbinden. Aus unserer Sicht ist aufgrund des heutigen Stands der Forschung ein Einsatz solcher Integrated Impact-Assessment-Modelle nicht zielführend.
- **...sondern ein schrittweises Vorgehen** (vgl. nachfolgende Abbildung 10-1)  
Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass mit einem entsprechenden Set von Annahmen die wichtigsten Kosten- und Nutzeneffekte im Mobilitätssektor und darüberhinausgehend auch einzelne Wirkungen auf Raum, Wirtschaft und Umwelt in einem Tischmodell (einem

---

<sup>95</sup> Beispiele dafür sind die IAM im Klimabereich: DICE; Nordhaus (2014), FUND; Anthoff and Tol (2013), PAGE; Hope (2011).

sog. deterministischen Modell)<sup>96</sup> quantifiziert werden können. Wichtig ist hierfür die Erkenntnis, dass die Effekte im Personen- und im Güterverkehr für das ökonomische Impact Assessment getrennt voneinander analysiert werden können. Im Vordergrund stehen die Effekte im Personenverkehr, da hier deutlich grössere, potenziell auch wesentlich disruptivere Nutzeneffekte zu erwarten sind als im Güterverkehr.

**1a) PV: Systematische und strukturierte Auswertung vorhandener Unterlagen**

*In diesem ersten Schritt sind die vorhandenen Unterlagen im Hinblick auf das zu erstellende Kosten-Nutzen-Tool für den Personenverkehr weiter zu vertiefen. Die in der Machbarkeitsstudie teilweise ad-hoc getroffenen Massnahmen sind zu hinterfragen mit dem Ziel, die empirische Abstützung einzelner Massnahmen besser abzustützen.*

**1b) PV: Erstellen einer flexiblen Kosten-Nutzen-Berechnung  
(Kosten-Nutzen-Tool PV)**

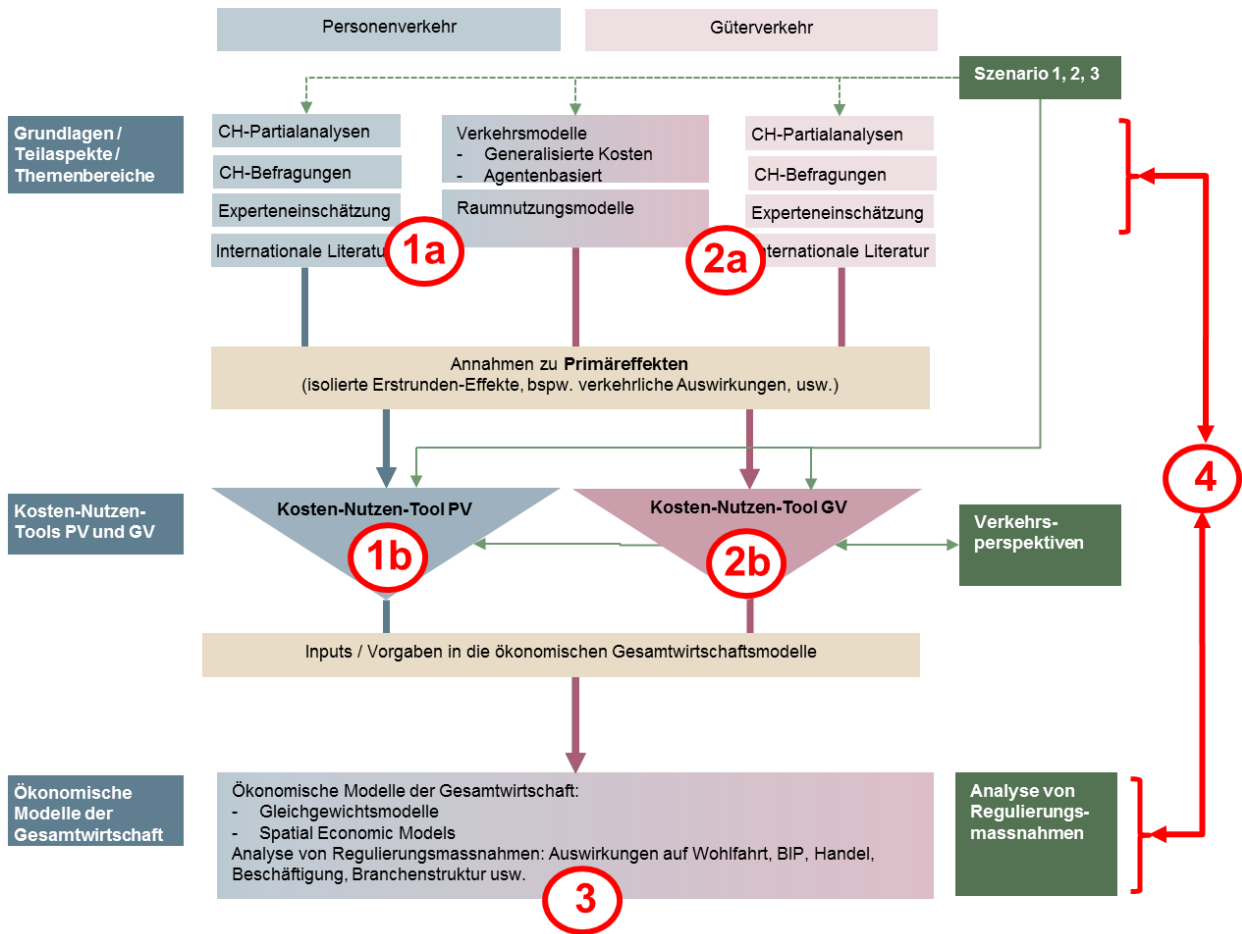
*Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie haben wir für den Personenverkehr eine allererste, umfassende volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Rechnung der Auswirkungen der Digitalisierung im Mobilitätssektor erarbeitet.*

*Hierzu haben wir das Tischmodell DiMAP (**D**igitalisierung in der **M**obilität – **A**uswirkungen im **P**ersonenverkehr) entwickelt. Dieses Tischmodell kann als Vorlage und Ideengeber für die Erstellung des Kosten-Nutzen-Tools PV dienen.*

---

<sup>96</sup> Das Tischmodell ist mit Ausnahme der Investitionsentscheidung bzgl. Stauvermeidung ein deterministisches Modell.

Abbildung 10-1: Schrittweises Vorgehen für das ökonomische Impact Assessment



Zeitgleich oder nachgelagert können die ökonomischen Effekte der Digitalisierung im Güterverkehr analysiert werden. Im Güterverkehr sind in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte erzielt worden. Diese Fortschritte haben zu einer deutlichen Senkung der Transportkosten geführt und waren eine der Voraussetzungen dafür, dass sich die globale Arbeitsteilung entwickeln konnte. Die Digitalisierung wird im Güterverkehr zu weiteren Effizienzgewinnen führen. Diese schätzen wir aber als deutlich geringer ein als diejenigen der Digitalisierung im Personenverkehr, dies insbesondere aus den beiden folgenden Gründen:

- Die Digitalisierung im Gütertransport (im Wesentlichen also selbstfahrende LKW resp. automatisierte Loks und Rangiervorgänge) ist kein wichtiger Treiber für die Güterverkehrsnachfrage.
- Die Digitalisierung in der Wirtschaft wird auch ohne automatisierte LKW resp. Loks den Gütertransportsektor grundlegend verändern (z. B. Blockchain-Technologie für die Echtzeitverfolgung der transportierten Güter, automatisierte Logistik-Prozesse).

Es sind somit sehr wohl bedeutende Effizienzgewinne durch die Digitalisierung («Logistik 4.0») innerhalb des bereitstellenden Güterverkehrssektors zu erwarten. Und auch neue Technologien (wie Cargo sous terrain, Drohnen) könnten Effizienzverbesserungen ermöglichen. Beide sind aber nicht dem «automatisierten Fahren» zuzurechnen. Insgesamt sind

die zu erwartenden Effizienzgewinne somit nur teilweise im Transportvorgang per se zu suchen. Ein wohl grösserer Teil betrifft die Ausgestaltung der gesamten Logistik und den Einsatz neuer Transporttechnologien. Als Fazit zeigt sich, dass es sehr aufwendig sein dürfte, die **spezifischen** ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung in der Güterverkehrsmobilität zu separieren und zu quantifizieren. In jedem Fall muss eine klare Abgrenzung vorgenommen werden, welche Effekte dazugerechnet und welche so oder so (also schon in einem Referenzfall ohne automatisierte Fahrzeuge) eintreten würden (Einsatz und/oder Aufbau von Partialanalysemodellen). Wir kommen somit zu folgendem Vorschlag:

**2a) GV: Systematische und strukturierte Auswertung vorhandener Unterlagen**

*In diesem ersten Schritt sind die vorhandenen Unterlagen zu den Auswirkungen der Digitalisierung im Güterverkehr zu aktualisieren und die Veränderungen **innerhalb** des Güterverkehrssektors aufzuarbeiten.*

**2b) GV: Erstellen einer flexiblen Kosten-Nutzen-Berechnung  
(Kosten-Nutzen-Tool GV)**

*Wir schlagen vor, im Güterverkehr die Veränderungen des Güterverkehrssektors qualitativ zu erfassen. Die quantitativen Grundlagen für die Abschätzung der Kosten und Nutzen sollen dem schweizerischen Güterverkehrsmodell entnommen werden. Im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Abschätzung geht es einzig darum, eine Einschätzung zur Grössenordnung der zu erwarteten Produktivitätsgewinne des Güterverkehrssektors zu erlangen. Im Vordergrund stehen: (i) Eingesparte Fahrerkosten im Strassen- und Schienengüterverkehr, (ii) weitere klar der Digitalisierung zuzuweisende Produktivitätsgewinne in der Logistikkette, (iii) Kapazitätsgewinne in der Strasseninfrastruktur, (iv) sinkende Unfallrisiken. Wie weit die digitalisierungsbedingten Produktivitätsgewinne in den verschiedenen Güterverkehrssektoren (v. a. Strasse vs. Schiene) zu begründbaren Modal-Split-Effekten führen wird, muss im Moment offenbleiben.*

*Die mit dem Kosten-Nutzen-Tool GV erhobenen Produktivitätsgewinne können dann als Input für die gesamtwirtschaftlichen Modelle dienen, mit welchen die ökonomischen Auswirkungen inklusive Rückkoppelungen erfasst werden können. Erst mit solchen gesamtwirtschaftlichen Modellen können die wichtigen und vermutlich bedeutenderen indirekten Auswirkungen der Digitalisierung im Güterverkehr erfasst werden.*

**Fazit:** Mit den Kosten-Nutzen-Tools PV und GV werden die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität so weit als möglich vollständig abgebildet. Damit kann das erste Ziel, die Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich zu erfassen, erreicht werden. Wie auch bei der Definition der Szenarien sind die beiden Kosten-Nutzen-Tools PV und GV keine «optimierenden Modelle», welche die Reaktion von geänderten Rahmenbedingungen endogen erfassen können. Vielmehr müssen bei geänderten Rahmenbedingungen (bspw. ein geändertes Regulativ) die verschiedenen Inputparameter exogen angepasst werden. Die richtige Ausprägung dieser Inputparameter ist somit die grosse fachliche Herausforderung, dies gilt auch für deren Anpassung im Zeitverlauf.

Die Kosten-Nutzen-Tools PV und GV können die vielen vorhandenen Daten und Resultate aus den unterschiedlichsten Themenbereichen und Quellen «trichtern» und sie für verschiedene Analysezwecke aufbereiten. Dies betrifft insbesondere:

- Die Analyse der Kosten und Nutzen unterschiedlicher Teileffekte der Digitalisierung in der Mobilität
- Die Auffächerung dieser Kosten- und Nutzeneffekte durch die Definition unterschiedlicher Szenarien mit entsprechend unterschiedlichen Kosten- und Nutzeneffekten im Zeitverlauf
- Den Einbezug unterschiedlicher Regulierungsstrategien bei der Definition der Szenarien und damit die Analyse der erwarteten Kosten und Nutzen unterschiedlicher Regulierungsstrategien für den Mobilitätssektor.
- Die Daten könnten schliesslich auch als Input für ein ökonomisches Modell der Gesamtwirtschaft dienen.

### **3) Ökonomische Modelle der Gesamtwirtschaft**

Gesamtwirtschaftliche Modelle sind insbesondere dann wichtig, wenn die Auswirkungen einer Änderung des Regulativs im Hinblick auf die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen hin analysiert werden sollen. In diesem Sinne bilden die Kosten-Nutzen-Tools PV und GV die Grundlage für die Parametrisierung der gesamtwirtschaftlichen Modelle und liefern somit indirekt einen weiteren wertvollen Beitrag für die spätere Analyse von De- resp. Re-Regulierungsmassnahmen als Reaktion oder Folge der Digitalisierung im Mobilitätsbereich liefern.

Den Einsatz von gesamtwirtschaftlichen Modellen selber würden wir im Moment aufgrund des grossen Aufwands und der noch vielen offenen Fragen in Bezug auf die Implementierung der Digitalisierung im Mobilitätsbereich aber nicht empfehlen, sondern zuerst die Schritte 1 und 2 durchführen und danach entscheiden. Aussagen zu den Auswirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich auf das Bruttoinlandprodukt, den Handel, die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz usw. können daher in diesen vorgeschlagenen ersten beiden Schritten des ökonomischen Impact Assessments nicht – oder nur mit beschränkter Aussagekraft – gemacht werden. Nach Vorliegen der Resultate der Schritte 1 und 2 empfehlen wir, den Schritt 3 zumindest zu prüfen:

*Aufbauend auf den Resultaten der Schritte 1 und 2 soll die Implementierung der wichtigsten Wirkungen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich in einem gesamtwirtschaftlichen Modell geprüft werden. Die gesamtwirtschaftlichen Modelle haben folgende Vorteile: (i) Sie erlauben Aussagen zur Wirkung der Digitalisierung im Mobilitätsbereich auf das Bruttoinlandprodukt, die Wohlfahrt, den Handel, die Beschäftigung, die Wettbewerbsfähigkeit usw. (ii) Die volkswirtschaftlichen Effekte von Regulierungsmassnahmen im Mobilitätsbereich können analysiert werden.*

### **4) Integrierte Assessment-Modelle**

*Erst als längerfristige Option stehen aus unserer Sicht Modellkopplungen oder Integrierte Assessment-Modelle zur Diskussion.*

### 10.1.3 Schnittstellen und Synergien

Folgende Schnittstellen oder mögliche Synergien sind bei der Ausarbeitung eines ökonomischen Impact Assessments zu beachten:

- Die künftigen Forschungsarbeiten zu dem ökonomischen Impact Assessment vorgelagerten Arbeiten in den einzelnen Themenbereichen werden ihren eigenen Szenarienrahmen aufspannen. Eine Harmonisierung mit unseren Szenarien ist nicht in jedem Fall zielführend, da, je nach Forschungsfrage, die Szenarien anders zu definieren sind. Es wäre aber wünschenswert, wenn die Forscher ihre Resultate im Hinblick auf den in dieser Machbarkeitsstudie aufgespannten Szenarienrahmen kurz qualitativ einordnen können.<sup>97</sup>
- Aus der Machbarkeitsstudie sehen wir vor allem bei folgenden Grundlagen mittel- bis längerfristig Forschungsbedarf:
  - Zahlungsbereitschaftsumfrage zur Nutzenbewertung des automatisierten Fahrens: Die Schwierigkeit ist, dass heute keine oder nur wenige Erfahrungen mit automatisiertem Fahren und den damit verbundenen neuen Mobilitätsservices vorliegen und sich das Design einer solchen Zahlungsbereitschaftsumfrage entsprechend anspruchsvoll und aufwendig gestalten würde.
  - Zahlungsbereitschaftsumfrage zur Nutzenbewertung des Zugangs zur individuellen Mobilität für neue Nutzergruppen (insbesondere bei den älteren Personen): Auch hier fehlen die Erfahrungen mit automatisiertem Fahren, was Zahlungsbereitschaftsumfragen erschweren. Kommt hinzu, dass zusätzlich ein Kohorteneffekt zu berücksichtigen ist (die künftigen älteren Personen werden ein anderes Mobilitätsverhalten zeigen als die aktuell älteren Personen).
  - Analyse des Trade-offs zwischen Stauvermeidungsinvestitionen und zusätzlichen Staus während der Transitionsphase.
- Die Schnittstellen und Rückkopplungen mit den Verkehrsperspektiven sind zu klären.
- Zu analysierende Regulierungsmassnahmen: Vor der Erstellung des Impact Assessments wäre es sinnvoll, mögliche künftige Regulierungsmassnahmen abzustecken, damit bei der Erstellung des Impact Assessments die Analyse dieser Regulierungsmassnahmen schon angedacht werden kann. Insbesondere vor dem Schritt 3 (gesamtwirtschaftliche Modelle) wäre zu klären, welche Regulierungsmassnahmen abbildbar sein müssen (bspw. preisliche Massnahmen wie Mobility Pricing usw.).
- Laufende Arbeiten: Im Rahmen der Erstellung des Impact Assessments ist sicherzustellen, dass die Koordination mit den laufenden Schweizer Arbeiten sichergestellt ist (vgl. Abbildung 1-1).

---

<sup>97</sup> Dieser Wunsch entspringt der eigenen Erfahrung, dass Resultatinterpretationen und insbesondere Analogieschlüsse zur Verwendung der Modellresultate in einer Situation mit anderen Rahmenbedingungen am besten vom Modellbearbeiter selber gemacht werden.



## 10.2 Vorgehenskonzept für die Schritte 1 und 2

### 10.2.1 Szenarien und Phase-in automatisierter Fahrzeuge

#### Definition der Szenarien

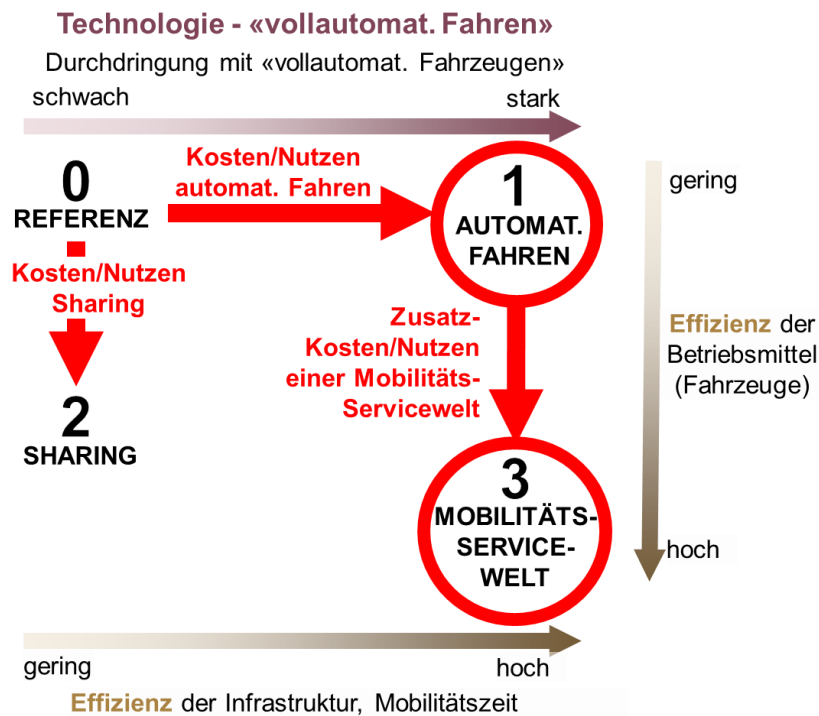
Der in dieser Machbarkeitsstudie aufgespannte Szenarienrahmen hat sich bewährt und kann auch als Ausgangspunkt für ein ökonomisches Impact Assessment der Digitalisierung im Verkehrsbereich dienen. Das Szenario 2 (nur «Sharing economy») soll nur grob erfasst werden, da eine flächendeckende Durchdringung des Car- und Ridesharing, ohne automatisiertes Fahren, nur eine geringe Eintretenswahrscheinlichkeit hat.<sup>98</sup> Wir empfehlen das ökonomische Impact Assessment wie folgt anzugehen:

- In einem ersten Schritt sind die «isolierten» Wirkungen des automatisierten Fahrens aufzuzeigen (entspricht dem Szenario 1 in dieser Machbarkeitsstudie).
- In einem zweiten Schritt sind die «isolierten» Wirkungen des «Car- und Ridesharings» aufzuzeigen (entspricht dem Szenario 2 in dieser Machbarkeitsstudie). Dieses Szenario kann auf groben Abschätzungen basieren und dient im Wesentlichen als methodische Grundlage für den nächsten, dritten Schritt.
- In einem dritten Schritt sind die Zusatznutzen einer Mobilitäts-Servicewelt unter der Annahme, dass sich automatisiertes Fahren durchsetzen wird, darzulegen (entspricht dem Szenario 3 in dieser Machbarkeitsstudie).

---

<sup>98</sup> Eine grossflächige Durchdringung mit Ridesharing wird ohne automatisiertes Fahren von den Experten als unwahrscheinlich eingestuft. Vielmehr wird das automatisierte Fahren als Voraussetzung für die Umsetzung einer vollkommenen «gesparten» Mobilität gesehen.

Abbildung 10-2: Definition der Szenarien



### Varianten des Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen

Das Impact Assessment soll nicht nur den – noch weit in der Zukunft liegenden<sup>99</sup> – Fall einer vollständigen Durchdringung mit automatisiertem Fahren untersuchen, sondern die wichtigen Transitionsphasen abbilden können. Es wird empfohlen, das Phase-in mit automatisierten Fahrzeugen mit drei möglichen Varianten (ähnlich dem Vorschlag in dieser Machbarkeitsstudie) zu erfassen. Das Phase-in kann sich dabei auf die vollautomatisierten Fahrzeuge («Hands off», «Feet off», «Mind off») beschränken, da mit teilautomatisierten Fahrzeugen der hauptsächliche Nutzen – die erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit – grossmehrheitlich entfällt.

#### 10.2.2 Räumliche Auflösung und Differenzierung nach Verkehrszwecken

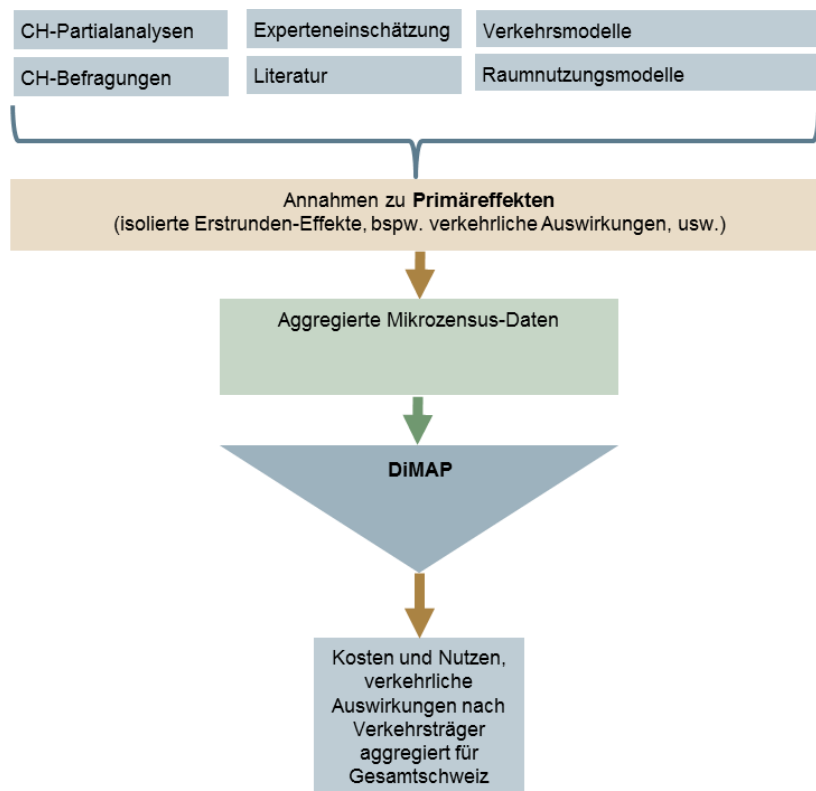
Bei der Erstellung des Impact-Assessments sollten räumlich und nach Verkehrszweck differenzierte Annahmen getroffen werden. Es ist möglich aber nicht zwingend notwendig, diese Differenzierung nach Raumtypen (nach Urbanisierungsgrad abgestuft: städtisch, intermediär und ländlich) und nach Verkehrszwecken auch für die Resultate einzufordern. Räumlich differenzierte Analysen sind insbesondere dann notwendig, wenn die Auswirkungen einer stufenweisen Freigabe des automatisierten Fahrens nach verschiedenen Strassenkategorien analysiert werden sollen (also bspw. werden zuerst die Autobahnen für automatisiertes Fahren freigegeben, erst danach das restliche Netz). Wir empfehlen daher eine räumliche Differenzierung, welche die wichtigsten Verkehrszwecke unterscheidet (Arbeit, Einkaufen, Freizeit, Rest).

<sup>99</sup> Auch wenn mit einer disruptiven, sehr schnellen Durchdringung mit automatisiertem Fahren gerechnet wird, ist eine fast vollständige automatisierte Fahrzeugflotte erst nach dem Jahr 2050 zu erwarten.

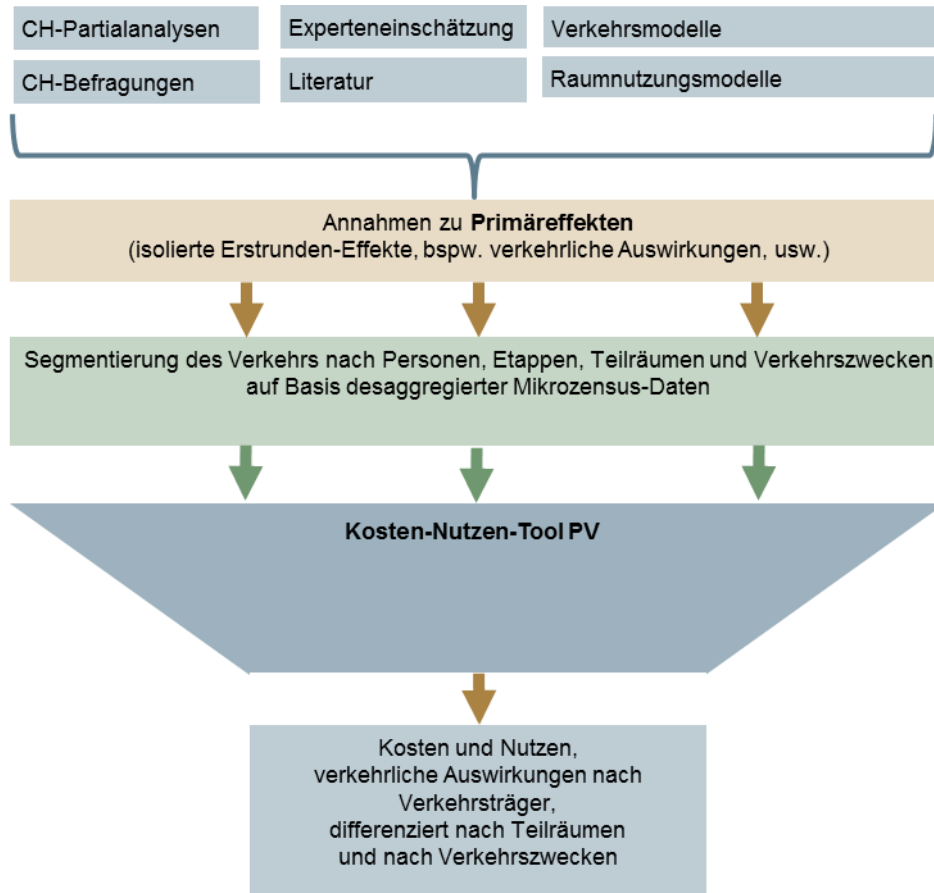
Die nachfolgenden beiden Abbildungen illustrieren die empfohlene Erweiterung des Tischmodells DiMAP zu einem Kosten- Nutzen-Tool PV. Die bisher in DiMAP vorgelagerte aggregierte Datentabelle aus dem MZMV soll durch eine nach Personen, Zwecken, Raumtypen und allenfalls auch nach Etappen differenzierten Datentabelle ersetzt werden (detaillierte Segmentierung des Verkehrs). Dies ermöglicht es, differenziertere Vorgaben aus den Grundlagenstudien vorzunehmen und viele in dieser Machbarkeitsstudie ad-hoc getroffene Annahmen zu plausibilisieren (bspw. die Einsparungen bei den Tür-zu-Tür-Wegen, Länge der Leerfahrten für Parkierung usw.).

Anmerkung: Wir empfehlen das Kosten- Nutzen-Tool PV völlig neu aufzusetzen. Das bestehende Tischmodell DiMAP, welches nur zur Identifikation von Grössenordnungen erstellt wurde, einige starke Vereinfachungen aufweist sowie aufgrund seiner organischen Entstehungsweise viele Redundanzen enthält, hilft aber bei der Strukturierung der umzusetzenden Berechnungen im neu zu gestaltenden Kosten- Nutzen-Tool PV.

**Abbildung 10-3: Modellstruktur des bestehenden Tischmodells DiMAP**



**Abbildung 10-4: Modellstruktur eines räumlich und nach Verkehrszweck differenzierten Kosten-Nutzen-Tools im Personenverkehr**



### 10.2.3 Beschreibung der zu erfassenden Wirkungen / Kosten / Nutzen und Datenbedarf

#### Personenverkehr

Wie mit der vorliegenden Machbarkeitsstudie bereits gezeigt, können die ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität für viele Wirkungen quantitativ erfasst werden. Andere Wirkungen (insbesondere im Bereich Raum und Wirtschaft) können zumindest qualitativ adressiert werden. Die nachfolgenden Vorschläge beinhalten Vorschläge, bei welchen Wirkungen eine Vertiefung sinnvoll ist. Dabei unterscheiden wir zwischen zwei verschiedenen Arten von Vertiefungen:

- Abklärungen, Analysen und Vertiefungen, die im Rahmen der Erstellung des Kosten-Nutzen-Tools PV sinnvoll sind und
- Grundlagenarbeiten, die als eigene Studie – unabhängig vom Kosten-Nutzen-Tool PV – anzugehen wären.

Die nachfolgende Abbildung 10-5 zeigt die im Personenverkehr **quantitativ** zu erfassenden Wirkungen mit ihren Kosten und Nutzen und die wichtigsten Datenquellen sowie die vorgeschlagenen Vertiefungen. Die Abbildung 10-6 fasst die **nicht zu quantifizierenden** Wirkungen im Personenverkehr zusammen.

#### Güterverkehr

Wie bereits erwähnt, schlagen wir vor, im Rahmen mit einem Kosten-Nutzen-Tool GV eine Einschätzung zur Grössenordnung der zu erwarteten Produktivitätsgewinne des Güterverkehrssektors zu erlangen. Im Vordergrund stehen:

- Eingesparte Fahrerkosten im Strassen- und Schienengüterverkehr,
- weitere klar der Digitalisierung zuzuweisende Produktivitätsgewinne in der Logistikkette,
- Kapazitätsgewinne in der Strasseninfrastruktur (integrale Betrachtung zusammen mit dem Personenverkehr).

Weiter können auch die sinkenden Unfallrisiken quantifiziert werden.

Abbildung 10-5: Quantifizierbare Wirkungen im Personenverkehr

Wirkung	Nutzen / Kosten	Un-sicherheit	Messung	Vertiefungen in DIMAP	Datenquellen / Datenauswertungen	Grundlagenstudie (ausserhalb DIMAP)
Erhöhte Effizienz der Mobilitätszeit			quantitativ		Zeitkostenansätze: VSS, KNA-Norm Unterwegszeiten / Durchschnittsgeschwindigkeiten: Mikrozensus	 Monetarisierung des Nutzens des automatisierten Fahrens (im Vergleich zum konventionellen Fahren)
MIV-Neuverkehr aufgrund neuer Nutzergruppen			quantitativ		Analyse des Verkehrsverhaltens der älteren Bevölkerung (bspw. Vergleich der 65- bis 70-Jährigen mit den über 75-Jährigen)	 Monetarisierung der Nutzenbewertung für den verbesserten Zugang neuer Nutzergruppen (v.a. ältere Bevölkerung) zur individualisierten, motorisierten Mobilität.
Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür			quantitativ		Analyse der Zu-Fuss-Wege zum Auto/Parkplatz	 Grundsätzlich erfasst mit der Bewertung des Zeitkostenansatzes für Zu- und Abgang, könnte evtl. in der Zahlungsbereitschaftsumfrage zum Nutzen des automatisierten Fahrens vertieft werden.
Erhöhte Kapazität der Strasseninfrastruktur			quantitativ		Plausibilisierung Staufunktion und Investitionskosten	 Im Rahmen von Verkehrsmodellierungen auf dem gesamten Schweizer Netz könnte die Staufunktionsproblematik bei zunehmender Verkehrsdichte analysiert werden.
Smarte Infrastruktur			quantitativ		Grobe Einschätzung der Kosten für die smarte Infrastruktur	 Weiterer Forschungsbedarf werden die laufenden Forschungspakete des SVI (Verkehr der Zukunft 2060) und des ASTRA (Auswirkungen des automatisierten Fahrens) zeigen
Unfallkosten			quantitativ		Abgleich mit ARE, Externe Kosten und Nutzen im Verkehr, und VSS, KNA-Norm	
Einsparungen beim ÖV			quantitativ		Literatur Expertenworkshop Abgleich mit BFS, Kosten und Finanzierung des Verkehrs	
Fahrzeugkosten (Mehrkosten der AV-Fahrzeuge)			quantitativ		Literatur Abgleich mit BFS, Kosten und Finanzierung im Verkehr	
Leerfahrten			quantitativ		Literatur / Expertenarbeiten Mikrozensus (vermutlich nur bedingt aussagekräftig)	 Eine Analyse potenzieller Leerfahrten mit einem Verkehrsmodell (agentenbasierte Modelle) könnte weitere Erkenntnisse liefern.
Carsharing			quantitativ		Literatur / Expertenarbeiten Mikrozensus	 Studien zur Carsharing-Bereitschaft können weitere Erkenntnisse bringen.
Ridesharing			quantitativ		Literatur / Expertenarbeiten Mikrozensus	 Im Rahmen von Verkehrsmodellierungen könnte diese Thematik analysiert werden (bspw. für den städtischen Verkehr analog ausl. Studien)
MIV-Neuverkehr aufgrund Zielwahländerung			quantitativ		Literatur / Expertenarbeiten Mikrozensus	 Verkehrsmodellierungen können zusätzliche Erkenntnisse bringen.
MIV-Neuverkehr aufgrund Verkehrsmittelwahländerung			quantitativ		Literatur / Expertenarbeiten Mikrozensus	 Verkehrsmodellierungen können zusätzliche Erkenntnisse bringen.
Externe Kosten			quantitativ		Abgleich mit ARE, Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs	
Gesundheitsnutzen Fussverkehr			quantitativ		Abgleich mit ARE, Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs	
vernachlässigbar			mittel			 nicht notwendig
klein			gross			 empfohlen
			sehr gross			 Anmerkung

Abbildung 10-6: Nicht zu quantifizierende Wirkungen im Personenverkehr

Wirkung Raum	Nutzen/ Kosten	Un- sicher- heit	Messung	Vertiefungen in DIMAP	Datenquellen / Datenauswertungen	Grundlagenstudie (ausserhalb DiMAP)
Steigende Attraktivität des ländlichen Raums			qualitativ	Kurze zusammenfassende Würdigung aus der Literatur	Literatur	Diese Thematik wäre im Rahmen von Spatial Economics Modellen oder Raumnutzungsmodellen anzugehen.
			qualitativ, quantitativ	Kurze zusammenfassende Würdigung aus der Literatur. Liegen Stadtentwicklungskonzepte vor, welche die Auswirkungen eines sinkenden Parkraumbedarfs verorten, könnte der Nutzen der frei gewordenen (v.a. öffentlichen) Räumen monetär bewertet werden.	Literatur	Diese Thematik ist im Forschungsbereich Stadtentwicklung anzusiedeln. Ein spannender Konnex besteht hier zur Thematik "Stadtklima" bei der Klimaanpassung (siehe Pilotprogramme Klimaanpassung des BAFU).
<b>Wirtschaft</b>						
Branchenspezifische Auswirkungen			qualitativ	Kurze zusammenfassende Würdigung aus der Literatur	Literatur	Diese Thematik wäre mit einer Marktanalyse und allenfalls mit einem Gleichgewichtsmodellansatz (Auswirkungen der veränderten Vorleistungsnachfrage der Autoindustrie für die Schweiz) anzugehen.
Veränderungen in einzelnen Berufsblöcken			qualitativ	Kurze zusammenfassende Würdigung aus der Literatur	Literatur	Diese Thematik wäre mit einer Markt- und Arbeitsplatzanalyse anzugehen.
Produktivitätssteigerungen infolge besserer Erreichbarkeiten			qualitativ	Kurze zusammenfassende Würdigung aus der Literatur	Literatur	Diese Thematik wäre im Rahmen von Spatial Economics Modellen anzugehen.
<b>Umwelt</b>						
Die massgeblichen Umweltwirkungen sind unter den quantifizierbaren Wirkungen aufgeführt						
<b>Regulativer Rahmen</b>						
Verteilungswirkung möglicher Marktformen			qualitativ, quantitativ	Abschätzung der Grenzen der Marktmacht von Plattform-Monopolisten. Ansätze zur Plattform-Regulierung	Literatur	Vertiefte Analyse zum regulativen Rahmen zur Thematik "Sharing" und "Mobilitäts-Servicewelt". Gestaltung des Marktzugangs, Datenhoheit, usw., aufbauend auf den laufenden Forschungspakete des SVI (Verkehr der Zukunft 2060) und des ASTRA (Auswirkungen des automatisierten Fahrens).
vernachlässigbar			mittel			nicht notwendig
klein			gross			empfohlen
			sehr gross			Anmerkung

#### 10.2.4 Minimalanforderungen an die Berechnungstools

Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Die zu erstellenden Kosten-Nutzen-Tools PV und GV sollen flexibel sein, damit neue Erkenntnisse ohne grossen Aufwand aufgenommen werden können. Weiter ist auf eine transparente, nachvollziehbare Berechnung zu achten.
- Das Kosten-Nutzen-Tool PV muss Stock-Flow-Berechnungen erlauben, damit einerseits das Phase-in automatisierter Fahrzeuge erfasst werden kann und andererseits der Trade-off zwischen Kapazitätsgewinnen, Mehrverkehr und Staustunden abbildbar werden. Sinnvollerweise ist eine jährliche Berechnung vorzusehen.
- Der Zeithorizont muss bei den beiden Kosten-Nutzen-Tool PV und GV mindestens bis zum vollständigen Phase-in automatisierter Fahrzeuge reichen.

*Welche **Wirkungszusammenhänge** mit welcher **vorgeschlagenen Methodik** zu erheben sind, ist im vorliegenden Bericht jeweils grün hervorgehoben.*

#### 10.2.5 Anforderungen an die Resultate und Resultatpräsentation

- Auswirkungen auf die Verkehrsleistung, mindestens getrennt nach Verkehrsträgern, und die Fahrzeugleistungen im MIV.
- Reale volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen in Mrd. CHF für die Jahre 2040 und 2080 (bzw. Zeitpunkt mit voller AV-Durchdringung).
- Die Transitionsphasen bis zum vollständigen Phase-in vollautomatisierter Fahrzeuge sind darzustellen.
- Die qualitativen Kosten und Nutzen sind tabellarisch zusammenfassend darzustellen.



## 11 Anhang A: Expertenworkshops

Zur inhaltlichen Abstützung der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurden zwei Expertenworkshops durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Workshops wurden in ausführlichen Protokollen – ergänzend zur Powerpoint-Präsentation – dokumentiert.

Im Zentrum des **ersten Expertenworkshops** vom 13. Dezember 2017 stand die Diskussion und Definition der drei Szenarien. Folgende Personen haben am ersten Expertenworkshop teilgenommen:

Experten:

- Roman Frick (Infras AG)
- Daniel Müller-Jentsch (avenir suisse)
- René Schumann (HES-SO)
- Hans Werder (Avenir Mobilité)

ARE:

- Franziska Borer Blindenbacher
- Nicole Mathys
- Martin Tschopp

Ecoplan

- André Müller
- René Neuenschwander
- Julian Frank

Thema des **zweiten Expertenworkshops** vom 22. Januar 2018 war die Analyse der Wirkungen der drei Szenarien. Ausgehend vom Wirkungsmodell wurden für die einzelnen Szenarien die Wirkungen auf die Verkehrsleistung im Personenverkehr und davon abgeleitet auf Raum, Wirtschaft und Umwelt diskutiert. Weiter zur Debatte standen die Auswirkungen auf das Regulator resp. den Regulierungsbedarf, das «Phase-in» vollautomatisierter Fahrzeuge sowie die Auswirkungen im Güterverkehr. Folgende Personen haben am zweiten Expertenworkshop teilgenommen:

Experten:

- Jörg Beckmann (Mobilitätsakademie)
- Roman Frick (Infras AG)
- Dirk Helbing (ETHZ)
- Sonja Roos (Mobility)
- Thomas Sauter-Servaes (ZHAW)
- Hans Werder (Avenir Mobilité)

ARE:

- Franziska Borer Blindenbacher
- Christina Hürzeler
- Nicole Mathys
- Martin Tschopp

Ecoplan

- André Müller
- René Neuenschwander
- Julian Frank

## Literaturverzeichnis

- Anderson James, Kalra Nidhi, Stanley Karlyn, Sorensen Paul, Samaras Constantine, Oluwatola Oluwatobi (2016)  
Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers. Rand Corporation. Santa Monica.
- Andrew J., Douma F. (2006)  
Developing a Model for Car Sharing Potential in Twin Cities Neighborhoods. TRB 2006 Annual Meeting.
- Anthoff D., Tol R. S. J. (2013)  
The uncertainty about the social cost of carbon: A decomposition analysis using FUND. Climatic Change 117 (3):515–30.
- ASTRA (2017)  
Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. Bern.
- Axhausen et al. (2015)  
Gesamtwirtschaftliche Effekte des OeV mit besonderer Berücksichtigung der Verdichtungs- und Agglomerationseffekte. Forschungsbericht des SBB Forschungsfonds.
- BMW (2017)  
Automatisiertes Fahren bei der BMW Group, Presse-Information vom 30. Mai 2017.
- Bösch Patrick, Ciardi Francesco, Axhausen Kay (2015a)  
Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. ETH Zürich. Zürich.
- Bösch Patrick, Ciardi Francesco, Axhausen Kay (2015b)  
Required Autonomous Vehicle Fleet Sizes to Serve Different Levels of Demand. ETH Zürich. Zürich.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2011)  
Nationales Güterverkehrsmodell des UVEK, Basismodell 2005: Modellbeschreibung und Validierung. Bern.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2016)  
Verkehrsperspektiven 2040. Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz.
- Bundesamt für Statistik (2011)  
Schweizerische Input-Output-Tabelle 2011.
- Bundesamt für Statistik (2017)  
Kosten und Finanzierung des Verkehrs 2014.
- Bundesamt für Verkehr BAV (2016)  
European Train Control System ETCS, Standbericht 2016. Bern.

- Bundesrat (2016a)  
Strategie «Digitale Schweiz». Bern.
- Bundesrat (2016b)  
Automatisiertes Fahren. Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 "Automobilität". Bern.
- Burns Lawrence, Jordan William, Scarborough Bonnie (2013)  
Transforming Personal Mobility. The Earth Institute. Columbia University. New York.
- Cacilo Andrej, Schmidt Sarah, Wittlinger Philipp, Herrmann, Florian, Bauer Wilhelm, Sawade Oliver, Doderer Hannes, Hartig Matthias, Scholz Volker (2015)  
Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen. Fraunhofer IAO. München.
- CEDR (2017)  
MAASiFIE. Impact Assessment. Conference of European Directors of Roads.
- Childress Suzanne, Nichols Brice Charlton Billy, Coe Stefan (2014)  
Using an Activity-Based Model To Explore Possible Impacts of Automated Vehicles. Puget Sound Regional Council. Seattle.
- Cici B., Markopoulou A., Frias-Martinez E., Laoutaris N. (2014)  
Assessing the Potential of Ride-Sharing Using Mobile and Social Data: A Tale of Four Cities.
- Clements Lewis, Kockelman Kara (2017)  
Economic Effects of Automated Vehicles. Transportation Research Record No. 2602
- Continental (2016)  
Fährt in Zukunft der Fahrer das Auto oder das Auto den Fahrer?
- Dobusch L. (2016)  
Plattformökonomie zwischen neuen Monopolen und Sharing Economy.
- Dungs Jennifer, Duwe Daniel, Herrmann Florian, Schmidt Alexander, Stegmüller Sebastian, Gaydoul Ralf, Peters Peter Lukas, Sohl Maik (2016)  
The Value of Time. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren. Fraunhofer IAO. München.
- EBP (2017)  
Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag. Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz. Zürich.
- Ecoplan, Infrac (2011)  
Wirtschaftlichkeitsstudie NEAT 2010.
- Ecoplan, Infrac (2014)  
Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung.

- Fagnant Daniel, Kockelman Kara (2015)  
Preparing a Nation for Autonomous Vehicles. Opportunities, Barriers and Policy Recommendations for Capitalizing on Self-Driven Vehicles. Zürich.
- Friedrich, Bernhard (2015)  
Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In: Maurer et al. (2015), Autonomes Fahren. Technische rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin.
- Furuhata M., Dessouky M., Ordóñez F, Brunet M-E, Wang X., Koenig S. (2013)  
Ridesharing: The state-of-the-art and future directions. In: Transportation Research Part B 57 (2013), pp 28-46.
- Gasser Tom (2015)  
Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge. In: Maurer et al. (2015), Autonomes Fahren. Technische rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin.
- Gertz Carsten, Dörneman Martina (2015)  
Wirkungen des autonomen / fahrerlosen Fahrens in der Stadt. Entwicklung von Szenarien und Ableitung der Wirkungsketten. Freie Hansestadt Bremen. Bremen.
- Heineke Kersten, Philipp Kampshoff, Armen Mkrtchyan, and Emily Shao. "Self-Driving Car Technology: When will the Robots Hit the Road?" May 2017.
- Heinrichs Dirk (2015)  
Autonomes Fahren und Stadtstruktur In: Maurer et al. (2015), Autonomes Fahren. Technische rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Berlin.
- Hope C. (2011)  
The social cost of CO2 from the PAGE09 model. Working paper, Judge Business School, Cambridge University.
- Hörl Sebastian, Ciari Francesco, Axhausen Kay W (2016)  
Recent perspectives on the impact of autonomous vehicles. Working paper. Institute for Transport Planning and Systems ETH Zürich. Zürich.
- Infras (2017)  
Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060). Zukunftsthemen und Szenarien. Zürich.
- Interface (2015)  
Evaluation Carsharing. Summary.
- Interface, Infras (2006)  
Evaluation Car-Sharing. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie.
- IRSE (2016)  
ERTMS Level 4, Train Convoys or Virtual Coupling. International Technical Committee, Report on topic 39. IRSE News, Issue 219, February 2016.

- Jalali R., Koohi-Fayegh S., El-Khatib K., Hoornweg D., Li H. (2017)  
Investigating the Potential of Ridesharing to Reduce Vehicle Emissions. Urban Planning (ISSN: 2183–7635) 2017, Volume 2, Issue 2, pp 26–40. Jonas Adam, Byrd Stephen, Shanker Ravi, Ono Massahiro (2014)  
Nikola's Revenge: TSLA's New Path of Disruption.
- Kim Kyeil, Rousseau Guy, Freedman Joel, Nicholson Jonathan (2015)  
The Travel Impact of Autonomous Vehicles in Metro Atlanta through Activity-Based Modeling. 15<sup>th</sup> TRB National Transportation Planning Applications Conference.
- Klaussner Stefan, Irtenkauf Philipp (2017)  
Autonome Kolonnenfahrt auf Autobahnen. Stand der Technik, Umsetzung. Auswirkungen auf den Verkehrsfluss. Universität Stuttgart. Stuttgart.
- Kockelman Kara, Boyles Stephen, Stone Peter, Fagnant Dan, Patel Rahul, Levin Michael, Sharon Guni, Simoni Michele, Albert Michael, Fritz Hagen, Hutchinson Rebecca, Bansal Prateek, Domeneke Gleb, Bujanovic Pavle, Kim Bumsik, Pourrahmani Elham, Agrawal Sudesh, Li Tianxin, Hanna Josiah, Nichols Aqshems, Li Jia (2017)  
An Assessment of Autonomous Vehicles: Traffic Impacts and Infrastructure Needs. Final Report. University of Texas at Austin. Austin.
- McKinsey (2016)  
Automotive revolution perspective towards 2030.
- Meyer J., Bösch P.M, Becker H. und K.W. Axhausen (2016)  
Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung 1229, IVT Zürich.
- Miller Jennifer (2015)  
Autonomous Vehicles. Implications for Employment Demand.
- Mobility (2018)  
Medienmitteilung zum Jahresergebnis 2017 vom 22. März 2018. Rotkreuz.
- Nordhaus W. D. (2014)  
Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists 1 (1/2):273–312.
- Pinjari Abdul Rawoof, Augustin Bertho, Menon Nikhil (2013)  
Highway Capacity Impacts of Autonomous Vehicles. University of South Florida.
- Prognos (2016)  
Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040. Studie im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE. Bern.
- Rapp Trans AG (2017)  
Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandshaltesystemen sowie des Platooning von Strassenfahrzeugen – Machbarkeitsanalyse. Studie im Auftrag des Bundesamts für Strassen ASTRA. Basel.

- Rothengatter Werner (2017)  
Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible?  
In: Transport Policy 59 (2017), S. 124-133.
- Schreier H. (2016)  
EVA-CS: Evaluation neuartiger CarSharing-Angebote in München. Kurzdarstellung,  
Arbeitstagung bcs vom 24.6.2016, Göttingen.
- Schuster Th. D., Byrne J., Corbett J., Schreuder Y. (2005)  
Assessing the Potential Extent of Carsharing. A New Method and Its Implications. in:  
Journal of the Transportation Research Board, No. 1927, Transportation Research  
Board of the National Academies, Washington D.C., 2005, pp. 174-181.
- Shladover Steven, Su Dongyan, Lu Xiao-Yun (2012)  
Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway Traffic Flow. Conference  
Paper. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.  
Berkeley.
- Spieser Kevin, Treleaven Kyle, Zhang Rick, Frazzoli Emilio, Morton Daniel, Pavone Marco  
(2014)  
Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-  
Demand Systems. A Case Study in Singapore. MIT. Cambridge.
- Stass Stephan (2011)  
Automated Driving. Industry Perspective. Robert Bosch GmbH.
- Thakur Praveen, Klinghorn Robert, Grace Renan (2016)  
Urban form and function in the autonomous era. KPMG. Melbourne.
- Tientrakool Patcharinee, Ho Ya-Chi, Maxemchuk (2011)  
Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors  
for collision Avoidance. Columbia University. New York.
- U.S. Department of Commerce (2015)  
The Employment Impact of Autonomous Vehicles. Washington D.C.
- VSS Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2009), Schweizer Norm  
SN 641 822a, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Zeitkosten im  
Personenverkehr.
- Walker Jonathan, Johnson Charlie (2016)  
Peak Car Ownership. The Market Opportunity of Electric Automated Mobility Services.  
Rocky Mountain Institute.
- Zhang Wenwen (2017)  
The interaction between land use and transportation in the era of shared autonomous  
vehicles: a simulation model. Dissertation, Georgia Institute of Technology.