

GRUNDLAGEN

Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität

Schlussbericht



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Office fédéral du développement territorial ARE
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE
Uffizi federal da svilup dal territori ARE

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Autorinnen und Autoren

INFRAS AG, Zürich

Martin Peter (Projektleiter)

Anne Greinus (Stv. Projektleiterin)

Vanessa Angst

Caspar Esche

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin

Rita Cyganski

Daniel Krajzewicz

Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen

Andreas Justen (ARE)

Raphaël Lamotte (ARE)

Projektbegleitung ARE

Raphaël Lamotte (Projektleiter)

Joséphine Leuba (Stv. Projektleiterin)

Nicole Mathys

Begleitgruppe

Franziska Borer Blindenbacher & Martin Tschopp (ARE)

Valentino Scarcia (ASTRA)

Markus Liechti & Philipp Mosca (BAV)

Raphael Scherrer (BAKOM)

Max Schulthess (BAZL)

Christoph Schreyer & Sebastian Dickenmann (BFE)

Basil Oberholzer (BAFU)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

Bezugsquelle

www.are.admin.ch

Inhalt

Kurzzusammenfassung	7
Résumé	9
Riassunto	12
Summary	15
Zusammenfassung	18
1. Volkswirtschaftliche Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Mobilität der Zukunft	18
2. Beschreibung der untersuchten Szenarien im Personenverkehr	19
3. Auswirkungen der Digitalisierung im Personenverkehr	22
4. Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität	27
5. Chancen und Risiken der untersuchten Eckszenarien und Empfehlungen	32
5.1. Szenario 1 – Automatisierung	32
5.2. Szenario 2 - Sharing	33
5.3. Szenario 3 - Servicewelt	35
1. Vorbemerkungen	37
1.1. Ziel und Auftrag	37
1.2. Einbettung in die Projektlandschaft	40
2. Systemgrenzen und Vorgehen	43
2.1. Systemgrenzen	43
2.2. Vorgehen und Methodik	46
2.2.1. Konzeptionelle Eckpunkte	46
2.2.2. Vorgehen zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen	48
2.2.3. Vorgehen volkswirtschaftliche Auswirkungen	53

3.	Herleitung der zentralen Achsen der Szenarien	58
3.1.	Technologie: Automatisierung Personen- und Güterverkehr	59
3.2.	Verhalten: Sharing und Kollaboration	63
3.2.1.	Einleitung	63
3.2.2.	Personenverkehr	66
3.2.3.	Güterverkehr	69
3.3.	Zusammenfassender Überblick	72
4.	Literaturreview	74
4.1.	Vorgehen Literaturreview	74
4.2.	Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018)	78
4.3.	Definition der Szenarien zur Zukunft der Mobilität in der Schweiz	79
4.4.	Literaturreview direkte (ceteris paribus) und verkehrliche Wirkungen	80
4.4.1.	Personenverkehr	81
4.4.2.	Güterverkehr	106
4.4.3.	Auswirkung der Automatisierung auf die Infrastruktur	115
4.4.4.	Räumliche Wirkungen	126
4.4.5.	Indirekte/Sekundäre Wirkungen: Gesundheit und Umwelt	134
4.4.6.	Marktstrukturen und wettbewerbsökonomische Auswirkungen	140
5.	Herleitung der Szenarien	151
5.1.	Szenarien im Personenverkehr	151
5.1.1.	Überblick Szenarien Personenverkehr	151
5.1.2.	Szenario 0 (Referenz)	154
5.1.3.	Szenario 1: Automatisierung im Personenverkehr	157
5.1.4.	Szenario 2: Sharing im Personenverkehr	163
5.1.5.	Szenario 3: Servicewelt («Mobility as a Service»)	167
5.1.6.	Zusammenfassender Überblick Szenarien: Personenverkehr	171
5.1.7.	Ergänzende Sensitivitätsrechnungen im Personenverkehr	172
5.2.	Szenarien im Güterverkehr	174
5.2.1.	Überblick Szenarien Güterverkehr	174
5.2.2.	Szenario 0 (Referenz)	175
5.2.3.	Szenario 1: Automatisierung im Güterverkehr	178
5.2.4.	Szenario 2: Sharing im Güterverkehr	182
5.2.5.	Szenario 3: Servicewelt	185
5.2.6.	Zusammenfassender Überblick Szenarien: Güterverkehr	187

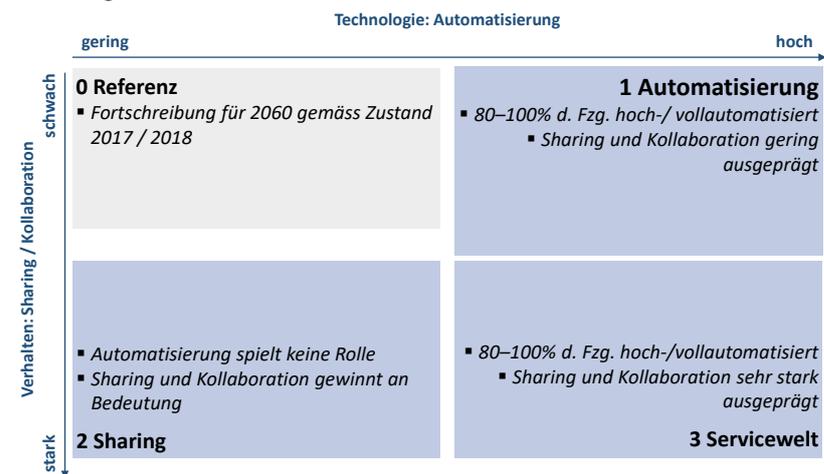
5.3.	Infrastruktur je Szenario (Personen- und Güterverkehr)	187
5.3.1.	Kapazitäten	187
5.3.2.	Annahmen zu Kostenentwicklungen	190
6.	Verkehrliche Wirkungen	192
6.1.	Vorbemerkungen	192
6.2.	Personenverkehr	194
6.2.1.	Übersicht zu den verkehrlichen Wirkungen	194
6.2.2.	Veränderung des Aufkommens	200
6.2.3.	Veränderung der Verkehrsleistung	203
6.2.4.	Veränderung der Fahrleistungen MIV	205
6.2.5.	Veränderung von Fahrzeugstunden im MIV	207
6.2.6.	Abschätzungen zu neuen Angebotsformen im motorisierten Verkehr	209
6.3.	Güterverkehr	212
6.3.1.	Übersicht zu den verkehrlichen Wirkungen	212
6.3.2.	Veränderung des Aufkommens und der Verkehrsleistung	216
6.3.3.	Veränderung der Fahrleistungen im Strassengüterverkehr	219
6.3.4.	Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr	220
6.4.	Fahrleistungen nach Streckentypen	222
7.	Mikroökonomische Analyse: Kosten und Nutzen direkter und indirekter Effekte	224
7.1.	Kosten und Nutzen beim Personenverkehr	224
7.1.1.	Übersicht zu den direkten und indirekten Effekten	224
7.1.2.	Direkte Effekte (ceteris paribus Wirkungen)	227
7.1.3.	Indirekte Effekte	232
7.2.	Kosten und Nutzen beim Güterverkehr	239
7.2.1.	Übersicht zu den direkten und indirekten Effekten	239
7.2.2.	Direkte Effekte (ceteris paribus Wirkungen)	241
7.2.3.	Indirekte Effekte	242
7.3.	Infrastruktur	247
7.4.	Vergleich der Ergebnisse mit der Machbarkeitsstudie	247
8.	Meso- und makroökonomische Auswirkungen (Wertschöpfung und Beschäftigung)	251
8.1.	Literaturanalyse	251
8.1.1.	Umsatzeffekte	252
8.1.2.	Beschäftigungseffekte	256

8.2.	Quantitative Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung	257
8.2.1.	Szenario 1 – Automatisierung	259
8.2.2.	Szenario 2 – Sharing	264
8.2.3.	Szenario 3 – Servicewelt	266
8.2.4.	Fazit der gesamtwirtschaftlichen Effekten auf Wertschöpfung und Beschäftigung	269
8.3.	Übersicht der volkswirtschaftlichen Analyse auf nationaler und Branchen-Ebene	274
9.	Synthese und Empfehlungen	278
9.1.	Szenario 1 – Automatisierung	278
9.2.	Szenario 2 – Sharing	283
9.3.	Szenario 3 - Servicewelt	288
9.4.	Gesamtfazit	292
Annex		297
A1.	Grundlagen NPVM	298
A2.	Sensitivitätsrechnungen verkehrlicher Wirkungen im Personenverkehr	300
A2.1.	Zusammenfassung	300
A2.2.	Szenario 1	301
A2.3.	Szenario 2	306
A2.4.	Szenario 3	310
A3.	Input-Output-Tabelle Referenzszenario Jahr 2060	316
Abbildungsverzeichnis		318
Tabellenverzeichnis		323
Glossar		326
Literatur		327

Kurzzusammenfassung: *Digitalisierung in der Mobilität bringt hohe Nutzen für BenutzerInnen und Effizienzsteigerungen in der Gesamtwirtschaft – unkoordiniert droht Verkehrsexplosion und Zunahme der Importe*

Diese Studie untersucht die wirtschaftlichen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität durch den Vergleich von 3 Eckszenarien mit einem Referenzszenario.

Abbildung 1: Übersicht zu den Eckszenarien



Grafik INFRAS.

Die mikroökonomische Kosten-Nutzen-Bilanz (KNA) für die VerkehrsteilnehmerInnen ist in allen drei Eckszenarien positiv: Der Nettonutzen ist in den Szenarien mit autonomen Fahrzeugen am grössten, was insbesondere auf die effizienter nutzbare Mobilitätszeit (keine Lenkzeit mehr) bzw. Veränderung der Reisezeitbewertung und die Verringerung der Unfallkosten zurückzuführen ist. Der Nutzen des Sharing ergibt sich in erster Linie aus kürzeren Fahrzeiten aufgrund von weniger Staus sowie aus geringeren Mobilitätskosten.

Für die Wirtschaft bringt die Digitalisierung zwei zentrale Elemente von Effizienzsteigerung: Die Reduktion von Arbeitskosten, weil dank Automatisierung erheblich weniger Fahrpersonal benötigt wird, und die Reduktion des Ressourceneinsatzes, weil das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen (Sharing) zunimmt.

Wenn nur Szenario 1 «Automatisierung» allein und unkoordiniert erfolgt, droht ein erhebliches Wachstum der Fahrzeugkilometer gegenüber der Referenzentwicklung, weil die Nachfrage zunimmt und gleichzeitig die Fahrzeuge aber schlechter ausgelastet sind. Dies führt zu einem merklichen Anstieg der Importe von Fahrzeugen und Treibstoffen, was die inländische

Wertschöpfung der Ausgaben der Schweizer Haushalte senkt und entsprechend negative Beschäftigungseffekte kumuliert (weniger Binnennachfrage, Wegfall Fahrpersonal).

Das Szenario 2 «Sharing» hat leicht positive Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung. Dank der effizienteren Nutzung von Ressourcen und Fahrten müssen die Haushalte weniger für ihre Mobilitätsbedürfnisse ausgeben und können das eingesparte Einkommen für andere - in der Schweiz wertschöpfungsintensivere - Konsumgüter nutzen.

Im Szenario 3 «Servicewelt» resultiert dank der Kombination der beiden Effizienzschienen die höchste Effizienzsteigerung im Quervergleich der drei Eckszenarien. Dies resultiert gesamtwirtschaftlich in einer tieferen Beschäftigtenzahl im Vergleich zur Referenz. Die Durchdringung der geteilten, automatisierten Fahrzeuge/Fahrten führt zu einer höheren Mobilitätsnachfrage, weil neue Nutzergruppen Zugang zur Mobilität erhalten. Dank der gemeinsamen Nutzung ist die durchschnittliche Auslastung pro Fahrzeug jedoch höher als bei herkömmlichen Autos, wodurch die Ausgaben der Haushalte für Mobilität sinken. Die Haushalte setzen das eingesparte Geld für den Konsum anderer Güter, welche eine höhere Wertschöpfungstiefe in der Schweiz haben, ein. Deshalb resultiert in der Summe eine leicht höhere Wertschöpfung als in der Referenz.

Tabelle 1: Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Analyse im Vergleich zur Referenz 2060 in der Übersicht

2060, Δ Referenz	Szenario 1 Automat.	Szenario 2 Sharing	Szenario 3 Servicewelt
Wertschöpfung	↘ -8.6 Mrd. (-0.8 %)	↗ +3.8 Mrd. (+0.4 %)	↗ +3.2 Mrd. (+0.3 %)
Beschäftigung (VZÄ)	↘ -55'000 (-1.2 %)	↗ +12'000 (+0.3 %)	↘ -60'000 (-1.4 %)
KNA total	↑ +19.6 Mrd.	↗ +7.4 Mrd.	↑ +25.0 Mrd.
davon delta Reisezeit Stammverkehr MIV	+2.8 Mrd. ↗	+3.9 Mrd. ↗	+7.9 Mrd. ↗
davon delta Bewertung Reisezeit	+9.2 Mrd. ↗	+1.8 Mrd. ↗	+5.5 Mrd. ↗
davon delta Unfallkosten	+8.6 Mrd. ↗	-0.8 Mrd. ↘	+8.4 Mrd. ↗
davon andere Effekte	-1.0 Mrd. ↘	+2.5 Mrd. ↗	+3.2 Mrd. ↗

Legende: ↑ starke Zunahme, ↗ leichte Zunahme, → unverändert, ↘ leichte Abnahme, ↓ starke Abnahme

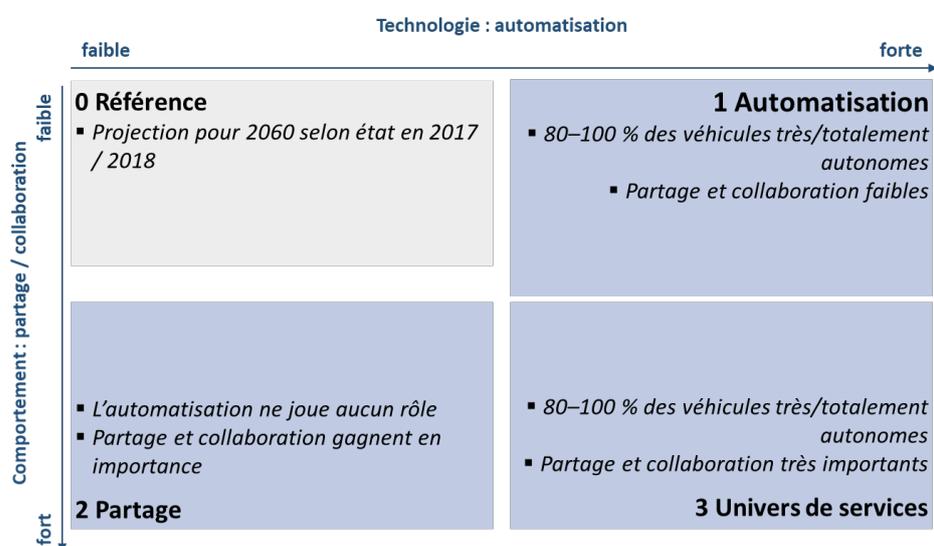
Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Die Digitalisierung bringt also Vorteile für die Nutzer, aber auch Herausforderungen für die Gesellschaft, vor allem im Bereich der Beschäftigung und des Umweltschutzes. Diese zukünftigen Entwicklungen sollten in den aktuellen politischen Debatten berücksichtigt werden, z.B. Einführung von Mobility Pricing, Eindämmung der Zersiedlung, Verbreitung von umweltfreundlichen Fahrzeugen auf Strasse und Schiene.

Résumé: la numérisation dans le domaine de la mobilité engendre de grands avantages pour les utilisateurs et, dans l'ensemble, améliore les rendements économiques. Mais sans coordination, les flux de transport risquent d'exploser et les importations d'augmenter.

La présente étude évalue les conséquences économiques de la numérisation dans la mobilité en comparant trois scénarios différents avec un scénario de référence.

Figure 2 : Aperçu des scénarios



Graphique INFRAS.

Les résultats de l'analyse microéconomique coût-bénéfice (ACB) pour les usagers de la route sont positifs dans les trois scénarios. L'avantage net est plus important dans les scénarios avec véhicules autonomes, ce qui s'explique en particulier par l'augmentation du temps de déplacement utilisable efficacement (il n'y a plus de temps de conduite) ou par la modification de l'évaluation du temps de déplacement ainsi que par la réduction des coûts liés aux accidents. Les principaux bénéfices du « partage » sont le raccourcissement des temps de trajet, qui résulte de la diminution des embouteillages, ainsi que la réduction des coûts de mobilité. La numérisation s'accompagne de deux éléments clés qui améliorent les rendements économiques : la diminution des coûts du travail, car l'automatisation permet de réduire considérablement le personnel de conduite, et la diminution des ressources engagées, car le partage des trajets et des véhicules (*sharing*) est en augmentation.

Si seul le scénario 1 « Automatisation » est mis en place et qu'aucune coordination n'est assurée, les véhicule-kilomètres risquent d'augmenter de manière significative par rapport à l'évolution de référence car la demande augmentera tandis que les véhicules seront moins bien exploités. Cela entraînerait une augmentation sensible des importations de véhicules et de carburants, ce qui réduirait la valeur ajoutée intérieure créée par les dépenses des ménages suisses et aurait donc des effets négatifs sur l'emploi (diminution de la demande interne, réduction du personnel de conduite).

Le scénario 2 « Partage » a des effets légèrement positifs sur la valeur ajoutée et l'emploi. Grâce à une exploitation plus efficace des ressources et des trajets, les ménages dépensent moins d'argent pour leurs besoins en mobilité et peuvent utiliser le revenu ainsi économisé pour d'autres biens de consommation (qui créent plus de valeur en Suisse).

Parmi les trois scénarios envisagés, le scénario 3 « Univers de services », qui associe les deux améliorations de rendement, offre le plus grand gain. Dans ce cas de figure, l'économie dans son ensemble compterait moins de salariés qu'avec le scénario de référence. La pénétration des véhicules/trajets partagés et automatisés permet à de nouveaux groupes d'utilisateurs d'avoir accès à la mobilité et entraîne ainsi une augmentation de la demande dans ce domaine. Toutefois, grâce à la mobilité partagée, le taux d'utilisation moyen des véhicules est plus élevé que pour les voitures traditionnelles, ce qui réduit les dépenses des ménages en matière de mobilité. Ceux-ci utilisent l'argent ainsi économisé pour la consommation d'autres biens qui créent plus de valeur en Suisse. Par conséquent, la valeur ajoutée totale est légèrement plus élevée dans ce scénario que dans le scénario de référence.

Tableau 1 : Aperçu des résultats de l'analyse économique en comparaison avec le scénario de référence

2060, Δ référence	Scénario 1 Automat.	Scénario 2 Partage	Scénario 3 Univers de services
Valeur ajoutée	↘ -8,6 mrd (-0,8 %)	↗ +3,8 mrd (+0,4 %)	↗ +3,2 mrd (+0,3 %)
Emplois (EPT)	↘ -55 000 (-1,2 %)	↗ +12 000 (+0,3 %)	↘ -60 000 (-1,4 %)
Total ACB	↑ +19,6 mrd	↗ +7,4 mrd	↑ +25,0 mrd
dont modification du temps de déplacement dans le trafic de base TIM	+2,8 mrd ↗	+3,9 mrd ↗	+7,9 mrd ↗
dont modification de l'évaluation du temps de déplacement	+9,2 mrd ↗	+1,8 mrd ↗	+5,5 mrd ↗
dont modification des coûts liés aux accidents	+8,6 mrd ↗	-0,8 mrd ↘	+8,4 mrd ↗
dont autres effets	-1,0 mrd ↘	+2,5 mrd ↗	+3,2 mrd ↗

Légende des flèches : ↑ forte augmentation, ↗ légère augmentation, → inchangé, ↘ légère diminution, ↓ forte diminution
ACB = analyse coût-bénéfice (du point de vue microéconomique)

Tableau INFRAS/DLR. Source : propres calculs.

Pour conclure, la numérisation présente des avantages pour les utilisateurs, mais soulève également des enjeux sociétaux, principalement dans les domaines de l'emploi et de la protection de l'environnement. Ces évolutions futures doivent être prises en compte dans les débats politiques actuels tels que la tarification de la mobilité, la lutte contre le mitage du territoire et la généralisation des véhicules plus respectueux de l'environnement dans le trafic routier et ferroviaire.

Riassunto: La digitalizzazione nella mobilità comporta grandi benefici per gli utenti e guadagni in termini di efficienza per l'economia nel suo complesso. Se però non viene coordinata, c'è il rischio di un'esplosione del traffico e di un aumento delle importazioni

Questo studio esamina le conseguenze economiche della digitalizzazione nella mobilità confrontando 3 scenari estremi con uno scenario di riferimento.

Figura 3: Panoramica degli scenari estremi

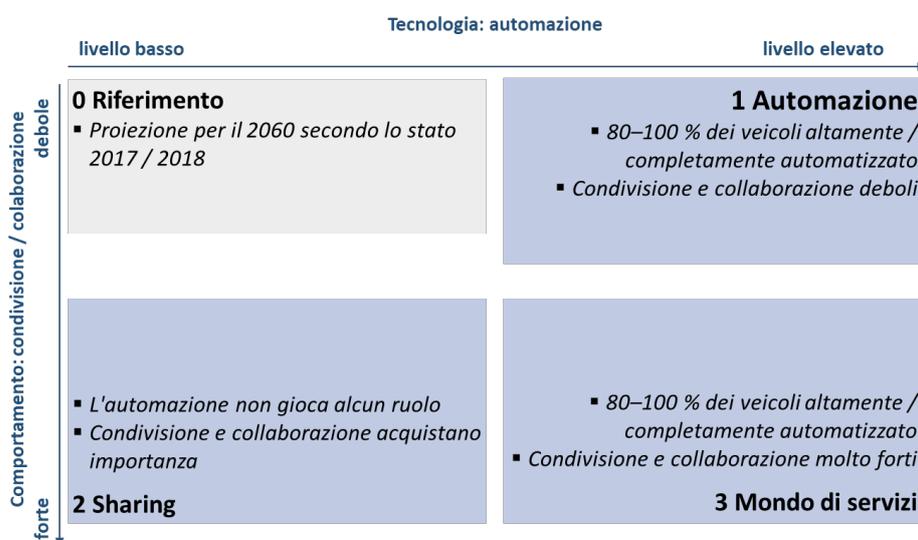


Grafico INFRAS.

Il bilancio microeconomico costi-benefici (CBA) per gli utenti della strada è positivo in tutti e tre gli scenari estremi: il beneficio netto è maggiore negli scenari con veicoli autonomi, il che è dovuto in particolare al fatto che il tempo trascorso in fase di mobilità è utilizzabile in modo più efficiente (non più come tempo di guida), vale a dire al cambiamento della valutazione del tempo di viaggio e alla riduzione dei costi degli incidenti. I benefici della condivisione sono principalmente tempi di percorrenza più brevi a causa di una minore congestione delle vie di traffico e costi di mobilità più bassi.

Per l'economia, la digitalizzazione porta due elementi chiave in termini di guadagno di efficienza: la riduzione del costo del lavoro, perché grazie all'automazione sono necessari molti meno autisti, e la riduzione dell'uso delle risorse, perché la condivisione dei viaggi e dei veicoli (sharing) aumenta.

Se solo lo scenario 1 «Automazione» viene realizzato, e in modo non coordinato, sussiste il rischio di una crescita significativa dei chilometri-veicolo rispetto allo sviluppo di riferimento,

perché la domanda aumenta e allo stesso tempo il grado di utilizzazione dei veicoli peggiora. Questo porta a un notevole aumento delle importazioni di veicoli e carburanti, che riduce il valore aggiunto interno delle uscite delle economie domestiche svizzere e cumula corrispondenti effetti negativi sull'occupazione (meno domanda interna, eliminazione di personale di guida).

Lo scenario 2 «Sharing» ha effetti leggermente positivi sulla creazione di valore e sull'occupazione. Grazie all'uso più efficiente delle risorse e dei viaggi, le economie domestiche devono spendere meno per le loro esigenze di mobilità e possono utilizzare il reddito risparmiato per altri beni di consumo a maggior valore aggiunto in Svizzera.

Lo scenario 3 «Mondo dei servizi» è quello da cui risulta il maggiore incremento dell'efficienza nel confronto incrociato dei tre scenari estremi, grazie alla combinazione dei due approcci per aumentare l'efficienza. A livello di economia generale, questo si traduce in un numero inferiore di occupati rispetto allo scenario di riferimento. La penetrazione di veicoli/viaggi condivisi e automatizzati porta a una maggiore domanda di mobilità poiché nuovi gruppi di utenti vi hanno accesso. Tuttavia, grazie alla condivisione, il grado di utilizzazione medio dei veicoli è superiore a quello delle auto tradizionali, e questo comporta una riduzione della spesa delle economie domestiche per la mobilità. Le economie domestiche usano il denaro risparmiato per il consumo di altri beni che hanno un valore aggiunto maggiore in Svizzera. Pertanto, la creazione totale di valore è leggermente superiore a quella dello scenario di riferimento.

Tabella 1: Panoramica dei risultati dell'analisi economica rispetto allo scenario di riferimento

2060, Δ Riferimento	Scenario 1 Automazione	Scenario 2 Sharing	Scenario 3 Mondo dei servizi
Creazione di valore	↘ -8,6 mia. (-0,8 %)	↗ +3,8 mia. (+0,4 %)	↗ +3,2 mia. (+0,3 %)
Occupazione (FTE)	↘ -55 000 (-1,2 %)	↗ +12 000 (+0,3 %)	↘ -60 000 (-1,4 %)
Totale CBA	↑ +19,6 mia.	↗ +7,4 mia.	↑ +25,0 mia.
di cui variazione del tempo di viaggio nel traffico individuale motorizzato regolare	+2,8 mia. ↗	+3,9 mia. ↗	+7,9 mia. ↗
di cui cambiamento nella valutazione del tempo di viaggio	+9,2 mia. ↗	+1,8 mia. ↗	+5,5 mia. ↗
di cui variazione dei costi degli incidenti	+8,6 mia. ↗	-0,8 mia. ↘	+8,4 mia. ↗
di cui altri effetti	-1,0 mia. ↘	+2,5 mia. ↗	+3,2 mia. ↗

Legenda frecce: ↑ forte aumento, ↗ leggero aumento, → invariato, ↘ leggera diminuzione, ↙ forte diminuzione
CBA = analisi costi-benefici (visione microeconomica)

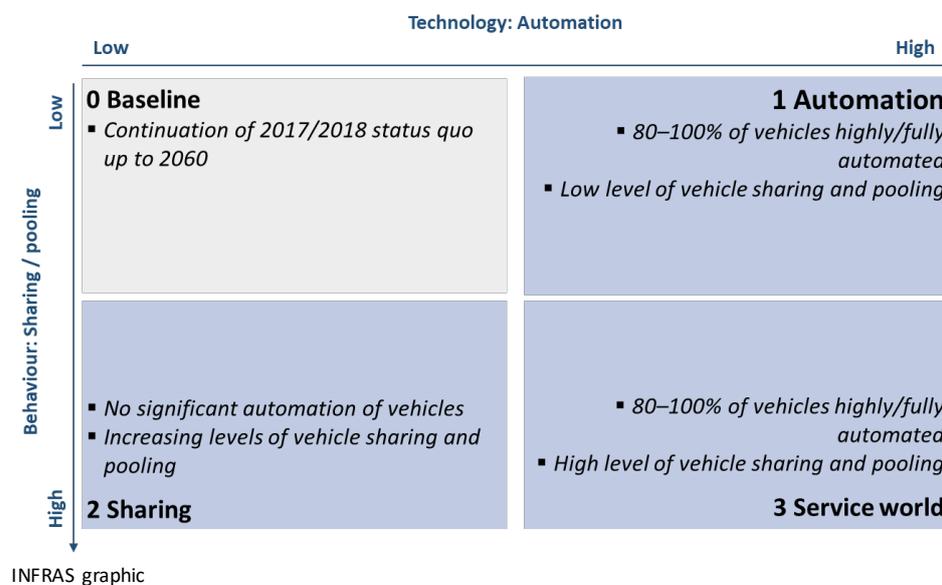
Tabella INFRAS/DLR. Fonte: calcolo proprio.

La digitalizzazione comporta quindi benefici per gli utenti, ma anche sfide per la società, soprattutto in termini di occupazione e di protezione dell'ambiente. Questi sviluppi futuri dovrebbero essere presi in considerazione negli attuali dibattiti politici, ad esempio l'introduzione del mobility pricing, il contenimento della dispersione degli insediamenti, la diffusione di veicoli più ecologici su strada e su rotaia.

Summary: Digitalisation in mobility brings significant benefits for users and efficiency gains for the economy as a whole. However, left uncoordinated, this threatens to lead to an explosion in traffic demand and higher imports.

This study examines the economic consequences of digitalisation in mobility by comparing three key scenarios with a baseline scenario.

Figure 4: Overview of the key scenarios



The microeconomic cost-benefit analysis is positive for transport users in all three key scenarios. The greatest net benefit is achieved in those scenarios with autonomous vehicles, mainly on account of the more efficient use of travel time (no time spent driving) and changes in the value of travel time, as well as lower accident costs. The main benefit of vehicle sharing lies in shorter travel times, as a result of less traffic congestion, as well as lower mobility costs.

As regards the economy, digitalisation helps to increase efficiency in two main ways: lower labour costs, because automation significantly reduces the need for driving personnel, and lower resource utilisation as vehicle and ride sharing gains ground.

If Scenario 1 ('Automation') occurs on its own and in an uncoordinated manner, the increase in transport demand combined with a lower vehicle occupancy rate may cause a significant rise in the number of vehicle-kilometres travelled with respect to the baseline scenario. The result is a sharp rise in vehicle and fuel imports, which lowers the domestic value added

resulting from Swiss household spending and has a knock-on negative impact on employment (fall in domestic demand, loss of driving jobs).

Scenario 2 ('Sharing') has a slightly positive impact on value added and employment. Through the more efficient use of resources and journeys, households can spend less on mobility and then use the income saved on other consumer goods with higher value added in Switzerland.

Combining the two efficiency measures, Scenario 3 ('Service world') achieves the highest increase in efficiency of the three key scenarios. In macroeconomic terms, this translates into lower employment levels than in the baseline scenario. The mainstreaming of shared automated vehicles/rides creates more demand for transport as new user groups gain access to mobility. However, because of vehicle sharing, the average vehicle occupancy rate is higher than for conventional cars, and this lowers household spending on mobility. Households can then use the money saved on other consumer goods with a higher value added in Switzerland. The total value added is therefore slightly higher than in the baseline scenario.

Table 1: Overview of the results of the economic analysis (comparison with the reference scenario)

2060, Δ baseline	Scenario 1: Automation	Scenario 2: Sharing	Scenario 3: Service world
Value added	↘ -8.6bn (-0.8%)	↗ +3.8bn (+0.4%)	↗ +3.2bn (+0.3%)
Employment (FTE)	↘ -55 000 (-1.2%)	↗ +12 000 (+0.3%)	↘ -60 000 (-1.4%)
Total CBA	↑ +19.6bn	↗ +7.4bn	↑ +25.0bn
of which change in travel time in base car traffic	+2.8bn ↗	+3.9bn ↗	+7.9bn ↗
of which change in value of travel time	+9.2bn ↗	+1.8bn ↗	+5.5bn ↗
of which change in accident costs	+8.6bn ↗	-0.8bn ↘	+8.4bn ↗
of which other effects	-1.0bn ↘	+2.5bn ↗	+3.2bn ↗

Meaning of arrows: ↑ sharp increase, ↗ slight increase, → unchanged, ↘ slight decrease, ↓ sharp decrease
CBA = cost-benefit analysis (in microeconomic terms)

INFRAS/DLR table
Source: own calculations

Digitalisation therefore brings benefits for users but also poses challenges for society, especially in terms of employment and environmental protection. These future developments should be taken into account in current political debates, e.g. on the introduction of mobility pricing, efforts to contain urban sprawl, or the wider use of more environmentally friendly vehicles for road and rail.

Zusammenfassung

1. Volkswirtschaftliche Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Mobilität der Zukunft

Viele Aspekte der Digitalisierung haben das Potential, die Mobilität in den nächsten Jahrzehnten erheblich zu verändern. Entsprechend stellt die Mobilität ein wichtiges Element der Strategie und des Aktionsplans «Digitale Schweiz» des Bundesrates dar. Für den Mobilitätsbereich hält die Strategie folgendes Ziel fest: «Mobilität in der Schweiz ist intelligent, vernetzt und in allen Bereichen effizient».

Das Bundesamt für Raumentwicklung nahm sich des Themas 2018 an und beauftragte eine Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018), um die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität zu quantifizieren. Die vorliegende Hauptstudie vertieft die in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Eckszenarien unter Einbezug der neuesten Forschungsergebnisse und liefert eine umfassende wirtschaftliche Analyse anhand von Verkehrsmodellen und Input-Output-Analysen.¹ In der Studie werden keine Aussagen darüber getroffen, «wie rasch» die Digitalisierung eintritt oder wie sich der Übergang inklusive Mischverkehr (vollautomatisiert und herkömmlich gelenkt) gestaltet. Jedoch werden Aussagen zu den möglichen Auswirkungen auf Verkehr und Wirtschaft der drei Eckszenarien im Vergleich zu einem Referenzzustand 2060 gemacht. Daraus ergeben sich Folgerungen zu den wichtigsten mit der Digitalisierung in der Mobilität verbundenen Chancen und Risiken. Damit wird diskutierbar, welche Risiken die Gesellschaft und Politik möglichst vermeiden will, welche Chancen es zu nutzen gilt und welche Massnahmen bei dieser strategischen Einschätzung allenfalls angezeigt sind. Die vorliegende Studie bildet eine Grundlage für dieses «gouverner c'est prévoir» im Themenbereich Digitalisierung und Mobilität.

Methodik und Abgrenzung

Die Analyse fokussiert in einer ersten Stufe auf die direkten Wirkungen der Szenarien (bestehender Verkehr gemäss KNA-Norm), also zunächst ohne Berücksichtigung von Nachfragewirkungen. In einer zweiten Stufe wurden die Angebots- und Nachfragewirkungen und die Veränderungen im Modal Split des Gesamtverkehrs (indirekte Wirkungen) berücksichtigt.

Die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse und aus der Analyse zu den direkten Wirkungen (v.a. kostenseitig bedingt) bilden die Basis für die verkehrlichen und ökonomischen, räumlichen

¹ Die Studie berücksichtigt u.a. Erkenntnisse aus folgenden, im ähnlichem Zeitraum erstellten Bundesstudien: Forschungspaket «Verkehr der Zukunft 2060» des SVI/ASTRA, ASTRA-Forschungspaket «Automatisiertes Fahren», diverse Studien zur multimodalen Mobilität (UVEK/BAV) und die «Branchenszenarien 2060» (ARE).

und umweltseitigen Wirkungsanalysen. Für die verkehrlichen Wirkungen (indirekt) kamen die aktuellen Verkehrsmodelle des Personen- bzw. Güterverkehrs des UVEK zum Einsatz. Die Ergebnisse der verkehrlichen, modellbasierten Analysen bildeten die Grundlage für die daran anschließende volkswirtschaftliche Wirkungsanalyse mit dem Input-Output-Modell (INFRAS 2021), das auf einem Referenzzustand des Jahres 2060 aufbaut. Die Analysen beziehen sich auf die Schweiz. Die verkehrlichen Analysen erfolgen nach dem Territorialitätsprinzip. Die Studie fokussiert auf den (fliessenden und ruhenden) Landverkehr auf Strasse und Schiene. Die Wirkungen im Personen- und Güterverkehr werden getrennt erfasst.

Zusammenfassung fokussiert auf Personenverkehr

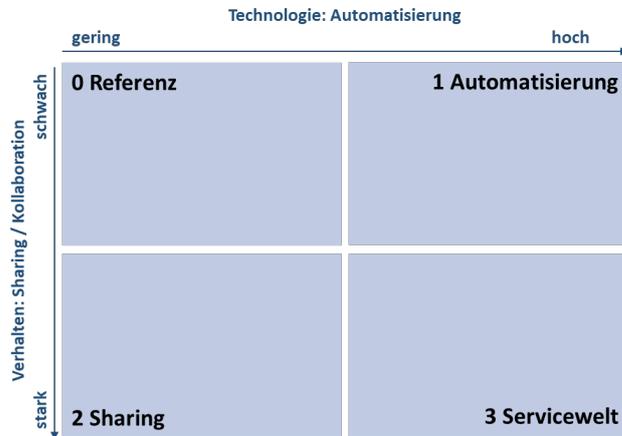
Die Abschnitte 2 und 3 dieser Zusammenfassung fokussieren auf den Personenverkehr, bei dem die Auswirkungen der Digitalisierung sowohl verkehrlich wie auch volkswirtschaftlich erheblich ausgeprägter sind. Im Güterverkehr sind die Effizienzwirkungen der Automatisierung und der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen deutlich schwächer spürbar. Sie stellen eine Verstärkung einer Entwicklung dar, die bereits heute stattfindet und mit der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) und diversen anderen Instrumenten seit vielen Jahren unterstützt wird.

Wer Interesse an den verkehrlichen Wirkungen der Digitalisierung auf den Güterverkehr hat, sei auf den Hauptbericht Kapitel 5.2. (Szenarienherleitung), 6.3. (verkehrliche Wirkungen) und 7.2. (mikroökonomische Effekte) verwiesen.

2. Beschreibung der untersuchten Szenarien im Personenverkehr

Der Begriff der Digitalisierung und die dabei relevanten Aspekte umfassen ein sehr breites Themenspektrum und werden verschieden definiert. Die Literaturanalyse und die Untersuchung der verschiedenen Ausprägungen der Digitalisierung in der Mobilität zeigt, dass sich die verschiedenen Entwicklungen hauptsächlich auf zwei Achsen (Automatisierung und Sharing) zurückführen lassen. Daraus können vier Szenarien abgeleitet und umrissen werden (Abbildung Z-1). Die Szenarien haben nicht zum Ziel, möglichst realistische Zustände im Sinne von Prognosen abzubilden. Die Szenarien sollen vielmehr den Raum möglicher zukünftiger Entwicklungen abstecken und aufzeigen.

Abbildung Z-1: Herleitung der vier Szenarien



Horizontale Achse «Technologie: Automatisierung» bildet ab, wie stark die Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen im jeweiligen Szenario ist. **Vertikale Achse** «Verhalten: Teilen/Sharing» zeigt, wie stark sich Plattformen und das Sharing bzw. die Kollaboration durchsetzen.

Grafik INFRAS/DLR. Quelle: angelehnt an Ecoplan 2018.

Die zentralen Annahmen für die vier Szenarien im Personenverkehr zeigt die Tabelle Z-1.

Tabelle Z-1: Zentrale Annahmen der Szenarien im Personenverkehr im Überblick

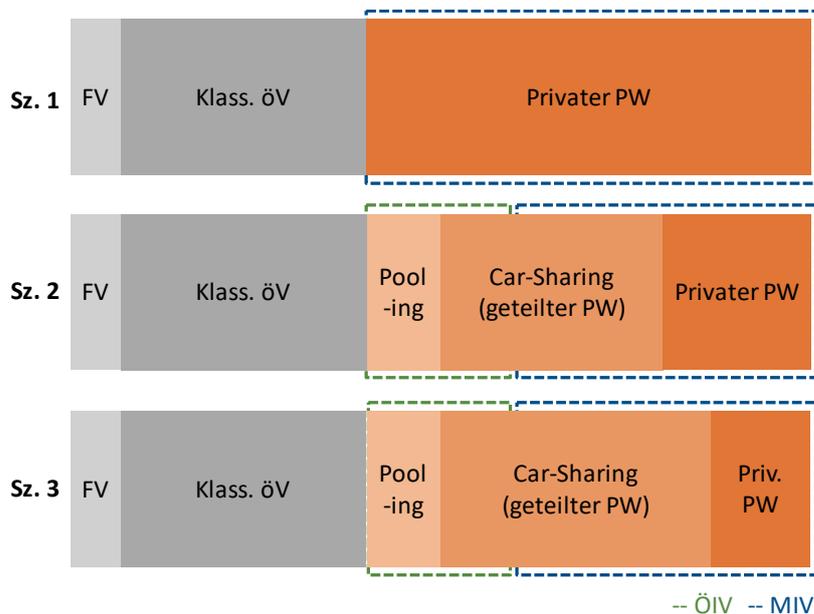
	Szenario 0 	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
Achsen/Trends	Referenz	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Automatisierung	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)
Car-Sharing	PW werden v.a. privat besessen	PW werden v.a. privat besessen	Car-Sharing gewinnt an Bedeutung: 2 private PW werden durch 1 PW ersetzt (-50 %)	Car-Sharing gewinnt an Bedeutung: 3 private PW werden durch 1 PW ersetzt (-67 %)
Ride-Sharing / Car-Pooling (neue Angebotsform ÖIV)	Fahrten werden kaum geteilt	Fahrten werden kaum geteilt	1/3 der Fahrten im MIV sind neu gepoolt (→ ÖIV)	1/3 der Fahrten im MIV sind neu gepoolt (→ ÖIV)

MIV: Motorisierter Individualverkehr, ÖIV: Öffentlicher Individualverkehr, ÖV: Öffentlicher Verkehr, PW: Personenwagen

Tabelle INFRAS/DLR.

Die Szenarien 2 und 3 gehen von der Entstehung neuer gemeinsamer Mobilitätsdienste aus, die wir unter dem Oberbegriff ÖIV (öffentlicher Individualverkehr) zusammenfassen. Die Grenzen zwischen kollektiver und individueller Mobilität sind bei den Sharing-Angeboten fließend. Zur Typologisierung der Angebote unterscheiden wir zunächst zwischen dem Teilen von Fahrten und dem Teilen von Fahrzeugen. Es existieren drei Angebote, bei welchen Fahrten geteilt werden: (klassischer) ÖV (im Linienverkehr), Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling. Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling Angebote fassen wir zusammen und definieren wir als öffentlichen Individualverkehr (ÖIV). Im ÖIV werden Fahrten bedarfsgerecht gebündelt und sind daher kollektiv, wobei nicht jede Fahrt auch tatsächlich geteilt wird. Für den ÖIV resultieren daher Fahrten, die gleichzeitig geteilt werden (Ride-Pooling, -Sharing) sowie auch Fahrten, die nicht gleichzeitig, sondern sequentiell geteilt werden (Car-Sharing). Wie sich die Anzahl Fahrten je Szenario schematisch auf die verschiedenen Verkehrsmittel aufteilen, zeigt die Abbildung Z-2.

Abbildung Z-2: Schematische Aufteilung der Fahrten nach Verkehrsmittel je Szenario



FV: Fuss- und Veloverkehr (keine Unterteilung in geteilte und private Velo).

Szenario 1: Zurückgelegten Fahrten im privaten PW entsprechen der Referenz 2017 und enthalten einen vernachlässigbaren Anteil Ride-Sharing/Car-Pooling und Car-Sharing (Stand heute). Die Fahrten finden grundsätzlich in privaten PW statt.

Grafik INFRAS/DLR.

Die Tabelle Z-2 zeigt die zentralen Stellschrauben und deren Grundausrprägungen des Szenarios 0 und der Eckszenarien.

Tabelle Z-2: Entwicklung zentraler Stellschrauben der Szenarien im Vergleich zur Referenz 2060 im Personenverkehr

Zentrale Stellschrauben	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
			
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Mobilitätsrate (Wege pro Person und Tag)	++	+	+++
Besetzungsgrade MIV	--	++	+
Bewertung der Reisezeit (MIV)	---	-	--
Kosten MIV*	+	-	-
Kosten bzw. Preise ÖV	--	-	---

MIV: Motorisierter Individualverkehr (inkl. ÖIV), ÖV: Öffentlicher Verkehr

Veränderung zu Referenz: 0 gleich; + bis +++: steigt leicht / mittel / stark; - bis ---: sinkt leicht /mittel / stark

* Kosten pro Fahrzeugkilometer eines Fahrzeugs im MIV (inkl. ÖIV), d.h. ohne Berücksichtigung des Besetzungsgrades, als Input für das Nationale Personenverkehrsmodell

Tabelle INFRAS/DLR.

3. Auswirkungen der Digitalisierung im Personenverkehr

Die folgenden Boxen zeigen für jedes Szenario die wichtigsten Annahmen zu den Achsen und Stellschrauben im Personenverkehr für das Jahr 2060. Zudem sind je Szenario die wichtigsten verkehrlichen Wirkungen zusammengefasst. Die verkehrlichen Wirkungen sind als Veränderung gegenüber der Referenz (Szenario 0) im Jahr 2060 zu verstehen.

Tabelle Z-3: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 1 «Automatisierung»

<p>Szenario 1 Automatisierung</p> 	<p>Grundelemente Automatisierung. Im Szenario 1 «Automatisierung» ist der Strassen- und Schienenpersonenverkehr zu einem sehr hohen Grad automatisiert. Die Präferenz für Sharing ist hingegen gering. Die Automatisierung führt zu folgenden Veränderungen gegenüber der Referenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ In automatisierten PW kann die Fahrzeit produktiver genutzt werden als in konventionellen PW, d.h. die Bewertung der Reisezeit im MIV sinkt. ▪ Die Automatisierung von PW ermöglicht neuen Nutzergruppen (älteren Personen, Kindern und Jugendlichen), den MIV allein zu nutzen. ▪ Da in vollautomatisierten Fahrzeugen kein(e) FahrerIn mehr notwendig ist, können z.B. durch das Bringen und Abholen von Personen Leerfahrten entstehen bzw. sind keine Begleitfahrten notwendig. Dadurch sinkt der durchschnittliche Besetzungsgrad der Fahrzeuge im MIV. ▪ Die Fahrzeugkosten im MIV steigen aufgrund der höheren Anschaffungskosten für automatisierte Fahrzeuge um rund 4 %. ▪ Durch die Automatisierung kann die Kapazität des bestehenden Strassennetzes um 50 % erhöht werden. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Die Nachfrage von neuen Nutzergruppen resultiert in einem höheren Verkehrsaufkommen (+2%). Aufgrund der niedrigeren Bewertung der Reisezeit der MIV-Nutzenden erhöht sich der Modal Split des MIV. Die erhöhten Kosten vom MIV dämpfen die Mehrnachfrage im MIV hingegen nur leicht. Das gestiegene Aufkommen und die gestiegenen durchschnittlichen Wegedistanzen (+15%) aufgrund der produktiveren Nutzung der Reisezeit im MIV führen zu einer höheren Verkehrsleistung (+25 % Pkm). Die geringeren durchschnittlichen Besetzungsgrade sowie längere Wegedistanzen im MIV führen zu einer hohen Zunahme der Fahrleistung (+50 % Fzkm) im Vergleich zur Verkehrsleistung (+25 % Pkm) des MIV. Der ÖV verliert an Bedeutung, weil das Angebot der autonomen Fahrzeuge im Verhältnis zum ÖV attraktiver wird (-13 % Pkm). Die Bedeutung des ÖIV bleibt aufgrund der geringen Präferenz für Sharing sehr gering, nämlich wie im Szenario 0.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle Z-4: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 2 «Sharing»

<p>Szenario 2 Sharing</p> 	<p>Grundelemente Sharing. Im Szenario «Sharing» hat sich der Gedanke der Kollaboration und des Teilens in der Mobilität durchgesetzt und ist weit verbreitet. Die Automatisierung hat hingegen kaum eine Bedeutung, weil es technisch doch nicht machbar ist oder gesellschaftlich nicht akzeptiert wird. Folgende Veränderungen gegenüber der Referenz ergeben sich daraus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Das klassische ÖV-Angebot und der private MIV werden ergänzt durch neue kollektive Verkehre (ÖIV). Nutzergruppen ohne eigenen PW aber mit einem Führerausweis erhalten besseren Zugang zu geteilten Fahrzeugen und Fahrten. ▪ Aufgrund des Sharing reduziert sich die Bewertung der Reisezeit im MIV leicht. ▪ Durch das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen steigt der Besetzungsgrad, wodurch bestehende Ressourcen effizienter genutzt werden. ▪ Die Kosten im MIV inkl. neuer Angebotsformen sowie im ÖV sinken. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Das gesamte Verkehrsaufkommen steigt um 1 % aufgrund neuer Nutzergruppen im MIV (inkl. ÖIV). Zusätzlich niedrigere Kosten und eine niedrigere Bewertung der Reisezeit im MIV (inkl. ÖIV) resultieren in einer höheren Verkehrsleistung (+6 % Pkm). Die Durchschnittsdistanz steigt im MIV (inkl. ÖIV). Aufgrund dessen steigt der Anteil des MIV inkl. ÖIV zu Lasten des ÖV. Die höheren Besetzungsgrade im MIV führen zu einer geringeren Anzahl eingesetzter Fahrzeuge und dementsprechend auch einer sinkenden Fahrleistung. Die Frage ist, welcher der Effekte überwiegt. Aus dem Verkehrsmodell resultiert eine geringere Zunahme der Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (+1 % Fzkm) als Verkehrsleistung MIV (inkl. ÖIV) (+9.6 % Pkm). Der geringere Zuwachs der Fahrleistung ist auf den Anstieg der Auslastung zurückzuführen. Die Zunahme der Fahrleistung des MIV (inkl. ÖIV) ist durch eine starke Zunahme der neuen Angebotsform ÖIV zu begründen (der private, individuelle MIV selbst nimmt gleichzeitig um 26.9 % ab). Der ÖIV macht im Jahr 2060 rund 30 % der Fahrleistung des MIV inkl. ÖIV aus.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle Z-5: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 3 «Servicewelt»

<p>Szenario 3 Servicewelt</p> 	<p>Grundelemente Servicewelt. Im Zentrum der «Servicewelt» stehen App-basierte Plattformen, welche ganzheitliche, intermodale Mobilitätsdienstleistungen («Mobility as a Service») vermitteln. Die Durchdringung automatisierter Verkehrsmittel in einer Mobilitäts-Servicewelt ist hoch. Gleichzeitig haben Sharing und Kollaboration eine sehr hohe Bedeutung. Die Effizienz im ÖV steigt. Der regelmässige, fahrplangebundene Linienverkehr zu Randzeiten und in weniger dicht besiedelten Gebieten verliert an Bedeutung. Die «Servicewelt» zeigt folgende Ausprägungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Automatisierung von PW und das Teilen von Fahrten ermöglichen neuen Nutzergruppen (v.a. älteren Personen, Kindern und Jugendlichen), den MIV zu nutzen. ▪ Wie im Szenario «Automatisierung» kann die Zeit im PW produktiver genutzt werden. Die Produktivitätssteigerung wird jedoch leicht abgeschwächt durch allfällige Mitnutzende des Fahrzeugs. Die Effekte der Automatisierung und des Sharing auf die Bewertung der Reisezeit im MIV sind somit nicht additiv. ▪ Die erhöhten Anschaffungskosten automatisierter Fahrzeuge wird durch das Teilen von Fahrzeugen als auch Fahrten (günstigere neue Mobilitätsangebote) kompensiert. Die Kosten im MIV (inkl. ÖIV) sind insgesamt niedriger. ▪ Auch im ÖV sinken die Kosten durch höhere durchschnittliche Besetzungsgrade (Linien mit tiefen Besetzungsgraden werden nicht mehr fahrplangebunden offeriert) und eine Reduktion der Fahrerkosten. ▪ Im MIV (inkl. ÖIV) steigt die Auslastung insgesamt an, d.h. die Abnahme des Besetzungsgrads aufgrund von Leerfahrten wird durch das Teilen von Fahrten/Fahrzeugen mehr als kompensiert. ▪ Durch die Automatisierung kann die Strassenkapazität um 50 % erhöht werden. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Das Verkehrsaufkommen nimmt aufgrund neuer Nutzergruppen um 3 % zu. Durch die geringeren Kosten der Nutzung des MIV (inkl. ÖIV), der produktiveren Nutzung der Fahrzeit und neue Nutzergruppen steigt das Verkehrsaufkommen des MIV (inkl. ÖIV) (+8.4 %) und zusätzlich aufgrund längerer Distanzen auch die Verkehrsleistung (+25.2 % Pkm). Der höhere Besetzungsgrad der Fahrzeuge resultiert in einem geringeren Anstieg der Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (+18 % Fzkm) im Vergleich zur Verkehrsleistung MIV (inkl. ÖIV). Die Fahrleistungszunahme des MIV (inkl. ÖIV) ist auf eine Zunahme vom konv. MIV (+0.2 %) und einer starken Zunahme des ÖIV zurückzuführen, der 2060 in dem Szenario 22 % der Fahrleistung des MIV plus ÖIV ausmacht.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Die Tabelle Z-6 zeigt die wichtigsten Ergebnisindikatoren und die prozentualen Veränderungen der Grössen für die Szenarien 1, 2 und 3 gegenüber der Referenz (Szenario 0) in der Übersicht.

Tabelle Z-6: Veränderungen im Personenverkehr gegenüber der Referenz 2060

	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
[Veränderungen gegenüber der Referenz]	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Verkehrsaufkommen (Wege)	2.1 %	1.0 %	3.0 %
MIV (inkl. ÖIV)	8.6 %	3.7 %	8.4 %
<i>davon MIV privat/individuell bzw. exkl. ÖIV</i>	8.6 %	-30.9 %	-27.7 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total</i>	-	33 %	33 %
ÖV	-7.5 %	-1.7 %	-0.3 %
Veloverkehr	-8.1 %	-2.9 %	-7.9 %
Fussverkehr	0.0 %	-0.4 %	0.0 %
Verkehrsleistung (pkm)	13 %	6 %	16 %
MIV (inkl. ÖIV)	25.1 %	9.6 %	25.2 %
<i>davon MIV privat/individuell (gleiche Weglänge)</i>	25.1 %	-26.9 %	-16.5 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total (gleiche Weglänge)</i>	-	33 %	33 %
ÖV	-12.9 %	-2.2 %	-2.8 %
Veloverkehr	-8.1 %	-2.9 %	-7.3 %
Fussverkehr	-1.7 %	-0.8 %	-0.1 %
Durchschnittliche Wegedistanz (km)	+10 %	+4 %	+12 %
MIV (inkl. ÖIV)	15 %	6 %	15 %
ÖV	-6 %	-1 %	-3 %
Veloverkehr	0 %	0 %	1 %
Fussverkehr	-2 %	0 %	0 %
Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (fzkm)	50 %	1 %	18 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total (gleiche Weglänge)</i>	-	29 %	22 %
Durchschnittlicher Besetzungsgrad MIV privat/individuell	-17 %	0 %	-17 %
Durchschnittlicher Besetzungsgrad MIV öffentlich/kollektiv	-	+25 %	+51 %
Fahrzeugstunden MIV (h)	39 %	-1 %	6 %
Durchschnittsgeschwindigkeit MIV (inkl. ÖIV)	+8 %	+2 %	+12 %

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Das Verkehrsaufkommen nimmt aufgrund des verbesserten Zugangs zur Mobilität bzw. Mobilitätswerkzeugen (z.B. PW) in allen drei Szenarien ggü. der Referenzentwicklung zu. Dies ergibt sich aus zwei Effekten:

- Der Anstieg in den Szenarien 1 und 3 ist auf die Automatisierung (Zugang von älteren Personen sowie Kindern und Jugendlichen zum MIV einschliesslich ÖIV) zurückzuführen.
- In den Szenarien 2 und 3 erhöht sich die Mobilitätsrate (Wege pro Person und Tag) aufgrund des Zugangs zu geteilten PW (Sharing).

Aufgrund dessen ist der Anstieg des Verkehrsaufkommens gegenüber der Referenz (Szenario 0) in Szenario 3 «Servicewelt», in dem sowohl der Effekt der Automatisierung als auch des Sharing relevant ist, am höchsten.

Entsprechend steigt auch die Verkehrsleistung in den drei Szenarien unterschiedlich stark an. Der Anstieg der Verkehrsleistung liegt über dem des Verkehrsaufkommens, d.h. es werden tendenziell längere Wege zurückgelegt. Die durchschnittliche Weglänge nimmt aufgrund der gesunkenen Bewertung der Reisezeit im MIV (inkl. ÖIV) und den gesunkenen Kosten im MIV (inkl. ÖIV) in allen Szenarien zu, während diese im ÖV abnimmt. Daraus ist zu schliessen, dass modale Verlagerungen vom ÖV auf den MIV (inkl. ÖIV) v.a. bei längeren Fahrten stattfinden.

Der Modal Split verändert sich im Vergleich zur Referenz in allen drei Szenarien zugunsten des MIV, wobei in den Modellergebnissen auch neue Angebotsformen des ÖIV beim MIV subsummiert sind. Entsprechend steigen die Fahrleistungen im MIV (inkl. ÖIV) sowie die Fahrzeugstunden, wobei der Anstieg der Fahrzeugstunden geringer ist im Vergleich zu den Fahrleistungen. In den Szenarien 1 und 3 reduziert sich das Verkehrsaufkommen des Velos und damit auch sein Modalanteil deutlich aufgrund der Automatisierung und der damit einhergehenden höheren Attraktivität des MIV.

4. Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität

Bei der Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung der Mobilität in der Schweiz wird zwischen mikroökonomischen sowie meso- und makroökonomischen Effekten unterschieden. Die mikroökonomische Analyse deckt die Kosten und Nutzen ab, die die Verkehrsteilnehmenden (z.B. Reisezeit, Mobilitätskosten, Unfälle) und die Gesellschaft (z.B. Umwelt und Gesundheit) betreffen. Die meso- bzw. makroökonomische Analyse befasst sich mit den Folgen in Bezug auf Wertschöpfung und Beschäftigung auf der Ebene der einzelnen Wirtschaftsbranchen bzw. der Gesamtwirtschaft. Die Details der volkswirtschaftlichen Effekte zu diesen Ebenen finden sich in Kapitel 7 (Mikroebene) und Kapitel 8 (Meso- und Makroebene) des Hauptberichts.

Im **Szenario «Sharing» (Szenario 2)** sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen insgesamt gering und die Kenngrössen (Wertschöpfung, Beschäftigung, Kosten und Nutzen) etwas höher

als in der Referenz. Während die Wertschöpfung insgesamt um 0.4 % oder 3.8 Mrd. CHF ggü. der Referenz zunimmt, steigt die Zahl der VZÄ um 0.3 % bzw. 12'000 ggü. der Referenz an. Die mikroökonomische Betrachtung ergibt insgesamt einen Zusatznutzen von 7 Mrd. CHF ggü. der Referenz. Im Szenario «Sharing» kann der ÖIV bezüglich Wertschöpfung (+119.3 %) und Beschäftigung (+103.9 %) am meisten profitieren. Einen starken Rückgang bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung verbucht die Branche Fahrzeugverkauf (je -10.1 %). Dies ist auf die Effizienzsteigerung und eine höhere Auslastung der Fahrzeuge zurückzuführen.

Das **Szenario «Automatisierung» (Szenario 1)** hat kontrastreichere Auswirkungen. Der mikroökonomische Zusatznutzen ist mit rund 20 Mrd. CHF deutlich höher als in Szenario 2, während die Wertschöpfung und die Beschäftigung insgesamt um 0.8 % oder 8.6 Mrd. CHF, bzw. um 1.2 % oder 55'000 VZÄ ggü. der Referenz abnehmen. Dies ist auf die starke Zunahme der Fahrleistung zurückzuführen, die einen starken Anstieg der Fahrzeug- und Treibstoffimporte zur Folge hat, was gesamtwirtschaftlich zu einer tieferen Wertschöpfungsintensität in der Schweiz führt. Die hohe MIV-Nachfrage führt zu höheren Ausgaben in den Branchen Treibstoff, Reparatur und Fahrzeugverkauf, Fahrzeugherstellung sowie Versicherungen, welche folglich zu den Gewinnern bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung gehören. So weist die Branche Fahrzeugherstellung eine Zunahme von jeweils 33 % auf. Die hohe Nachfrage nach MIV führt gleichzeitig dazu, dass die Wertschöpfung und Beschäftigung in den Branchen ÖV und ÖIV stark sinkt. So beläuft sich die Abnahme im ÖIV auf 46.3 % bzw. 70.8 %. Aufgrund der Effizienzsteigerung in der Produktionsstruktur ist als weiterer grosser Verlierer der Güterverkehr (Strasse und Schiene) mit einem Rückgang der Wertschöpfung um bis zu 79 % und der Beschäftigung um 74.9 % zu identifizieren.

Die **«Servicewelt» (Szenario 3)** profitiert – durch die Kombination von geteilten Ressourcen und automatisierten Fahrzeugen – von zwei Potentialen zur Effizienzsteigerung. Somit ist die Effizienzsteigerung in der «Servicewelt» am höchsten, wodurch der Rückgang der Beschäftigten mit 1.4 % bzw. 60'000 ggü. der Referenz am höchsten ausfällt. Der Rückgang der Beschäftigung ist damit zu erklären, dass in der «Servicewelt» mit der effizienteren Nutzung der Ressourcen und der Automatisierung zwei Effizienzsteigerungspotentiale kombiniert werden. Beide Effekte wirken beschäftigungsmindernd. Da das gleichzeitige Verkehrswachstum geringer ausfällt als im Szenario «Automatisierung» und diese Effekte weniger kompensiert werden, nimmt die Beschäftigung insgesamt stärker ab. Im Kombinationsszenario »Servicewelt« ergeben sich die Beschäftigungseffekte somit nicht einfach additiv aus den Szenarien «Automatisierung» und «Sharing». Die Wertschöpfung fällt in der «Servicewelt» etwas höher aus als in der Referenz, nämlich um 0.3 % oder 3.2 Mrd. CHF gegenüber Referenz. Dies ist auf die Mehrnachfrage nach Mobilität zurückzuführen. Verbunden mit der Effizienzsteigerung im Verkehr bedeu-

tet dies, dass die Haushalte in der «Servicewelt» für dasselbe Einkommen ein grösseres Güterbündel nachfragen können, und der Nutzen der Haushalte in der Summe somit höher ausfällt als in der Referenz. Der mikroökonomische Zusatznutzen beläuft sich auf 25 Mrd. CHF und erreicht folglich den höchsten Wert aller Szenarien. Das grösste Risiko durch die automatisierten Fahrzeuge – starke Verkehrszunahme – wird dabei durch die starke Durchdringung vom ÖIV und der dadurch höheren Auslastung gedämpft. Eine Branche, welche im Szenario «Servicewelt» besonders bezüglich Wertschöpfung profitieren kann, stellt der ÖIV dar (+41.4 %). Gleichzeitig verbucht der ÖIV mit -91.7 % eine sehr hohe Abnahme der Beschäftigung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich die Branche ÖIV im Vergleich zum Referenz- sowie Automatisierungsszenario im Szenario «Servicewelt» nicht mehr aus Taxidienstleistungen zusammensetzt, sondern eine Vielzahl an neuen Beförderungsdienstleistungen umfasst (ÖIV). Diese weisen im Szenario «Servicewelt» ein starkes Nachfragewachstum auf, wodurch die Wertschöpfung zunimmt. Gleichzeitig wird das Fahrpersonal der Branche aufgrund Automatisierung grösstenteils eingespart, wodurch die Beschäftigung in der Branche ÖIV massiv zurückgeht. Zu den grössten Verlierern bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung gehören neben dem ÖV und dem Güterverkehr (Strasse und Schiene) auch die Branche Fahrzeugverkauf. Mit -79.2 % bzw. -94 % sticht hierbei insbesondere der Schienengüterverkehr heraus. Die Abnahme ist auf die gestiegene Effizienz und die höhere Auslastung der Fahrzeuge zurückzuführen.

Tabelle Z-7: Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Analyse im Vergleich zur Referenz 2060 in der Übersicht

2060, Δ Referenz	Szenario 1 Automat.	Szenario 2 Sharing	Szenario 3 Servicewelt
Wertschöpfung (Mrd. CHF)	↘ -8.6 Mrd. (-0.8 %)	↗ +3.8 Mrd. (+0.4 %)	↗ +3.2 Mrd. (+0.3 %)
Beschäftigung (VZÄ)	↘ -55'000 (-1.2 %)	↗ +12'000 (+0.3 %)	↘ -60'000 (-1.4 %)
KNA total (Mrd. CHF)	↑ +20 Mrd.	↗ +7 Mrd.	↑ +25 Mrd.
davon Veränderung der Reisezeit im Stammverkehr MIV	+2.8 Mrd. ↗	+3.9 Mrd. ↗	+7.9 Mrd. ↗
davon Veränderung der Bewertung der Reisezeit	+9.2 Mrd. ↗	+1.8 Mrd. ↗	+5.5 Mrd. ↗
davon Veränderung der Unfallkosten	+8.6 Mrd. ↗	-0.8 Mrd. ↘	+8.4 Mrd. ↗
davon andere Effekte	-1.0 Mrd. ↘	+2.5 Mrd. ↗	+3.2 Mrd. ↗

Legende Pfeile: ↑ starke Zunahme, ↗ leichte Zunahme, → unverändert, ↘ leichte Abnahme, ↓ starke Abnahme
KNA = Kosten-Nutzen-Analyse (mikroökonomische Betrachtung)

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Der Vergleich der Gesamteffekte aller drei Szenarien zeigt, dass das Niveau der Wertschöpfung im Szenario «Automatisierung» wegen der zunehmenden Importquote aufgrund der hohen Nachfrage nach Fahrzeugen und Treibstoffen mit Abstand am stärksten abnimmt, während im Szenario «Servicewelt» und «Sharing» die Wertschöpfung grösser ist als in der Referenz. Im Szenario «Servicewelt» kann zwischen den importintensiven Branchen Treibstoffe und Fahrzeugherstellung ein entgegengesetzter Effekt festgestellt werden. Die höhere Nachfrage nach Treibstoffen bei gleichzeitigem Nachfragerückgang nach Fahrzeugen führt dazu, dass der absolute Importrückgang der Branche Fahrzeugherstellung die absolute Importzunahme der Branche Treibstoffe übertrifft. Somit geben die Haushalte in der Summe weniger Geld für importierte Produkte aus und haben entsprechend mehr Geld für heimisch produzierte Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung. Dies führt insgesamt zu einer niedrigeren Importintensität. Die Beschäftigung in VZÄ nimmt im Szenario «Servicewelt» am stärksten ab, allerdings sinkt auch im Szenario «Automatisierung» die Beschäftigung deutlich. Im Szenario «Sharing» erfährt das

Beschäftigungsniveau eine leichte Zunahme. Das Szenario «Automatisierung» weist somit sowohl bezüglich der Wertschöpfung als auch der Beschäftigung tiefere Werte aus als in der Referenz. Auch im Szenario «Servicewelt» resultiert durch die Effizienzsteigerung ein Rückgang der Beschäftigung. Ursache dafür ist, dass die Produktion von Mobilitätsleistungen ohne Automatisierung arbeitsintensiv ist. Wenn in der «Servicewelt» die Beschäftigtenzahl in der Mobilität sinkt und die Mobilitätsdienstleistungen dadurch günstiger werden, müssen die Haushalte für die bisherige Mobilitätsmenge weniger bezahlen und können mehr von anderen Konsumgütern kaufen, also am Ende ein grösseres Güterbündel als in der Referenzsituation nachfragen. Dies entspricht einer Wohlfahrtszunahme, welche sich in einem positiven Wert der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) widerspiegelt.

Die drei Eckszenarien – «Automatisierung», «Sharing» und «Servicewelt» – stecken den Raum möglicher Entwicklungen der Digitalisierung in der Mobilität in der Schweiz im Jahr 2060 ab. Welche Entwicklungen sich schlussendlich durchsetzen werden, bleibt offen. Die vorliegende Analyse beleuchtet die verschiedenen Chancen und Risiken, welche sich durch die Digitalisierung in der Mobilität aus volkswirtschaftlicher Sicht ergeben. Abhängig davon, ob sich die Automatisierung, Sharing oder eine Kombination von beidem durchsetzt, sind unterschiedliche Massnahmen zu ergreifen, um die Chancen zu nutzen und Risiken zu minimieren. In der vorliegenden Studie wurde nicht untersucht, welche Instrumente und Politiken genau erforderlich sind, um gewisse Potenziale der untersuchten Szenarien zu realisieren.

Mit der Dekarbonisierung existiert zudem ein weiterer, parallel ablaufender Trend, welcher für die zukünftige Mobilität mitzudenken ist, in der vorliegenden Studie aber ausgeblendet wurde, um die Digitalisierungseffekte identifizieren zu können. Eine Dekarbonisierung in Form einer Elektrifizierung der Fahrzeuge würde insbesondere Auswirkungen auf die Wertschöpfung und Beschäftigung der schweizerischen Zulieferbetriebe haben. Elektrofahrzeuge setzen sich aus weniger Bauteilen zusammen (insbesondere Elektromotoren im Vergleich zum konventionellen Motor), wodurch eine Abnahme der Wertschöpfung und Beschäftigung in dieser Branche zu erwarten wäre. Die Importquote nähme ab, da die Nachfrage nach fossilen Treibstoffen aus dem Ausland stark sinkt. Gleichzeitig würde die Nachfrage nach heimisch produziertem Strom stark zunehmen, wenn das Angebot entsprechend steigt. In der Summe wären positivere gesamtwirtschaftliche Effekte zu erwarten, als wenn die Digitalisierung – wie in der vorliegenden Studie gemäss Aufgabestellung unterstellt - ohne Dekarbonisierung stattfinden würde.

5. Chancen und Risiken der untersuchten Eckszenarien und Empfehlungen

5.1. Szenario 1 – Automatisierung

Im Szenario «Automatisierung» resultieren verschiedene Chancen und Risiken (Tabelle Z-8). Dieses Szenario bringt starke Effizienzsteigerungen, welche mikroökonomisch in Form von tieferen Preisen bei den Haushalten/NutzerInnen ankommen, makroökonomisch zur Reduktion von Personal in den Verkehrsbranchen führen. Zudem gewinnen durch die starke Zunahme des MIV einzelne importintensive Branchen an Bedeutung, was die Wertschöpfungsintensität der Schweiz mindert. Die Chancen und Risiken sind nach Akteursgruppe in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Tabelle Z-8: Chancen und Risiken des Szenarios «Automatisierung» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personen ohne Führerausweis erhalten Zugang zum MIV ▪ tiefere Preise (Produktivitätssteigerung) v.a. im ÖV, GV und Taxigewerbe ▪ Komfortgewinn im MIV ▪ Reduktion von Unfällen und Unfallkosten ▪ Verbesserte Erreichbarkeit v.a. in intermedialen Räumen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höhere MIV-Kosten, Zunahme der sozialen Ungleichheit ▪ Reduktion Gesundheitsnutzen ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im ÖV, allenfalls Ausdünnung entsprechender Angebote v.a. in ländlichen Räumen
Unternehmen / Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Effizienzsteigerung von Unternehmen in der Produktion (ÖV, GV, Taxigewerbe) ▪ Tiefere Produktionskosten für alle Branchen, die Transport als Vorleistung benötigen. ▪ Entwicklung neuer, innovativer Angebote und Geschäftsmodelle (z.B. zusätzliche Dienstleistungen im Fahrzeug) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunahme Bedeutung importintensive Branchen, Abnahme der durchschnittlichen Wertschöpfungsintensität ▪ Wegfall von Arbeitsplätzen in der Verkehrsbranche
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Strassenkapazität ohne Ausbau der Infrastruktur ▪ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Widerspruch zu Zielen in Klimapolitik, Biodiversität, Luftqualität und ressourcenschonender Mobilität ▪ längere Pendelwege, möglicherweise dispersere Siedlungsentwicklung ▪ möglicher finanzieller Mehrbedarf für eine intelligente Infrastruktur ▪ u.U. Reduktion der Subventionseffizienz ÖV

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individual Verkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um die Chancen zu nutzen und die Risiken zu minimieren sind deshalb folgende Massnahmen anzudenken:

- Frühzeitige Umschulung von Personal im ÖV, GV und Taxigewerbe auf die gefragten Kompetenzen im digitalisierten Verkehr und Gesamtwirtschaft.
- Dekarbonisierung des Strassenverkehrs, damit die negativen Umweltwirkungen nicht im gleichen Masse steigen wie die Fahrleistungen im MIV und die Abhängigkeit von importintensiven Branchen sinkt.
- Lenkung der MIV-Nachfrage z.B. über eine differenzierte fahrleistungsabhängige Abgabe, damit die bestehende Infrastruktur möglichst effizient genutzt und die richtigen Anreize gesetzt werden.
- Entwicklung expliziter Strategien, die den negativen Auswirkungen einer Zunahme von Suburbanisierungstendenzen und einer disperseren Siedlungsentwicklung entgegenwirken.
- Förderung von Teilen von Fahrzeugen und Fahrten, damit der Flächenverbrauch des ruhenden Verkehrs sinkt und der Besetzungsgrad im MIV steigt.
- Spezialisierung der relevanten Branchen für die Produktion von Vorleistungen für den Fahrzeugbau und die ICT-basierten Elemente in den Fahrzeugen und ausserhalb.

Aus ökonomischer Sicht birgt das Szenario «Automatisierung» Chancen und Risiken. Die Effizienzsteigerungen, welche die Digitalisierung in der Mobilität bringt, sind erheblich und positiv. Mit Blick auf die Umwelt widerspricht die Ausweitung des MIV den bestehenden klima- und umweltpolitischen Zielen und der Förderung einer effizienten, ressourcenschonenden Mobilität. Die Automatisierung von Fahrzeugen ohne Kombination mit einer Dekarbonisierung und vermehrtem Teilen von Ressourcen ist als Einzelstrategie volkswirtschaftlich nicht anzustreben.

5.2. Szenario 2 - Sharing

Die zentralen Auswirkungen im Szenario «Sharing» sind die Effizienzsteigerung durch das Teilen von Ressourcen und damit die starke Durchdringung des neuen ÖIV. Mobilitätsleistungen werden über Plattformen vertrieben. Diese können von den etablierten Transportunternehmen oder jedem Unternehmen einer anderen heutigen Branche in der Schweiz oder von neuen Firmen angeboten werden. Welche Geschäftsmodelle sich im Jahr 2060 durchsetzen werden, kann beim heutigen Stand der Forschung nicht genauer skizziert werden.

Diese Auswirkungen führen zu folgenden Chancen und Risiken:

Tabelle Z-9: Chancen und Risiken des Szenarios «Sharing» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusatznutzen für Haushalte, u.a. Reduktion der Mobilitätskosten kollektiver bzw. geteilter Angebote ▪ Zugang zur Mobilität neuer Nutzergruppen ▪ Zusatznutzen aufgrund Veränderung der Bewertung der Reisezeit, verbesserte Erreichbarkeit, v.a. in intermediären Räumen ▪ Verbessertes Anschluss an ÖV-Angebote 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusatzkosten (Unfälle, Gesundheit) wegen Mehrverkehr bzw. Reduktion Fuss- und Veloverkehr ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im klassischen ÖV ▪ Konzentration von Sharing Angeboten auf wirtschaftlich interessante, städtische Gebiete
Unternehmen / Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizienzgewinne und somit tiefere Kosten durch Kooperation (v.a. im GV) ▪ Entwicklung neuer, innovativer Angebote und Geschäftsmodelle (neue Sharing-Angebote v.a. im ÖIV) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ablösung der Taxibranche durch den ÖIV
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizientere Nutzung der natürlichen Ressourcen. ▪ Reduktion des Flächenbedarfs für den MIV, insbesondere für den ruhenden Verkehr und in städtischen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ u.U. Reduktion der Subventionseffizienz ÖV ▪ Flächen- und Infrastrukturbedarf für Sharing-Angebote

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individualverkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um diese Chancen optimal zu nutzen, sollen geeignete Rahmenbedingungen für kollektive Angebote im Personenverkehr (ÖV und ÖIV) bzw. Erhöhung der Besetzungsgrade im privaten MIV geschaffen werden:

- Die öffentliche Hand setzt fördernde Rahmenbedingungen für (neue) Sharing-Angebote. Sie sorgt beispielsweise für angemessene Flächen zum Halten und Parken von geteilten Fahrzeugen (z.B. Einrichten virtueller Haltestellen, Mobility Hubs).
- Mit der Einführung und entsprechenden Ausgestaltung eines Mobility Pricing können finanzielle Anreize zur Unterstützung des Sharing gesetzt werden.
- ÖV, und multi- und intermodale Mobilität fördern: Der (klassische) ÖV könnte auf sehr schlecht ausgelasteten Linien bzw. Linienabschnitten durch bedarfsgesteuerte Verkehre des ÖIV (Ride-Pooling) ersetzt bzw. ergänzt werden, wo der Einsatz von ÖIV effizienter und effektiver umsetzbar ist. Durch Ausweitung des Angebots von kollektiven Verkehren im ÖIV kann auch die multi- und intermodale Mobilität gefördert werden.
- Multimodale Mobilitätsplattformen bedürfen der Kooperation verschiedener Marktteilnehmer. Um die Kooperation verschiedener privater Anbieter auch ausserhalb des ÖV zu fördern, kann die öffentliche Hand mit Vorgaben zu Normen und Standards, aber auch den auszutauschenden Daten unterstützen.

Aus ökonomischer, verkehrlicher und ökologischer Sicht ist das Szenario «Sharing» ein vielversprechendes Szenario. Aus der Literatur wird jedoch ersichtlich, dass es insbesondere im Personenverkehr ungewiss ist, ob sich das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen wirklich durchsetzen wird. Insbesondere mit der Verbreitung von COVID-19 und möglicherweise künftig höherer Relevanz ähnlicher Themen hat sich dies nochmals verstärkt. Das Szenario könnte sich aus technischer Sicht auch kurzfristig verwirklichen. Heute bestehen die technischen Voraussetzungen in Form von Plattformen und mobilen Endgeräten bereits, um im grossen Umfang geteilte Fahrten und Transportdienstleistungen durchzuführen. Dagegen sprechen aber das hohe Einkommensniveau in der Schweiz und der sich nur langsam ändernde positive Status vom Autobesitz.

5.3. Szenario 3 - Servicewelt

Die Effizienzsteigerung ist in der «Servicewelt» im Vergleich der Eckszenarien am höchsten. Dies bringt jedoch auch eine im Vergleich zur Referenzentwicklung geringere Beschäftigung in den Verkehrsbranchen im Speziellen und in abgeschwächtem Ausmass gesamtwirtschaftlich mit sich. Daraus ergeben sich folgende Chancen und Risiken (Kombination der bereits aufgeführten Chancen und Risiken für Szenario 1 und 2):

Tabelle Z-10: Chancen und Risiken des Szenarios «Servicewelt» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergünstigung Mobilitätsangebote des Sharing (ÖV, ÖIV), verbesserter Zugang zur Mobilität und Anschluss an ÖV-Angebote ▪ Komfortgewinn im MIV, Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit Strasse ▪ Verbesserte Erreichbarkeit, v.a. in intermedialen Räumen ▪ Reduktion von Unfällen und Unfallkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im klassischen ÖV ▪ Konzentration von Sharing Angeboten auf wirtschaftlich interessante, städtische Gebiete; keine flächige Verfügbarkeit.
Unternehmen / Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Effizienzsteigerung von Transportunternehmen in der Produktion (ÖV, GV, ÖIV) ▪ Tiefere Produktionskosten für alle Branchen, die Transport als Vorleistung benötigen. ▪ Entwicklung innovativer Angebote und Geschäftsmodelle 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wegfall von Arbeitsplätzen in der Verkehrsbranche
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Strassenkapazität ohne Ausbau der Infrastruktur ▪ Reduktion des Flächenbedarfs für den MIV, insbesondere für den ruhenden Verkehr und in städtischen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ möglicher finanzieller Mehrbedarf für eine intelligente Infrastruktur ▪ u.U. Reduktion Subventionseffizienz ÖV ▪ Flächen- und Infrastrukturbedarf für Sharing-Angebote ▪ Höhere Gesundheits- und Umweltkosten wegen Mehrverkehr (betrifft Allgemeinheit und Haushalte)

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individualverkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um die Chance der hohen Effizienzsteigerung in der «Servicewelt» zu nutzen und die damit einhergehenden Risiken zu minimieren, braucht es dieselben politischen Rahmenbedingungen wie für Szenario 2 beschrieben. Dies ist zentral, um die Erhöhung der Mobilitätsnachfrage resultierend durch die Automatisierung tief zu halten. Gleichzeitig sollte das Personal im ÖV und GV frühzeitig auf die gefragten Kompetenzen im digitalisierten Verkehr und Gesamtwirtschaft umgeschult werden, Forschung und Ausbildung im Bereich der Vorleistungen für automatisierte Fahrzeuge und digitale Infrastruktur gestärkt und die Dekarbonisierung im Strassenverkehr gefördert werden.

Aus ökonomischer, verkehrlicher und ökologischer Sicht ist das Szenario «Servicewelt» ein im Vergleich zur Referenzentwicklung günstiges Szenario, wenn die Ausweitung der Verkehrsmenge im Vergleich zur Referenz nicht zu hoch ausfällt, weil sonst Ineffizienzen (Auslastung, Leerfahrten, Infrastrukturüberlast, etc.) zunehmen und angestrebte Umweltziele verfehlt werden. Wie bereits in Szenario 2 angetönt, ist jedoch ungewiss, ob sich das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen wirklich durchsetzen wird.

1. Vorbemerkungen

1.1. Ziel und Auftrag

Die Digitalisierung unserer Gesellschaft hat sich in den letzten Jahren erheblich beschleunigt und betrifft sehr viele Bereiche unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Der Bundesrat hat 2018 eine Strategie «Digitale Schweiz» und darauf aufbauend einen gleichnamigen Aktionsplan verabschiedet (Bundesrat 2018a, 2018b). Die Mobilität ist durch viele Aspekte der Digitalisierung stark von diesen Entwicklungen betroffen und wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten (voraussichtlich) erhebliche Veränderungen erfahren. Entsprechend ist die Mobilität ein wichtiges Element von Strategie und Aktionsplan «Digitale Schweiz». Für den Mobilitätsbereich hält die Strategie folgendes Ziel fest: «Mobilität in der Schweiz ist intelligent, vernetzt und in allen Bereichen effizient». Wie genau die Folgen der Digitalisierung in der Mobilität aussehen werden, ist Gegenstand vieler laufender Forschungsaktivitäten und weiterhin mit grossen Unsicherheiten verbunden.

Das Bundesamt für Raumentwicklung hat den Auftrag, die volkswirtschaftlichen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität basierend auf verschiedenen Szenarien abzuschätzen (Bundesrat 2018b). Zu diesem Zweck hat das ARE eine Machbarkeitsstudie erarbeiten lassen, in der erste Grössenordnungen der ökonomischen Folgen der Digitalisierung der Mobilität abgeschätzt wurden (Ecoplan 2018). Im vorliegenden Projekt sollen die dort gewonnenen Erkenntnisse vertieft, ergänzt und das dort vorgeschlagene Vorgehen im Rahmen einer Hauptstudie umgesetzt werden. Hierbei sind verschiedene Vorarbeiten auf Bundesebene zu berücksichtigen. Speziell zu erwähnen sind die Forschungspakete «Verkehr der Zukunft 2060» des SVI/ASTRA, das ASTRA-Forschungspaket «Automatisiertes Fahren» sowie diverse Studien zur multimodalen Mobilität (UVEK/BAV). Auch andere Akteure haben sich vertieft mit der zukünftigen Entwicklung der Mobilität auseinandergesetzt, insbesondere die SBB mit ihren Arbeiten zu den langfristigen Mobilitätsszenarien.

Das übergeordnete Ziel des vorliegenden Projekts ist die umfassende Analyse und – soweit möglich – Quantifizierung der verkehrs- und volkswirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität in der Schweiz. Dabei stehen folgende Wirkungen im Vordergrund:

- Kosten und Nutzen: a) unmittelbar (direkt) durch Veränderung von Kosten (Verkehrsmittel, Infrastruktur, Zeitkosten) und b) indirekt durch Veränderungen von Angebot und Nachfrage,
- Wettbewerbs- und Markteffekte im Verkehrsbereich,
- Auswirkungen auf die Wirtschaft: gesamtwirtschaftliche Effekte, Wirkungen auf Branchen und Staat (Finanzhaushalt),

- Räumliche Wirkungen (Erreichbarkeiten, räumlich differenzierte verkehrliche Effekte) und
- Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit.

Die Wirkungsanalyse soll entlang verschiedener Szenarien durchgeführt werden. Die Szenarioauswahl entspricht einem Ansatz mit Eckszenarien: Die Eckszenarien haben nicht das primäre Ziel, möglichst realistische Zustände der erwarteten Zukunft abzubilden, sondern den Raum möglicher zukünftiger Entwicklungen unterschieden nach den zentralen Digitalisierungsausprägungen aufzuspannen. Die Analyse der Eckszenarien bildet das Fundament für die Diskussion der Vor- und Nachteile der Eckszenarien und deren Bedeutung in möglichen, weitergehenden politisch realistischen Szenarien. Die Bewertung der Wirkungen der drei Eckszenarien verdeutlicht deren jeweiligen Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken. Im Fokus der Wirkungsanalyse steht die Abweichung bzw. das Delta zur Referenzentwicklung (Szenario 0).

Schliesslich sollen konkrete Empfehlungen für die verschiedenen Akteure der öffentlichen Hand abgeleitet werden, immer unter der Prämisse, ein aus Wohlfahrtssicht optimales Ergebnis zu erreichen. Die Analyse soll auf der Machbarkeitsstudie von 2018 aufbauen, die dort ermittelten Effekte überprüfen, vertiefen und ergänzen.

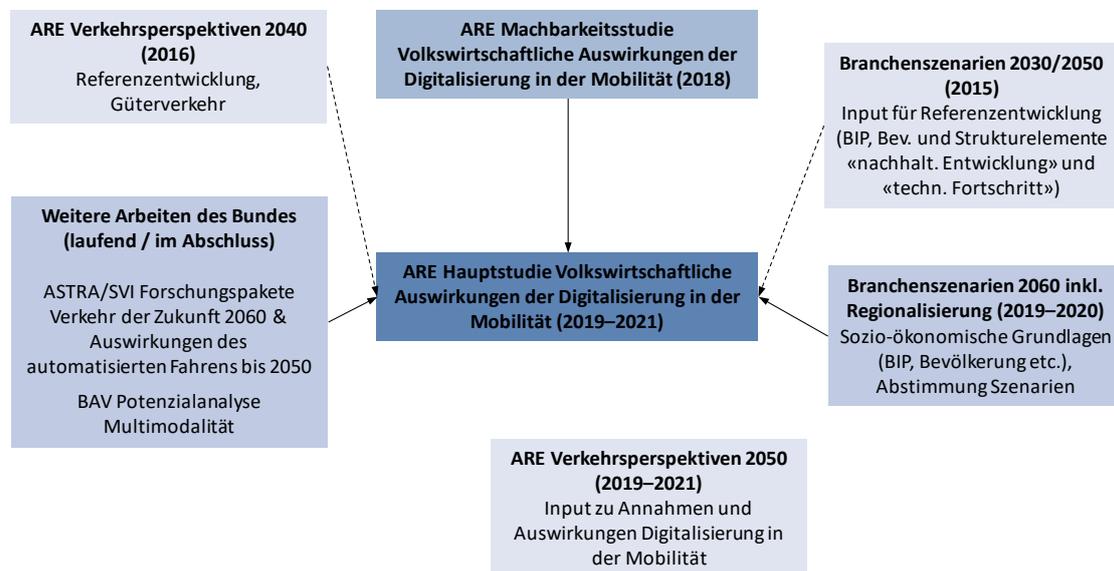
Tabelle 1: In der Studie oft verwendete Abkürzungen und deren Bedeutung

Abkürzung	Bedeutung
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖIV	Öffentlicher Individualverkehr. Neue Angebotsform im Verkehr im Zuge der Digitalisierung. Die Grenzen zwischen ÖV und MIV verschwimmen. ÖIV ergänzt das Angebot durch neue bedarfsgerechte, kollektive – d.h. gebündelte – Verkehre. Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling Angebote fassen wir als ÖIV zusammen. Im Vergleich zum ÖV kann der ÖIV zeitlich und räumlich flexibler unterwegs sein. ÖIV Anbieter können sowohl kommerziell als auch nicht-kommerziell orientiert sein. Wir gehen in der Studie davon aus, dass der ÖIV überwiegend kommerziell durch neue Mobilitätsanbieter aber auch bestehenden Transportunternehmen angeboten wird. Wenn der ÖIV mehrheitlich kommerziell, d.h. nicht durch Privatpersonen angeboten wird, umfasst der ÖIV überwiegend Ride-Pooling-Angebote.
PV	Personenverkehr
GV	Güterverkehr
Lkw	Lastwagen
PW	Personenwagen
VoT	Value of Time (Zahlungsbereitschaft für Reisezeitveränderungen)
MR	Mobilitätsrate
BG	Besetzungsgrad
Pkm	Personenkilometer (Verkehrsleistung)
Fzkm	Fahrzeugkilometer (Fahrleistung)
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK
AMG	Aggregierte Methode Güterverkehr (Güterverkehrsmodell des UVEK)

1.2. Einbettung in die Projektlandschaft

Mit der Machbarkeitsstudie wurden die ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität, d.h. Kosten und Nutzen, im Personenverkehr quantifiziert, für den Güterverkehr und die Infrastruktur qualitativ grob skizziert (Ecoplan 2018). Die Anwendbarkeit der Methode wurde damit grundsätzlich bestätigt. Vor diesem Hintergrund basiert die vorliegende Studie grundsätzlich auf diesem Vorgehen und ergänzt die Arbeiten quantitativ und qualitativ. Insbesondere wird die Grundkonzeption der vier Eckszenarien übernommen (vgl. Kapitel 3). In Bezug auf die Digitalisierung in der Mobilität und deren Auswirkungen in der Schweiz wurden während der Erstellung der Studie verschiedene Arbeiten abgeschlossen. Weitere Arbeiten wie die Verkehrsperspektiven 2050 wurden parallel bearbeitet und konnten daher in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden.

Abbildung 5: Projekteinbettung und Abhängigkeiten



Grafik INFRAS/DLR.

Folgende weitere Arbeiten sind in der vorliegenden Studie berücksichtigt:

- Die Studie basiert im Hinblick auf die verkehrlichen Wirkungen auf der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG), dem Nationalen Personenverkehrsmodell des UVEK (NPVM) und Projektionen des ARE bis 2060 auf Basis aktueller sozio-ökonomischer Grundlagendaten. Insofern weichen diese vom Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 (ARE 2016) sowie der ergänzenden Projektion bis 2050 (ARE 2016b) ab.

- Die ASTRA Forschungspakete «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» und «Verkehr der Zukunft» wurden Ende des Jahres 2020 veröffentlicht. Das Forschungspaket zum automatisierten Fahren umfasst sechs Teilprojekte (Tabelle 2) und zum Verkehr der Zukunft sieben Teilprojekte (Tabelle 3), deren Relevanz bezogen auf die zugrundeliegenden Annahmen als auch Ergebnisse für die vorliegende Studie sehr grob eingeschätzt wurde.

Tabelle 2: Teilprojekte des ASTRA-Forschungspaket «Auswirkungen des Automatisierten Fahrens»

Teilprojekt	Themen	Relevanz		
		gering	mittel	hoch
1. Nutzungsszenarien und Auswirkungen	Nutzungsszenarien automatisierter Personen- und Güterfahrzeuge, an denen sich die anderen Teilprojekte bei ihren Analysen orientieren und anschliessend aufgrund der Analysen			x
2. Verkehrliche Auswirkungen und Bedarf an Infrastruktur	Quantifizierung der verkehrlichen Auswirkungen der Nutzungsszenarien für das automatisierte Fahren im Zeitraum 2020 bis 2050, Modellierung für Hochleistungsstrassen und ausgewählte Städte; Ermittlung der daraus resultierenden Folgen für den Bedarf an Verkehrsinfrastrukturen und Ableiten von Handlungsempfehlungen			x
3. Umgang mit Daten	Ermittlung Daten und Datenumfang, deren Nutzungsmöglichkeiten und Bewertung, Untersuchung künftiger Modelle der Verkehrslenkung und -steuerung, Klärung der Rollen der Stakeholder, Bedarf an digitaler Infrastruktur und Anforderungen an deren Aufbau und Betrieb, Handlungsempfehlungen		x	
4. Neue Angebotsformen	Ermittlung neuer Angebotsformen in der Mobilität bis 2050 in Abstimmung mit dem Forschungspaket «Verkehr der Zukunft», Konkretisierung benötigter Technologien, Betreiber sowie benötigter Mittel und Infrastrukturen ist erfolgt; Rahmen für Einführung und Etablierung gewünschter neuer Angebotsformen und Handlungsempfehlungen			x
5. Mischverkehr	Definition realistischer Migrationsszenarien von traditionellen zu vollautomatisierten Strassenfahrzeugen, Identifikation und Bewertung besonderer Herausforderungen im Mischverkehr, Lösungsvorschläge für sicheren Strassenverkehr und Erhalt der Funktionsfähigkeit der Strasse (Verkehrsfluss), Ableiten von Handlungsempfehlungen		x	
6. Räumliche Auswirkungen	Analyse der räumlichen Entwicklung, Formulieren von Handlungsempfehlungen für die Unterstützung der raumplanerischen Ziele der Schweiz durch das automatisierte und vernetzte Fahren			x

Relevanz: Grobe Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Teilprojekte für die vorliegende Studie.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: ASTRA, eigene Einschätzungen.

Tabelle 3: Teilprojekte des ASTRA-Forschungspakets «Verkehr der Zukunft»

Teilprojekt	Themen	Relevanz		
		gering	mittel	hoch
1. Demografische Alterung und ihre Folgen für Kapazität und Sicherheit des Verkehrssystems	Langfristtrends Wohnen und Mobilitätsbedürfnisse der jungen und alternden Bevölkerung, Anforderungen an das Verkehrssystem, Anforderungen an verkehrsplanerische Inhalte und Prozesse		x	
2. Stadtverträgliche Mobilität - mobilitätsgerechte Stadt der Zukunft (Gloor et al. 2020)	Urbane Entwicklungstrends und Ausprägungen (zentral-dezentral), Zunehmende Dichte und Anforderungen an das Verkehrssystem, Differenzierung nach Wohnen und Arbeiten, Austauschbeziehungen mit der Region, Auswirkungen neuer Produktionsformen		x	
3. Langfristige Wechselwirkungen Verkehr – Raum (Bruns et al. 2020)	Entwicklung von Wohn- und Arbeitsformen, Entwicklung der Produktionsprozesse bei der Logistik im Zeitalter von Digitalisierung und Automatisierung			x
4. Auswirkungen des Klimawandels auf die Verkehrsnachfrage	Anpassung an den Klimawandel: Gestaltung von Anpassungsmassnahmen und zukünftige Infrastruktur. Abschwächung des Klimawandels: Auswirkungen auf die Gestaltung der Mobilität und der Verkehrsnachfrage	x		
5. Risiken und Chancen für das Regulativ und das Finanzierungssystem	Analyse von Langfristwirkungen aus wirtschaftlicher Sicht und Folgerungen für den Umgang mit den einzelnen Verkehrsformen und dem Finanzierungsmodell Strasse-Schiene			x
6. Technologischer Wandel und seine Folgen für Mobilität und Verkehr (de Haan et al. 2020)	Grundsätzliche Zusammenhänge zwischen technologischem Wandel und Mobilität und Verkehr. Relevante technologische Entwicklung und mögliche Trendbrüche und deren Auswirkungen		x	
7. Neue Angebotsformen, Organisation und Diffusion (Oehry et al. 2020a)	Technologiebedingte Veränderung der Angebotsformen (v.a. individueller vs. kollektiver Transport) und Bedingungen (u.a. Akzeptanz) für die Nutzung von Systemsynergien. Neue Geschäftsmodelle im Verkehr und Folgerungen für die Organisation des ÖV.			x

Relevanz: Grobe Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Teilprojekte für die vorliegende Studie.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: ASTRA, eigene Einschätzungen.

- Der Bund fördert die multimodale Mobilität und hat das UVEK beauftragt Massnahmenpläne zu erarbeiten (UVEK 2018a). Die Ergebnisse der Potenzialanalyse multimodale Mobilität im Auftrag des Bundesamts für Verkehr BAV liegen seit Oktober 2020 vor (Interface und EBP 2020).
- Die Branchenszenarien 2030/2050 wurden 2020 aktualisiert und veröffentlicht (KPMG und Ecoplan 2020). Im Rahmen der Analyse der wirtschaftlichen Auswirkungen verwenden wir die Angaben zur Branchenentwicklung der Referenz für die Hochschreibung der IOT auf 2060.

2. Systemgrenzen und Vorgehen

2.1. Systemgrenzen

Was verstehen wir unter Digitalisierung?

Der Begriff der Digitalisierung kann ein sehr breites Themenspektrum umfassen und wird oft sehr verschieden definiert. Wolfgang und Strohschen (2018) verstehen darunter einen ganzen oder teilweisen Ersatz der analogen Leistungserbringung durch Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell. Angetrieben wird die Digitalisierung durch neue digitale Technologien. Beispiele dafür sind die Robotik, die Sensorik oder die künstliche Intelligenz. Die Trends und Auswirkungen der Digitalisierung sind vielfältig. Technologisch ordnen wir der Digitalisierung zwei Haupttrends zu: die Automatisierung und Vernetzung (INFRAS 2017).

Die Digitalisierung wird als Gigatrend v.a. auch in der Mobilität bezeichnet (z.B. Wittmer und Linden 2017). Es wird davon ausgegangen, dass durch die Digitalisierung Mensch und Maschine bzw. Technologie zusammenwachsen und dies indirekt zu einer Anpassung von Erwartungen, Einstellungen und Verhaltensweisen von Menschen führt.

Daraus abgeleitet basieren wir für die Herleitung der Szenarien – analog der Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018) – auf zwei wichtige Trends: Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen sowie Sharing und Kollaboration (vgl. Kap.3).

Wie grenzen wir das System «Verkehr» ab?

Die Systemgrenzen geben den Rahmen der Literaturanalyse vor und grenzen den Untersuchungsgegenstand inhaltlich (v.a. Verkehr), zeitlich und geographisch ab und geben einen ersten Hinweis auf die Struktur im Verkehr (und Begrifflichkeiten).

Die Studie fokussiert auf den (fliessenden und ruhenden) Landverkehr auf Strasse und Schiene. Die Wirkungen im Personen- und Güterverkehr werden getrennt erfasst. Gegenseitige Wechselwirkungen zwischen Personen- und Güterverkehr werden insbesondere qualitativ beschrieben. Die Strukturelemente dieser beiden Bereiche sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass zur Abschätzung der verkehrlichen und räumlichen Wirkungen die Verkehrsmodelle des UVEK angewandt wurden und daher gewisse Abgrenzungen bzw. Kategorisierungen vorgegeben waren (vgl. Kapitel 2.2) bzw. in den Verkehrsmodellen quantitativ nicht direkt abgebildet werden können (z.B. Sharing-Angebote wie Ride-Pooling und neue Angebote Mikromobilität). Diese Aspekte sind aber im Rahmen der Literaturanalyse berücksichtigt worden und wurden ausserhalb der Verkehrsmodelle berechnet.

Im Güterverkehr und der Logistik sind die Abgrenzungen, was zum Verkehr gezählt wird, teilweise schwierig. Im Kombinierten Verkehr werden die Folgen der Automatisierung von Umschlagsvorgängen insofern einbezogen, sofern dies auf die Stellschrauben im Verkehrsmodell Auswirkungen hat. Die Automatisierung von öffentlichen oder privaten Umschlagsanlagen und deren Kosten wird hingegen nicht vertieft untersucht.

Da im Strassenpersonenverkehr die Abgrenzung zwischen privaten und öffentlichen Verkehr zunehmend verschwimmen wird, unterscheiden wir zusätzlich zwischen der individuellen und kollektiven Nutzung sowie zwischen privaten und gewerblichen Verkehr.

Tabelle 4: Strukturelemente Verkehr

Strukturelement	Personenverkehr	Güterverkehr
Verkehrsträger	Strasse, Schiene	
Verkehrsmittel/ Transportgefässe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strasse: <ul style="list-style-type: none"> ▪ motorisiert: PW (inkl. Motorräder), Busse/Trolleybusse ▪ nicht-motorisiert und motorisiert: Fuss- und Veloverkehr (inkl. FäG)² ▪ Schienengebunden: Eisenbahnen, Zahnradbahnen, Tram (Unterscheidung ist für 2060 nicht relevant) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strasse: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lieferwagen bzw. leichte Nutzfahrzeuge (LNF) < 3.5t zGG³ ▪ Lastwagen und Sattelzüge (Lkw) bzw. schwere Nutzfahrzeuge (SNF) > 3.5t zGG ▪ Schiene: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wagenladungsverkehr (WLV) ▪ Kombiniertes Verkehr (KV), d.h. Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr (UKV) und Begleiteter KV (RoLa)
Verkehrsmittel- nutzung Strasse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ privat/individuell (MIV) ▪ individuell/kollektiv gemischt (ÖIV) ▪ kollektiv (ÖV) 	<i>keine Unterscheidung zwischen Ganz- und Teilladungsverkehre (Berücksichtigung von Warengruppen und Logistiksystemen, vgl. Kap. 2.2)</i>
Marktbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Privater Verkehr ▪ Gewerblicher Verkehr (ÖV, Taxis/Ride-Sharing, etc.) 	<i>keine Unterscheidung zwischen gewerblichen und Werkverkehr</i>

FäG: Fahrzeugähnliche Geräte (Trotts etc.), PW: Personenwagen, RoLa: Rollende Landstrasse.

Tabelle INFRAS/DLR.

Die Analysen beziehen sich auf die Schweiz. Die verkehrlichen Analysen erfolgen nach dem Territorialitätsprinzip. Erfahrungen aus dem Ausland werden – soweit für die Schweiz relevant und übertragbar – über die Literaturliteraturanalyse einbezogen.

² Für die vorliegende Studie wurde der Aspekt des Sharings in Bezug auf Velo- und Scooter-Verkehr (Mikromobilität) gemäss Systemabgrenzung im Rahmen des Literaturreview berücksichtigt (Kap. 4.4.1.2.9). Die verkehrlichen Effekte im Fuss- und Veloverkehr wurden grob abgeschätzt, aber nicht vertieft untersucht, da die Verkehrsmodelle des UVEK die aktive Mobilität nicht (z.B. keine Cargo-Bikes im Güterverkehrsmodell) oder nicht sehr differenziert (z.B. keine Unterscheidung betreffend Velo-Besitz im Personenverkehrsmodell) berücksichtigt.

³ Die leichten Nutzfahrzeuge werden im nationalen Güterverkehrsmodell (Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG), vgl. Kap. 2.2.2) zwar erfasst, eine Modellierung durch das ARE war jedoch nicht möglich. Eine zusätzliche Abschätzung auf Basis eines Tischmodells ist nicht Gegenstand des Auftrages.

Zeitlicher Orientierungspunkt für die Analysen ist das Jahr 2060. Für die jeweiligen Szenarien wurden die Verkehrsmodellläufe für das Jahr 2060 durchgeführt.

Was ist nicht Gegenstand der Studie?

Im Kern der Studie ist die Digitalisierung in der Mobilität zu untersuchen. Die Auswirkungen der Digitalisierung in anderen Branchen bzw. auf den Rest der Wirtschaft und deren Effekte auf die Mobilität und die Verkehrsnachfrage (z.B. auf die Warengruppen im Güterverkehr, Veränderungen des Einkaufsverhaltens und Zunahme E-commerce, Produktion von Vorleistungsgütern in einer Fabrik direkt aus dem 3D-Drucker anstatt Zulieferung über Strasse oder Bahn) werden daher nicht quantifiziert.

Eine weitere - im vorliegenden Bericht nicht betrachtete - zentrale Herausforderung ist der Klimawandel und die angestrebte Dekarbonisierung bis 2050. Insbesondere war die Veränderung der Antriebstechnologien der Fahrzeuge (v.a. Elektrifizierung) nicht Gegenstand der Studie. Diesbezügliche Annahmen wurden – beispielsweise bei der Anwendung der Verkehrsmodelle des UVEK (z.B. Flottenmix der PW nach Antriebstechnologie) – ggü. der Referenzentwicklung und für die verschiedenen Szenarien daher nicht variiert. Die Elektrifizierung im Veloverkehr (aber auch E-Scooter) von den Effekten der Digitalisierung (Sharing durch «Plattformökonomie») abzugrenzen, ist nur schwer möglich. Für den Veloverkehr, Scooter etc. erfolgt keine Differenzierung im Rahmen der verkehrlichen und volkswirtschaftlichen Wirkungsanalyse. Diese Aspekte werden qualitativ erörtert.

Aufgrund des Fokus auf den Landverkehr auf Strasse und Schiene werden unterirdische Transportsysteme und deren langfristige Auswirkungen bis 2060 in der vorliegenden Studie – auch wenn es sich hierbei um automatisierte Transportsysteme handelt – nicht berücksichtigt. Mit der Botschaft zum Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport vom 28. Oktober 2020 unterbreitet der Bundesrat dem Parlament ein Gesetz, das die Voraussetzungen regelt, unter denen das privatwirtschaftlich initiierte Projekt Cargo sous terrain (CST, vgl. folgenden Exkurs) bewilligt werden kann.

Im Rahmen der Studie wurde diskutiert, inwiefern die Auswirkungen der Corona-Pandemie im Personenverkehr zu berücksichtigen seien. Die Corona-Pandemie hat das Mobilitätsverhalten weltweit stark beeinflusst. Im Jahr 2020 und auch im 1. Quartal 2021 haben sich sowohl Verkehrsaufkommen als auch der Modalsplit in der Schweiz verändert. Die langfristigen Auswirkungen sind jedoch ungewiss. Vor diesem Hintergrund verzichten wir darauf, für das Jahr 2060 eine diesbezügliche Sensitivität zu berechnen.

Exkurs: Cargo sous terrain (CST)

Das System Cargo Sous Terrain ist ein zusätzliches und eigenständiges System für den Transport von normierten Gütern. Es ist intermodal aufgebaut und besteht aus einem Hauptlauf (unterirdischer Tunnel), der mit einzelnen Umladestationen (Hubs) und einem Feinverteilsystem (City Logistik) verknüpft ist, wo Güter an den Hubs an die Oberfläche gelangen und zum Endkunden verteilt werden. Im Tunnel erfolgt der Transport automatisiert mit eigens dafür vorgesehenen Fahrzeugen. Die Feinverteilung soll weitgehend vollautomatisch und emissionsfrei erfolgen. Dank der weitgehenden Unabhängigkeit von der bestehenden Infrastruktur kann ein kontinuierlicher Betrieb sichergestellt werden. Die Einführung eines solchen unterirdischen Transportsystems hat weitreichende Auswirkungen (INFRAS 2016, vgl. im Folgenden die Botschaft vom 28. Oktober 2020).

CST plant einen stufenweisen Ausbau der Infrastruktur auf der Ost-West-Achse (Genf – St. Gallen). Zusätzlich wurden die Städte Basel, Luzern und Thun in das System aufgenommen. Dieses Netz basiert somit auf den bedeutenden Güterströmen in der Schweiz. Der Vollausbau soll ungefähr bis ins Jahr 2045 abgeschlossen werden. CST geht von Erstellungskosten in Höhe von rund 30–35 Mia. Franken für die gesamte Infrastruktur aus. Dank unterirdischer Transportsystem für den Gütertransport können Strassen- und Schieneninfrastruktur entlastet werden. CST würde gemäss der Machbarkeitsstudie zu einer Glättung respektive Verschiebung der Belastung und einer Reduktion des schweren Güterverkehrs von bis zu 20 % für die erste Teilstrecke (rund 40 % nach dem Vollausbau) führen. Dieses unterirdische Transportangebot wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt.

2.2. Vorgehen und Methodik

2.2.1. Konzeptionelle Eckpunkte

Im Fokus der Fragestellung stehen die Auswirkungen der Digitalisierung. Die Auswirkungen der Digitalisierung in der Wirtschaft Schweiz ohne Mobilität sind nicht Gegenstand der Analyse. Bei der Definition der Eckszenarien Mobilität werden diese unterstellten Wirkungen im Rest der Wirtschaft nicht verändert.

Die Analyse der Digitalisierung auf die Mobilität fokussiert in einer ersten Stufe auf die direkten Wirkungen (bestehender Verkehr gemäss KNA-Norm), also ohne Berücksichtigung von Nachfragewirkungen. In einer zweiten Stufe werden die Angebots- und Nachfragewirkungen und die Veränderungen im Modalsplit des Gesamtverkehrs (indirekte Wirkungen) etc. untersucht. Diese zwei Stufen der Analyse bleiben im gesamten Verlauf der Analyse unterscheidbar.

Die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse und aus der Analyse zu den direkten Wirkungen (v.a. kostenseitig bedingt) bilden die Basis für die verkehrlichen und ökonomischen, räumlichen und umweltseitigen Wirkungsanalysen. Für die verkehrlichen Wirkungen (indirekt) setzen wir auf den Einsatz der aktuellen Verkehrsmodelle des Personen- bzw. Güterverkehrs beim UVEK. Deren wichtigste Stellenschrauben werden auf Basis der Referenzangaben für die Szenarien überprüft und angepasst (vgl. Kap. 2.2.2). Die Ergebnisse der verkehrlichen, modellbasierten Analysen bilden dann die Grundlage bzw. Impulse für die anschliessende volkswirtschaftliche Wirkungsanalyse mit unserem Input-Output-Modell (Kap. 8). Nachgelagert werden die Umwelt

und Gesundheitsfolgen der Eckszenarien untersucht und soweit möglich monetarisiert. Die Ergebnisse der Verkehrsmodellierung wurden für erste grobe räumliche Analysen (räumlich differenzierte Auswirkungen) verwendet, wobei dies vorliegend nicht im Fokus stand.

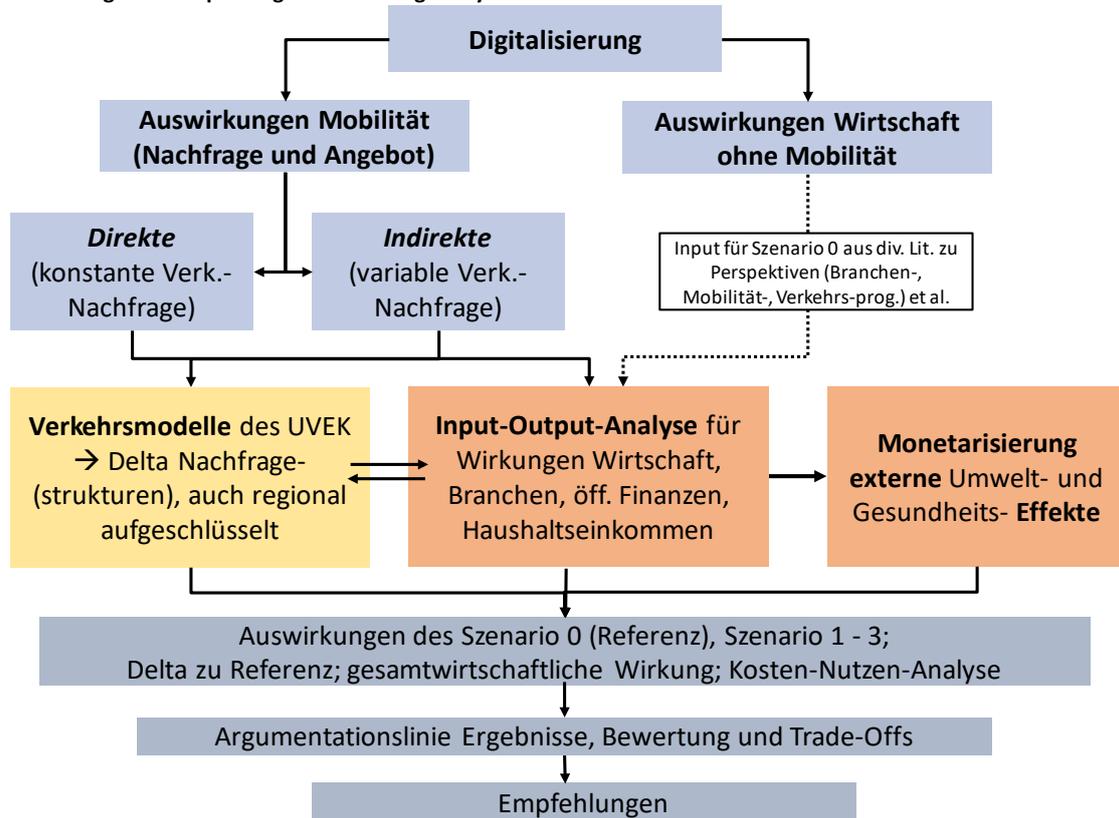
Die Ergebnisse der szenariobasierten Analysen der «Auswirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität» werden in klaren Argumentationslinien dargestellt. Dabei gilt es die Unterschiede der Auswirkungen im Vergleich zum Szenario 0 aufzuzeigen und die Szenarien untereinander zu vergleichen. Im Rahmen der ökonomischen Analysen werden folgende Kernfragen beantwortet:

- Wie hoch sind die relevanten Kosten-Nutzen-Elemente der Digitalisierung in der Mobilität (mikroökonomische Betrachtung)?
- Welches sind die groben gesamt- und branchenwirtschaftlichen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität (makro- bzw. mesoökonomische Betrachtung)?
- Welches Vorzeichen und welche Grössenordnung weist der Saldo der Wertschöpfungswirkung plus der Veränderung der monetarisierten externen Kosten aus (ressourcenökonomische Makrosicht)?

Die untersuchten Eckszenarien werden im Anschluss umfassend bewertet und dargelegt, mit welchem Szenario welche Chancen und Risiken, Vorteile und Nachteile verbunden sind. Auf diese Weise lassen sich die Zielkonflikte («Trade-Offs») zwischen den verschiedenen Eckszenarien (und deren regulatorischer Ausgestaltung) erkennen. Darauf aufbauend formulieren wir Erkenntnisse und Empfehlungen aus der Analyse der Wirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität in der Schweiz.

Ein wichtiges Leitelement unseres Vorgehens stellt das Mitdenken von Unsicherheiten dar. Basierend auf der Literaturanalyse wurde festgehalten, welche Inputelemente, welche Ausprägungen der Eckszenarien besonders grosse Unsicherheiten in der Grössenordnung aufweisen. In der Wirkungsanalyse wurde zu diesen Elementen entsprechenden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. In den Ergebnissen erkennen wir, wie entscheidend diese Unsicherheits-elemente für die Robustheit der Ergebnisse sind.

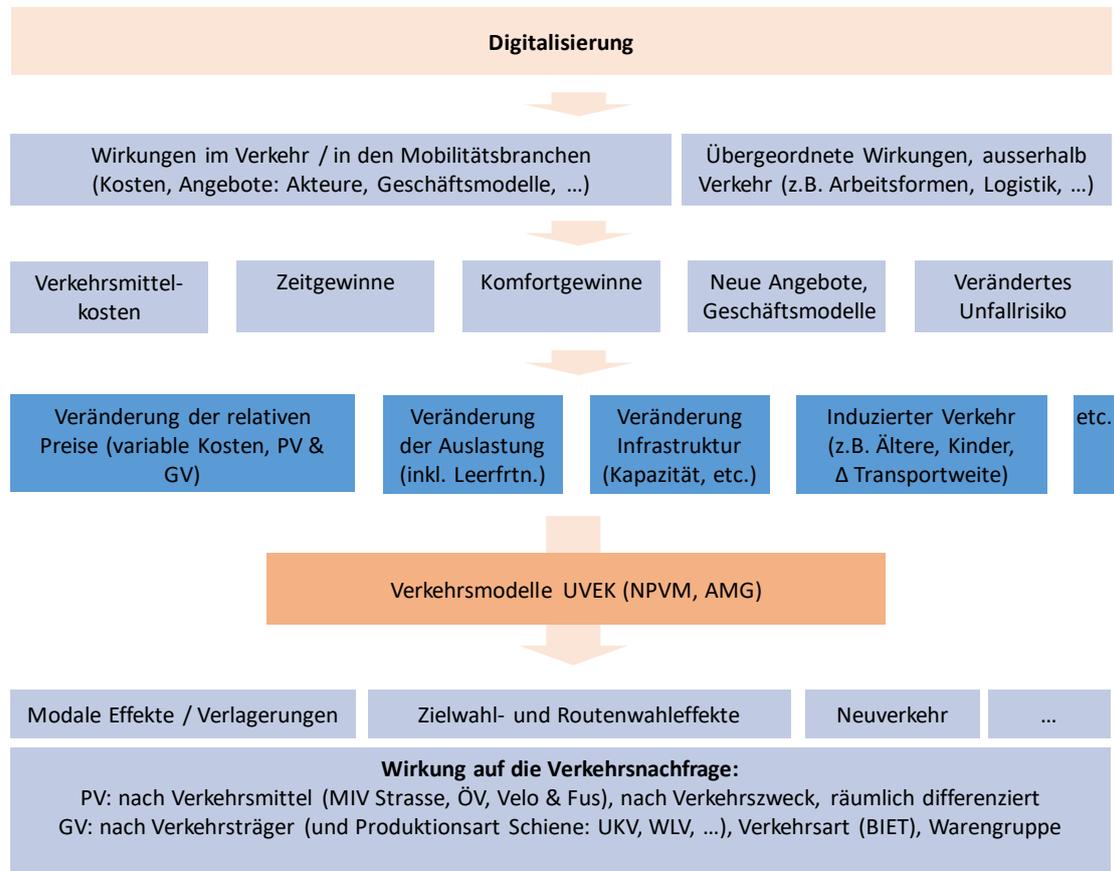
Abbildung 6: Konzept Vorgehen Wirkungsanalyse



2.2.2. Vorgehen zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen

Zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen wurden die Verkehrsmodelle des UVEK genutzt. Für diese wurden zentrale Stellschrauben, die sich aufgrund der Digitalisierung in der Mobilität je Szenario verändern, auf Basis der Literaturanalyse identifiziert und je Szenario (bzw. Sensitivität) angepasst. Diese Stellschrauben wirken unterschiedlich und führen zu Veränderungen des Aufkommens im Personenverkehr (Neuverkehr), des Modal Split, der Verkehrs- und Fahrleistungen aufgrund Routenwahleffekte, durchschnittliche Reiseweiten sowie auch Zeit (Abbildung 7).

Abbildung 7: Vorgehen zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen im Personen- und Güterverkehr



Grafik INFRAS.

Güterverkehr

Für den Güterverkehr liegt mit der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) des UVEK ein Verkehrsmodell vor, welches den Güterverkehr im Binnen-, Import-, Export- und Transitverkehr in der Schweiz auf Strasse, Schiene sowie in Rohrfernleitungen und mit dem Binnenschiff umfasst (ARE 2015, ARE 2019a). Für die vorliegende Studie wurden keine Änderungen betreffend den Verkehr in Rohrfernleitungen und mit Binnenschiffen vorgenommen. Deren Verkehrsnachfrage für 2060 wurde in den Szenarien konstant gelassen bzw. wird in den folgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt. Der Luftverkehr wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

Zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen in den Szenarien werden die Werte zentraler Stellgrößen für das Prognosejahr 2060 des Szenarios 0 auf Grundlage der Literaturanalyse und eigenen Einschätzungen angepasst. Die AMG basiert auf dem Referenzjahr 2018. Prognosen für das Szenario 0 liegen bis 2060 vor.

Als Input für die AMG des UVEK schätzen wir die Ausprägungen von drei zentralen Stell-schrauben in den jeweiligen Szenarien basierend auf der Literatur ab. Dies sind:

- Geschwindigkeiten,
- Kosten-/Preisveränderungen und
- Auslastung (Auslastung Lkw, Leerfahrtenanteil Lkw).

Die Ergebnisse der AMG des jeweiligen Szenarios sind Input für das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM). Die Umlegung der Verkehre im Güterverkehr erfolgt im NPVM.

Da in der AMG keine Infrastrukturkapazität berücksichtigt ist, wurde die Geschwindigkeit der verschiedenen Verkehrsträger exogen definiert. Die Umlegung der Strassengüterverkehrsströme erfolgt dann im NPVM. Damit die Geschwindigkeiten im NPVM mit denen in der AMG konsistent sind, müssten die beiden Modelle daher viele Male iteriert werden, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Dies ist bei diesem Projekt jedoch aus Gründen der Rechenzeit nicht möglich. Wir haben deshalb die Geschwindigkeiten exogen in der AMG festgelegt: 25 km/h für die Schiene und 50 km/h für die Strasse im Szenario 0 (vgl. Kapitel 5.2 für die weiteren Szenarien).

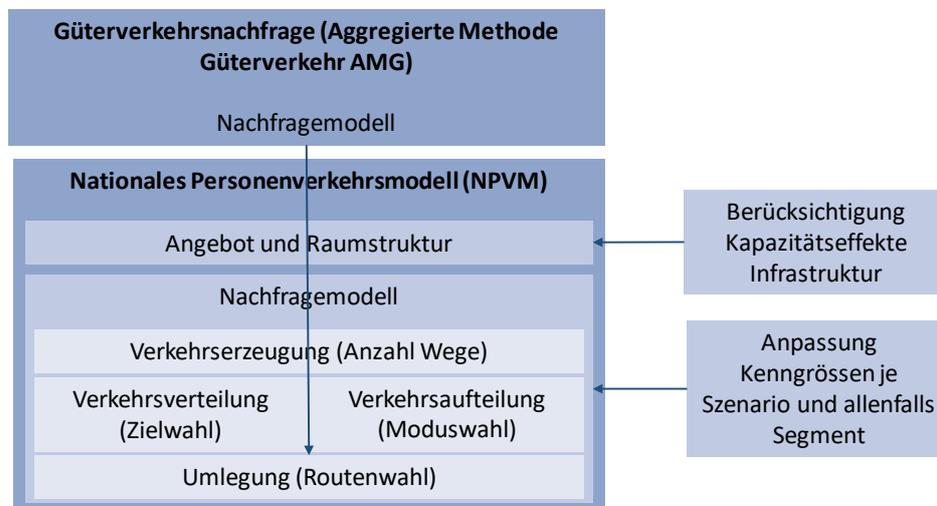
Personenverkehr

Für den Personenverkehr kommt das aktuelle Nationale Personenverkehrsmodell 2017 (NPVM) zur Anwendung (ARE 2019b, ARE 2020a). Dieses lag für das Basisjahr 2017 vor. Eine Testprognose 2040 wurde im Rahmen des NPVM 2017 erstellt (vgl. Kap. 5.3 in ARE 2020a). Da im Rahmen der laufenden Erarbeitung der Verkehrsperspektiven 2050 kein Szenario 0 für 2060 vorlag, musste ein Szenario 0 (als methodische Vergleichsbasis) für die vorliegende Untersuchung für 2060 definiert werden (vgl. Kap. 5.1.2). Für die Anwendung des NPVM sind v.a. folgende Arbeitsschritte relevant.

- Die Ergebnisse der Anwendung der AMG je Szenario werden in einem ersten Schritt als Input in das NPVM berücksichtigt. D.h. je Szenario ist zunächst die AMG und anschliessend das NPVM inkl. Umlegung auf die Netze vorzusehen.
- In einem zweiten Schritt ist die Entwicklung der Gesamtnachfrage im Personenverkehr für das Szenario 0 als Startpunkt und die drei Eckszenarien (1-3) für das Jahr 2060 zu schätzen. Einerseits müssen die Prognosen auf Basis der aktualisierten sozio-ökonomischen Daten (Wertschöpfung, Bevölkerung etc.) bis 2060 fortgeschrieben werden. Andererseits können sich in den Szenarien 1–3 Nachfrageänderungen aufgrund der Digitalisierung (z.B. induzierter Verkehr aufgrund neuer Personengruppen wie Kinder/Jugendliche sowie mobilitätseingeschränkte Personen im Strassenverkehr) ergeben. Hierfür wurden die Mobilitätsraten abgeschätzt (vgl. Kapitel 5.1).

- In einem dritten Schritt werden die zentralen Kenngrößen des NPVM-Nachfragemodells je Szenario 1 bis 3 und allenfalls differenziert nach Segment basierend auf den Stellschrauben gemäss Szenario 0 variiert und jeweilige Modellläufe durch das ARE durchgeführt. Da uns für gewisse Stellschrauben die Referenzangaben nicht oder nicht sehr differenziert vorlagen, wurden die angenommenen Veränderungen im jeweiligen Szenario abgeschätzt. Dies betraf u.a. die Preise bzw. Kosten im ÖV und die Zu-/Abgangszeit bzw. Anbindungszeit ÖV. Die Umsetzung bzw. Anwendung des NPVM und Zusammenstellung der Ergebnisse erfolgte durch das ARE.

Abbildung 8: Anwendung NPVM



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Darstellung, ARE 2019b.

Als Input für das NPVM schätzen wir die Ausprägungen von fünf bzw. sechs zentralen Stellschrauben in den jeweiligen Szenarien basierend auf der Literatur ab. Die zentralen Stellschrauben sind (vgl. hierzu auch Kap. 5.1.2):

- Mobilitätsrate (MR)⁴,
- Value of Time (VoT) im MIV⁵,

⁴ Die spezifische Verkehrsaufkommensrate (SVA) bzw. die Mobilitätsrate ist eine entscheidende Eingangsgrösse für das Modell. Sie gibt an, wie viele Wege einer bestimmten Quelle-Ziel-Gruppe (QZG) im Mittel von einer Person der zugehörigen Verhaltenshomogenen Gruppe (VHG) pro betrachtete Zeiteinheit (im NPVM Werktag) zurückgelegt werden. Die nach QZG, nach VHG und zusätzlich nach Raumtyp differenzierte Berechnung der SVA für das NPVM erfolgt anhand des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015.

⁵ Der VoT gibt die Zahlungsbereitschaft für Reisezeitveränderungen an. Im NPVM wird dieser nach der Quelle-Ziel-Gruppe sowie des Raumtyps (ländlich, intermediär, städtisch) differenziert.

- Kosten MIV⁶ bzw. kilometerabhängige Preise ÖV⁷,
- Besetzungsgrad (BG) im MIV⁸,
- Infrastrukturkapazitäten Strasse sowie
- ergänzend im Rahmen von Sensitivitätsrechnungen auch die ÖV-Anbindungszeit.

Das NPVM unterscheidet nicht zwischen geteilten und nicht-geteilten Fahrten, was für die weiteren Analysen jedoch wichtig ist (vgl. Tabelle 4). Gleichzeitig wird eine klare Abgrenzung zwischen ÖV und MIV künftig immer schwieriger und zunehmend verschwimmen (vgl. Kap. 3.2). Wir unterscheiden deshalb für die Analyse drei Marktsegmente: **ÖV, ÖIV und MIV privat/individuell** (vgl. hierzu auch Tabelle 4 in Kapitel 2.1). Der ÖIV ist ein relativ neuer Begriff. Gemäss Bruns, Rothenfluh et al. (2018) zeichnet sich der ÖIV im Vergleich zum ÖV v.a. durch flexible Abfahrtszeiten (Bedarfsverkehr) und Routen aus (vgl. auch Kapitel 3.2). Für die Anwendung des NPVM gehen wir modellbedingt davon aus, dass der ÖIV Teil des MIV ist. Dies weil im ÖIV v.a. kleinere Gefässgrössen (Fahrzeuge wie PW und Vans) zum Einsatz kommen. Im NPVM verstehen wir den MIV inkl. ÖIV daher zunächst als ein Segment. Zur Herleitung der entsprechenden Annahmen betreffend VoT, Kosten und Besetzungsgrade im jeweiligen Szenario berücksichtigen wir dies daher indirekt. Das Vorgehen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

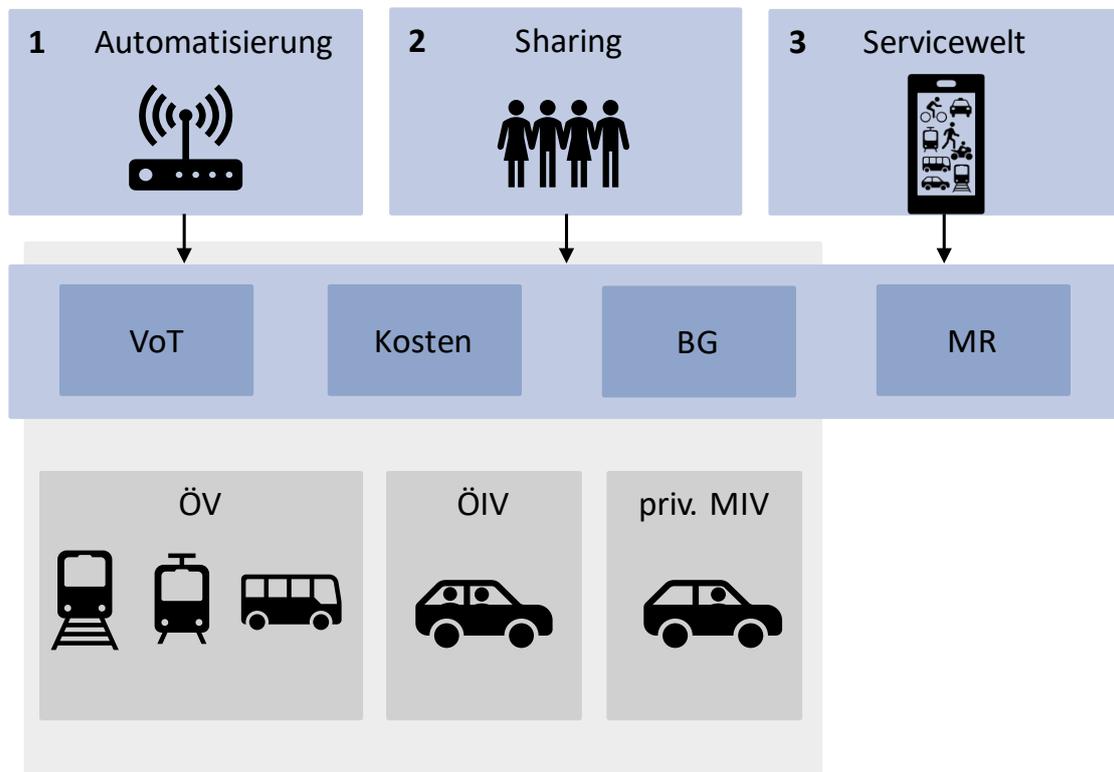
Um die verkehrlichen Wirkungen für die drei Marktsegmente ÖV, ÖIV und MIV getrennt darzustellen, werden weitere Abschätzungen ausserhalb des Verkehrsmodells von INFRAS durchgeführt. Dies erfolgte nach Abschluss der Modellläufe mit dem NPVM und Auswertung der Daten. Die vereinfachten Abschätzungen wurden im Excel durchgeführt und stellen – auch in Anbetracht des gewählten Vorgehens und dem Horizont 2060 – grobe Annäherungen dar.

⁶ Die Kosten im MIV beziehen sich auf die variablen Kosten des Fahrzeugbetriebs, die nach Antriebstechnologie (Benzin, Diesel, Elektro, Hybrid) und Grössenklasse (Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse) differenziert sind. Je nach Flottenzusammensetzung resultiert ein spezifischer Kostensatz pro Gemeinde.

⁷ Im ÖV ist für das Jahr 2060 die heutige Tarifstruktur (Generalabonnement (GA), Verbundabonnement, Halbtax (HT), Vollpreis) abgebildet. Es werden fünf Kategorien unterschieden: GA, Verbundabo bis 12 km, Verbundabo ab 12 km, HT, Vollpreis. Es wurde jeweils nur der kilometerabhängige Preis angepasst und angenommen, dass die pauschalen Preise beibehalten werden.

⁸ Im NPVM wird die durchschnittliche Besetzung von PW im MIV an Werktagen differenziert nach Fahrtzweck und Distanzklasse erfasst.

Abbildung 9: Vorgehen zur Abschätzung der Inputgrößen für das NPVM



Das Szenario 0 ist nicht abgebildet, weil wir die Veränderung der Ausprägung der Stellschrauben in den Szenarien 1 bis 3 jeweils im Vergleich zum Szenario 0 abschätzen.

VoT = Value of Time, BG = Besetzungsgrad, MR = Mobilitätsrate, ÖV = öffentlicher Verkehr, ÖIV = öffentlicher Individualverkehr.

Grafik INFRAS/DLR.

2.2.3. Vorgehen volkswirtschaftliche Auswirkungen

Das Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Analyse der ökonomischen Wirkungen für jedes Szenario. Zum einen auf die Kosten und Nutzen (mikroökonomische Ebene), zum anderen auf die Wertschöpfung, Beschäftigung und Produktion der Gesamtwirtschaft sowie der einzelnen Branchen (meso- und makroökonomische Ebene). Dabei geht es nicht um exakte Prognosen, sondern eine grobe Größenordnung für 2060 anzugeben und wichtige Struktureffekte zu erkennen. Die Unterscheidung zwischen den mikroökonomischen und meso-/makroökonomischen Ebenen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 10: Ebenen der volkswirtschaftlichen Analyse



Mikro = Mikroökonomische Ebene, Meso = Mesoökonomische Ebene, Makro = Makroökonomische Ebene, Verkehrsnachf. = Verkehrsnachfrage.

Grafik INFRAS.

Vorgehen mikroökonomische Analyse/Abschätzung der Kosten und Nutzen

Basierend auf dem verkehrlichen Mengengerüst für das Jahr 2060 und den Ergebnissen der verkehrlichen Wirkungen gemäss den Verkehrsmodellen des UVEK werden die Kosten bzw. Nutzen der direkten und indirekten Effekte der Digitalisierung auf die Mobilität für die drei Eckszenarien geschätzt. Die direkten Effekte beziehen sich auf die Wirkungen der Digitalisierung auf den Stammverkehr, das heisst bezogen auf das Verkehrsangebot und eine unveränderte Verkehrsnachfrage wie im Szenario 0 unterstellt (*ceteris paribus*). Die indirekten Effekte berücksichtigen Nachfrageänderungen (Neuverkehr, Veränderung der Fahrleistung etc.) und daraus abgeleitete Effekte in Bezug auf Umwelt und Gesundheit. Für die Monetarisierung greifen wir u.a. auch auf Annahmen der Stellschrauben sowie auf weitere Grundlagen zurück (vgl. Kap. 7).

Vorgehen auf der meso-/makroökonomischen Ebene

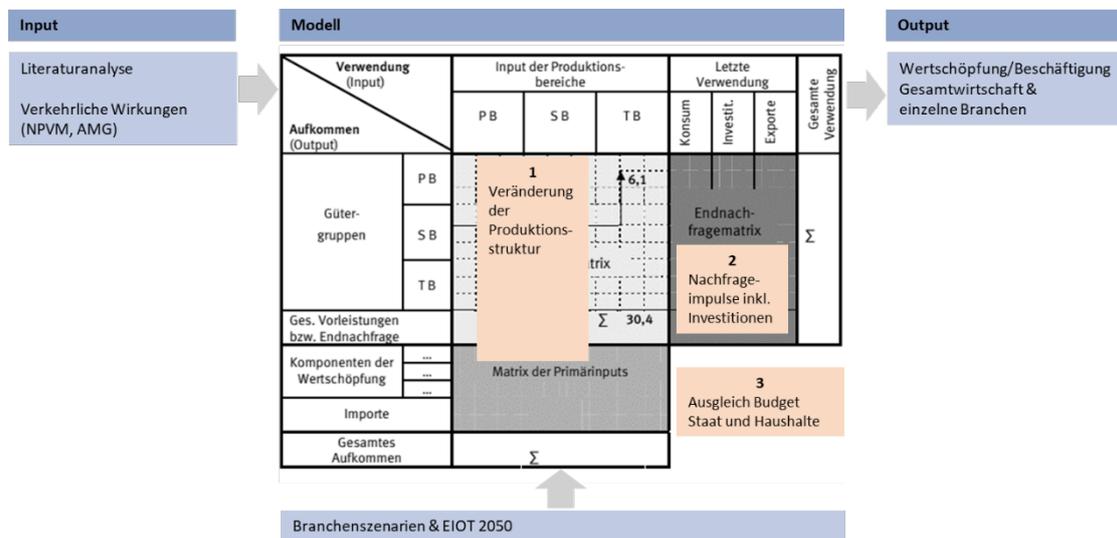
Für die Analyse der ökonomischen Wirkungen – auf Meso- und Makroebene – verwenden wir ein Input-Output-Modell. Um eine Input-Output-Analyse der volkswirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung im Jahr 2060 zu rechnen, bedarf es eines Referenzzustandes für dieses Stichjahr. In einem kürzlich (September 2021) abgeschlossenen Nationalfonds-Projekt (NFP73) von INFRAS und der ETH Zürich zum Thema «Dekarbonisierung des Verkehrs in der Schweiz mit möglichst günstigen volkswirtschaftlichen Folgen» (Angst et al. 2021⁹) haben wir in enger Zusammenarbeit mit der ETH Zürich mit einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell eine energiedifferenzierte Input-Output-Tabelle (EOIT) für einen Referenzzustand («Business-as-Usual»

⁹ <https://ideas.repec.org/p/eth/wpswif/21-352.html>

(BAU)) für das Jahr 2050 berechnet. Das Modell basiert auf der energiedifferenzierten Input-Output-Tabelle (EIOT) für die Schweiz (Nathani et al. 2019)¹⁰. Die mit dem Modell berechnete EIOT, welche im Nationalfondsprojekt (NFP) für die Dekarbonisierungsfrage die Referenzentwicklung darstellte, haben wir auch als Referenzzustand der Volkswirtschaft Schweiz für das Jahr 2050 im Digitalisierungsprojekt verwendet. Da wir in der vorliegenden Studie zur Auswirkungsanalyse der Digitalisierung in der Mobilität einen Zielhorizont von 2060 anstreben, rechneten wir mit Wachstumsraten aus den Branchenszenarien zu Wertschöpfung, Beschäftigten und Produktionsumsätzen der einzelnen Branchen (KPMG und Ecoplan 2020), um die EIOT 2050 auf das Jahr 2060 hochzurechnen. Die auf 2060 hochgerechnete EIOT bildete die Basis für unsere Analysen der meso- und makroökonomischen Wirkungen der Digitalisierung im vorliegenden Projekt.

Das Vorgehen der volkswirtschaftlichen Analyse ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

Abbildung 11: Vorgehen volkswirtschaftliche Analyse



Grafik INFRAS. Quelle: angelehnt an Kuhn (2010).

Das Input-Output-Modell verbindet die Produktionsseite der Schweizer Wirtschaft mit der Nachfrageseite. Das Modell erlaubt somit Aussagen über die Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Wirtschaftsstruktur unter Berücksichtigung aller relevanten Verknüpfungen zwischen den Branchen in der Produktion (Wertschöpfungsstufen) sowie dem Endkonsum im Inland (privater und staatlicher Konsum, Investitionen) und dem Ausland (Export und Import von Vorleistungen bzw. Endverwendungsgütern, Wirtschaftsverflechtung mit dem Ausland).

¹⁰ <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=43188&Sprache=en-US>

Die volkswirtschaftliche Analyse (meso-/makroökonomische Ebene) baut auf den Erkenntnissen aus der Literaturanalyse, der verkehrlichen Wirkungen und der Kosten-Nutzen-Analyse auf. In einem ersten Arbeitsschritt sammelten wir aus den genannten Informationsquellen alle Wirkungsebenen und Wirkungskanäle, über welche Digitalisierung die Mobilität in einer Weise beeinflusst. Jede mögliche Wirkung ordneten wir einem erstbetroffenen Akteur (Haushalt, Unternehmen, Staat) zu. Danach ging es darum, die erfassten Wirkungen analytisch nach drei verschiedenen Wirkungsebenen zu unterscheiden:

1. **Veränderung der Produktionsstruktur:** Die Digitalisierung in der Mobilität beeinflusst jene Unternehmen, welche Fahrzeuge herstellen, Vorleistungsgüter für diese Produktion anbieten, Mobilitätsdienstleistungen erbringen oder über den Betrieb von Plattformen den Markt ebendieser Dienstleistungen verbessern. Insbesondere betrachten wir Änderungen in der Personal- und Kapitalintensität der Herstellung, Veränderung der Produktivität, Veränderung der Struktur und Gewichtung von Vorleistungen und Veränderungen in der Wertschöpfungstiefe der einzelnen mit dem Mobilitätsmarkt verbundenen Sektoren.
2. **Nachfrageimpulse inkl. Investitionen:** Die Digitalisierung im Verkehr kann auch Auswirkungen auf der Nachfrageebene mit sich bringen: Veränderung der Import- und Exportströme, Veränderung der Konsumstruktur und des Konsumniveaus im Inland (z.B. induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge), Veränderungen der Investitionshöhe und -struktur (z.B. für den Bau der nötigen Infrastruktur).
3. **Budgetausgleich Haushalte und Staat:** Steigt z.B. der Bedarf an öffentlichen Mitteln durch die Digitalisierung in der Mobilität (z.B. durch einen erhöhten Bedarf an smarter Verkehrsinfrastruktur), dann kann der Staat entweder andere Investitionen aufschieben oder über eine Steuerlasterrhöhung das verfügbare Einkommen der Haushalte verringern. Letzteres mindert das frei verfügbare Einkommen der Haushalte mit entsprechenden Rückkopplungsfolgen in der Volkswirtschaft über eine Veränderung des Sparens und des privaten Konsums. Weiter berücksichtigen wir Verschiebungen der Ausgaben der Haushalte, wenn z.B. durch das Teilen von PWs weniger Ausgaben für die Mobilität anfallen.

Die Modellanalyse der Auswirkungen für jedes der drei Eckszenarien erfolgte entlang der drei Wirkungsebenen. In einem ersten Modellierungsschritt hielten wir alle gesamtwirtschaftlichen Gütermengen konstant und betrachteten die Auswirkungen der in der gesamten Analyse «direkt» genannten Effekte auf die Produktionskosten (z.B. Produktionskostenabnahme aufgrund eines geringeren Fahrpersonalbedarfs oder geringerer Unterhaltskosten pro Mobilitätseinheit wegen besserer Auslastung der Fahrzeuge). Diese Auswirkungen wurden in folgenden Einzelschritten je Branche implementiert: Arbeitsproduktivität, Prozesseffizienz, IT-Bedarf, Energie-

bedarf, Abschreibungen, Versicherungsausgaben. Unter der Annahme, dass Produktionskostenveränderungen in jedem Szenario in allen Branchen vollständig auf die Verkaufspreise umgeschlagen würden, konnten wir berechnen, um wie viel sich die Ausgabensumme der Endnachfrage bei gleichen Mengen wie im Referenzzustand 2060 verändern würde. Dies ergab einen Indikator (Kostensenkungswirkung) für die Effizienzzunahme aus der Digitalisierungswirkung eines Szenarios. Gleichzeitig wurde betrachtet, wie sich die Investitionen und dazu die Ausgaben (Infrastrukturkostenbeiträge, Kostenbeiträge an die Finanzierung des öffentlichen Verkehrs etc.) und Einnahmen des Staates (über veränderte Einnahmen der Mineralöl-, bzw. dann längerfristig Energiesteuer, Motorfahrzeugsteuer etc.) entwickelten. Mehrausgaben müssen durch eine erhöhte Steuerlast der privaten Haushalte (und vice versa) finanziert werden. Der Saldo der beiden Impulse ergibt dann für den zweiten Modellierungsschritt die relevanten Impulse der Veränderungen der Endnachfrage nach anderen Konsumgütern (zu konstanten Preisen der Referenz 2060), welche dank Produktivitätsgewinnen in der Mobilität im Zuge der Digitalisierung möglich werden. Je nachdem, ob eher importintensive oder importschwache Branchen Veränderungen der Nachfrage in einem spezifischen Digitalisierungsszenario erfahren, ergeben sich je Szenario veränderte inländische Wertschöpfungsintensitäten der Gesamtwirtschaft. Wenn z.B. im Szenario Automatisierung die Zahl der Fahrzeuge und der Treibstoffbedarf stark ansteigen, dann nehmen die Importe der Schweiz insgesamt entsprechend überproportional im Vergleich zur Entwicklung des gesamten Produktionswerts zu und die inländische Wertschöpfung fällt im Vergleich zum Referenzzustand geringer aus. Aus diesen Impulsen im Input-Output-Modell resultieren je Szenario Veränderungen der realen Wertschöpfung und Beschäftigten der gesamten Volkswirtschaft der Schweiz und der einzelnen Branchen (Meso- und Makroebene) im Vergleich zum Referenzzustand der Schweiz 2060. Die Input-Output-Analyse gewährleistet, dass von allen identifizierten Wirkungen der Digitalisierung je Branche und Szenario nur die spezifisch relevanten Aspekte Auswirkungen haben. Es ist gewährleistet, dass bei veränderten Produktionsfunktionen die Haushalte das bisher konsumierte Güterbündel (Mengen und Struktur) verändern und es ist gewährleistet, dass die Haushalte genau so viel ausgeben, wie sie einnehmen, der Staat so viel Steuereinnahmen hat, wie in einem Szenario Finanzierungsbedarf besteht, und insgesamt so viele Güter produziert werden, wie nachgefragt werden.

3. Herleitung der zentralen Achsen der Szenarien

Die Digitalisierung gilt als einer der wichtigsten Treiber des Mobilitätsmarktes der Zukunft. Die Digitalisierung gilt nicht nur selbst als Megatrend, sondern beeinflusst gleichzeitig auch andere Megatrends der Mobilität, wie die Individualisierung, neue Arbeitsformen, Elektrifizierung oder den demografischen Wandel (D'Achille et al. 2019). Angetrieben wird der Wandel durch neue digitale Technologien. Beispiel dafür sind die Robotik, Sensorik, die künstliche Intelligenz, Big Data oder das Internet der Dinge. Diese Liste ist nicht abschliessend.

Die Potenziale dieser digitalen Technologien für die Mobilität sind enorm (Hess und Polst 2017). Die Verfügbarkeit von Daten zu Mobilitätsangeboten verknüpft mit Echtzeitdaten zum Status eines Verkehrsmittels ermöglicht eine gezielte und passgenaue Inanspruchnahme verschiedener Verkehrsmittel über Plattformen. Selbstfahrende Autos, Busse oder Züge sind Teil unseres zukünftigen Alltags und werden zu einem wichtigen Bestandteil der Mobilität der Zukunft. Durch digitale Möglichkeiten wird die physische Anwesenheit von Arbeitnehmenden vor Ort weniger erforderlich, was Pendlerströme verringern kann. Dies sind nur einzelne Beispiele, denn die Ausprägungen der Digitalisierung in der Mobilität sind vielseitig. Zusammengefasst nennt die Literatur folgende zentralen Entwicklungen der Digitalisierung in der Mobilität (D'Achille et al. 2019, Stölzle et al. 2015, Wittmer & Linden 2017, Herzog et al. 2017, Kersten et al. 2017, Ackermann et al. 2018, etc.):

- neue multimediale Angebote,
- Teilen von Fahrzeugen und Fahrten über digitale Plattformen (Sharing),
- automatisierte Mobilitätslösungen (Personenwagen, Züge oder Busse),
- bessere Konnektivität von Geräten, Infrastruktur und Verkehrsmitteln,
- Anwendung von Big Data,
- Gemeinsame Nutzung von Lagerflächen oder Anlagen im Güterverkehr,
- Automatisierung der Betriebsführung und des Produktionsprozesses,
- Engere Zusammenarbeit und Kollaboration der Unternehmen im Güterverkehr,
- Verschmelzung von öffentlichem Verkehr und Individualverkehr.

Diese Ausprägungen lassen sich zwei zentralen Achsen der Digitalisierung in der Mobilität zuordnen: Technologie und Verhalten.

Die Achse «Technologie» umfasst hauptsächlich die Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge untereinander aber auch mit Infrastruktur und Verkehrsmitteln. Die Automatisierung bildet sowohl automatisiertes Fahren (PW, Zug, Bus) als auch die Automatisierung der Betriebsführung und Produktionsprozesse ab.

Die Achse «Verhalten» beschreibt die zunehmende Kollaboration von Unternehmen im Güterverkehr und das zunehmende Teilen von Fahrten und Fahrzeugen im Personenverkehr. Technologischer Treiber dieser Entwicklung ist die Entstehung von digitalen Plattformen, über welche die Ressourcen, Fahrten oder Fahrzeuge vermittelt werden. Zudem fördern die Verfügbarkeit und Verknüpfung grosser Datenmengen diese Entwicklung. Des Weiteren ermöglichen Plattformen auch die Kombination verschiedener Verkehrsmittel und begünstigen damit multimodale Angebote.

In Kombination der beiden Achsen entstehen neue Mobilitätsangebote, wie z.B. geteilte und automatisierte Fahrzeuge, welche den öffentlichen Verkehr und Individualverkehr verschmelzen lassen. Es existieren zahlreiche weitere digitale Technologien, welche bereits in den letzten Jahren den Mobilitätssektor beeinflusst haben, wie z.B. die Nutzung von Smartphones. Diese stellen jedoch eher eine Grundvoraussetzung für die in der vorliegenden Studie analysierten Entwicklungen dar und werden deshalb nicht weiter vertieft. Eine MaaS-Plattform würde sich z.B. ohne Smartphones gar nicht verbreiten.

Die Darlegung der verschiedenen Ausprägungen der Digitalisierung in der Mobilität zeigt, dass sich die verschiedenen Entwicklungen hauptsächlich auf zwei Achsen zurückführen lassen:

- «Technologie: Automatisierung» und
- «Verhalten: Sharing und Kollaboration».

Dies bestätigt das Vorgehen der Machbarkeitsstudie, welche den Fokus auf diese beiden Achsen gelegt hat (Ecoplan 2018).

Im Folgenden beschreiben wir die zwei zentralen Entwicklungen – Technologie und Verhalten – genauer. Diese Beschreibung soll einen Gesamtüberblick geben und aufzeigen, welche vielseitigen Ausprägungen diese Entwicklungen in der Mobilität annehmen können. Wir unterscheiden bewusst zwischen Personen- und Güterverkehr, weil die Literaturanalyse zeigt, dass die Ausprägungen der Achsen sehr unterschiedlich sind.

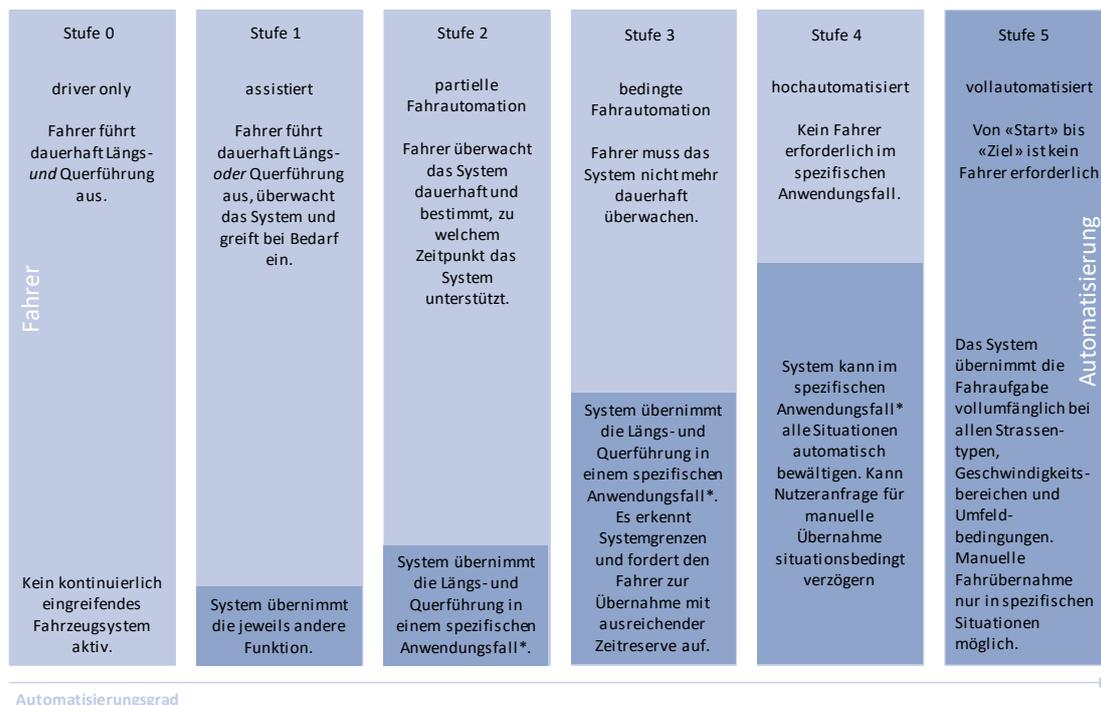
3.1. Technologie: Automatisierung Personen- und Güterverkehr

Hinsichtlich der technologischen Entwicklungen bezieht sich die vorliegende Untersuchung auf die Automatisierung (und Vernetzung der Strassenfahrzeuge). Der Begriff «automatisiertes Fahren» wird unterschiedlich definiert. Im Konzeptbericht des Bundes wird unter automatisiertem Fahren die teilweise oder vollständige Übernahme der Fahrzeugführung durch technische Systeme verstanden (Bundesrat 2016). Der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informations-technik (VDE 2016) versteht darunter den «Einsatz von Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnologien in Fahrzeugen, welcher der Bewältigung der Fahraufgabe dient.

Dies reicht von der Unterstützung eines menschlichen Fahrers bei einzelnen Teilaufgaben bis hin zur vollständigen Übernahme der gesamten Fahraufgabe durch ein technisches System». Der Verband der Automobilindustrie (VDA 2015) versteht unter dem automatisierten Fahren «das selbständige, zielgerichtete Fahren eines Fahrzeugs im realen Verkehr mit bordeigenen Sensoren, nachgeschalteter Software und im Fahrzeug gespeichertem Kartenmaterial für die Erfassung der Fahrzeugumgebung.» Unterschiede in den Definitionen sind v.a. auf die unterschiedlichen Automatisierungsgrade, die der Definition zugrunde gelegt sind, zurückzuführen.

Für Strassenfahrzeuge werden im Folgenden die verschiedenen Stufen (Levels) der Automatisierung gemäss den technischen Standards der Society of Automotive Engineers (SAE)¹¹ berücksichtigt (Abbildung 12), wobei als automatisiert die Stufen 4 (hochautomatisiert) und 5 (vollautomatisiert) gelten. Diese Abgrenzungen stehen in Übereinstimmung mit der Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018) und den laufenden Arbeiten im ASTRA Forschungspaket «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» sowie dem Bericht des Bundesrates (2016) und den jüngsten Publikationen in der Schweiz (z.B. Rapp Trans 2017; Perret et al. 2020).

Abbildung 12: Automatisierungsstufen im Strassenverkehr nach SAE J3016



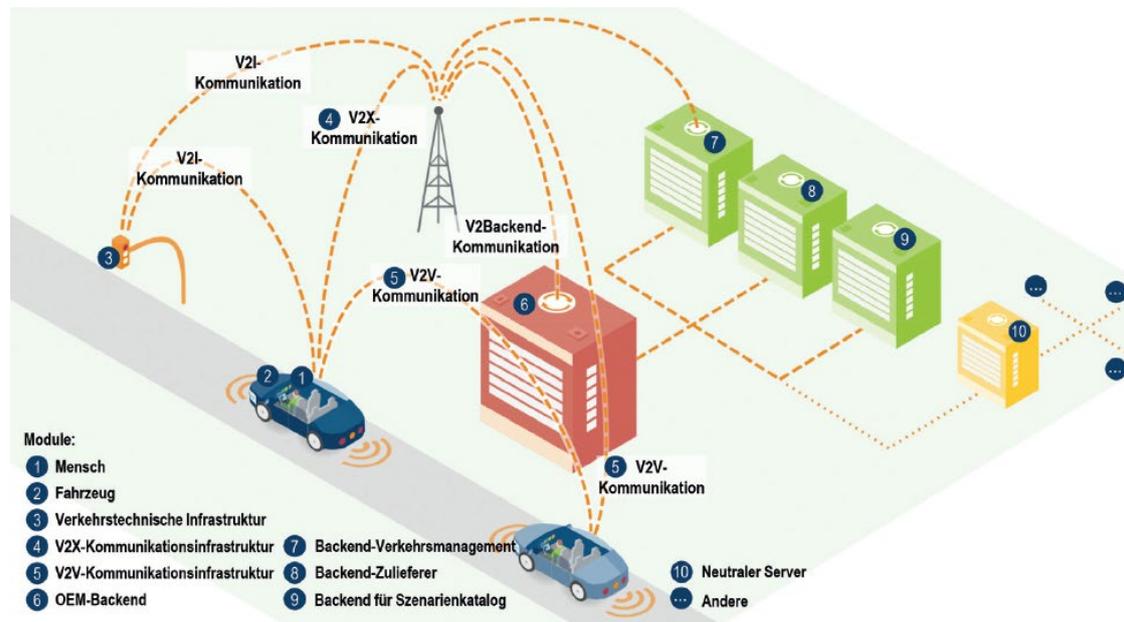
Grafik INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS auf Basis von SAE J3016.

¹¹ Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016, revised, Juni 2018.

Die Automatisierung ist nur eine von mehreren, weitgehend parallelaufenden und sich gegenseitig beeinflussenden technologischen Entwicklungen im Fahrzeug, zu denen auch die Elektrifizierung und Vernetzung der Fahrzeuge sowie digitalisierte Anwendungen für unterschiedliche Interessensgruppen gehören.

Unter Vernetzung von Fahrzeugen («Vehicle-to-Everything, V2X) versteht man die Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander («Vehicle-to-Vehicle», V2V), mit der Infrastruktur («Vehicle-to-Infrastructure», V2I) aber auch mit Fussgängern («Vehicle-to-Pedestrian», V2P). In diesem Zusammenhang wird übergeordnet auch der Begriff «Vehicle-to-X» (V2X) verwendet (VDA 2015), der jedoch auch als Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und anderen wie z.B. Mobilitätsplattformen oder Fahrzeugherstellern verstanden wird (z.B. Bundesrat 2016, EBP 2017a). Dies bedingt ein intelligentes Verkehrssystem (IVS), bei dem Informations- und Kommunikationstechnologien im Strassenverkehr, einschliesslich seiner Infrastrukturen, Fahrzeuge und Nutzer, sowie beim Verkehrs- und Mobilitätsmanagement und für Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern eingesetzt werden (Art. 4 der Richtlinie 2010/40/EU). Abbildung 13 zeigt eine mögliche Gesamtarchitektur des vernetzten Strassenverkehrs. In Analogie zum Energiebereich wird auch der Begriff «Smart Grid» verwendet (VDE 2015).

Abbildung 13: Module einer Gesamtarchitektur des kooperativen Strassenverkehrs



Grafik BMVI. Quelle: BMVI 2017, S. 27.

Exkurs: Technische Voraussetzungen für die Automatisierung und Vernetzung (Enabling Technologies, vgl. z.B. de Haan et al. 2020, Dierkes et al. 2019)

Die wichtigsten Voraussetzungen für die automatisierte und vernetzte Mobilität auf der Strasse betreffen:

- Fahrzeug: Damit Fahrzeuge autonom verkehren können benötigen diese verschiedene Fahrerassistenzsysteme mit entsprechenden Sensoren (z.B. Radar, Lidar, Kameras).
- Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT): Für die Vernetzung untereinander bedarf es einer intelligenten und vernetzten Infrastruktur und insbesondere einer zuverlässigen Wireless Kommunikation. Der Mobilfunkstandard 5G wird im Jahr 2060 als vorausgesetzt angesehen. Für den Datenaustausch braucht es entsprechende Datenplattformen (Daten-Infrastruktur). Damit die Kommunikation einwandfrei funktioniert sind standardisierte Schnittstellen zu definieren.
- Physische Infrastruktur: An die Strasse (inkl. Kunstbauten) können beispielsweise aufgrund einer veränderten Nutzung geänderte Anforderungen an die Dimensionierung gestellt werden (z.B. aufgrund von Kolonnenfahrten).

Die Frage der Antriebsart von automatisierten Fahrzeugen (Elektrifizierung, Power-to-Liquid, etc.) ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie (vgl. Kap. 2.1). Eine Veränderung der Antriebstechnologien wird daher nicht thematisiert.

Im Schienenverkehr ist der automatisierte Betrieb in geschlossenen Systemen wie z.B. die Metro in Lausanne bereits etabliert (Abbildung 14). Die fünf Automatisierungsgrade (Grade of Automation, GoA) gemäss internationalem Standard¹² werden wie folgt beschrieben (smartrail 4.0 2019a):

- GoA 0 ist ein Zugbetrieb auf Sicht, ähnlich einer Strassenbahn im Strassenverkehr.
- GoA 1 ist ein manueller Zugbetrieb, bei dem ein Triebfahrzeugführer das Starten und Stoppen, den Betrieb von Türen und die Handhabung von Notfällen oder plötzlichen Umleitungen steuert.
- GoA 2 ist ein halbautomatischer Zugbetrieb (STO), bei dem das Starten und Stoppen automatisiert ist, aber ein Fahrer bedient die Türen, fährt bei Bedarf den Zug und bewältigt Notfälle. Viele Automatic Train Operation (ATO) Systeme sind GoA 2.
- GoA 3 ist ein fahrerloser Zugbetrieb (DTO), bei dem das Starten und Stoppen automatisiert erfolgt, aber ein Zugbegleiter die Türen bedient und den Zug im Notfall fährt.
- GoA 4 ist ein unbeaufsichtigter Zugbetrieb (UTO), bei dem Start und Stopp, Türbetrieb und Notfallbehandlung vollautomatisch und ohne Zugpersonal erfolgen.

¹² IEC 62290-1:2014 Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concept.

Abbildung 14: Automatisierungsgrade im Schienenverkehr

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with Driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP = Automatic Train Protection ATO = Automatic Train Operation

GoA: Grade of Automation, ATP: Automatic Train Protection, ATO: Automatic Train Operation, UTO: Unattended Train Operation.

Grafik INFRAS/DLR. Quelle: angelehnt an UITP 2013, S. 1.

3.2. Verhalten: Sharing und Kollaboration

Die zweite zentrale Achse der Szenarienerleitung betrifft das gesellschaftliche Verhalten bzw. die Präferenzen in Bezug auf die Kollaboration von Unternehmen bzw. das Teilen von Verkehrsmitteln (Fahrzeugen) und Fahrten («Sharing»).

3.2.1. Einleitung

Die Sharing Economy gründet auf den Entwicklungen der letzten 15 Jahre mit der zunehmenden Verbreitung des Internets und mobilen Endgeräten (von Stokar et al. 2018). Digitale Plattformen bilden das Herzstück der neuen Geschäftsmodelle. Technisch gesprochen sind Plattformen durch Algorithmen ermöglichte «Cyberplaces», wo Personen oder Maschinen Aktionen oder Transaktionen vollziehen können (Kenney und Zysman 2015) (vgl. folgender Exkurs zu den technischen Voraussetzungen).

Exkurs: Technische Voraussetzungen der Plattformökonomie für Sharing-Angebote

Zusammengefasst sind einige der wichtigsten technischen Voraussetzungen für die Plattformen folgende (angelehnt an von Stokar et al. 2018):

- **Breitbandnetze:** Hochleistungsfähige Breitbandnetze sind eine wichtige Grundlage für Internetplattformen (BMWi 2016). Für das Funktionieren der Internetplattformen ist es essenziell, dass eine zuverlässige echtzeitfähige Übertragung und Internetdienste hoher Qualität vorhanden sind.
- **Algorithmen:** Ein Algorithmus ist eine Reihe von Anweisungen mit welchen Rohdaten verarbeitet werden können (Kenney und Zysman 2015). Durch Algorithmen werden somit Eingabedaten in Ausgabedaten umgewandelt, um ein Problem zu lösen.
- **Cloud Computing:** Cloud Computing beschreibt, dass IT-Infrastruktur über ein Netzwerk zur Verfügung gestellt wird (Kenney und Zysman, 2015). Wie dies technisch genau funktioniert, ist weniger relevant für unsere Fragestellung. Wichtig sind jedoch die Konsequenzen. Cloud Computing reduziert die Rechenkosten und Kosten der ICT-Tools. Nutzende können Ressourcen nutzen, statt sie zu besitzen.

Des Weiteren spielt aber auch die ständige Verfügbarkeit von Daten und insbesondere grossen Datenmengen (Big Data) eine zentrale Rolle für die Verbreitung von Plattformen.

Die Sharing Economy bedeutet wörtlich übersetzt «teilende Wirtschaft» (von Stokar et al. 2018). Bei den meisten Geschäftsmodellen der Sharing Economy steht jedoch heute im Gegensatz zu früher nicht das Teilen als sozialer Austausch ohne monetäre Gegenleistung im Vordergrund, sondern viel mehr ein formeller, wirtschaftlicher Austausch. Durch die Sharing Economy entstehen keine neuen Güter, sondern neue Dienstleistungen, so dass bestehende Güter beispielsweise neu über digitale Plattformen angeboten oder konsumiert werden. Es entstehen somit neue Geschäftsmodelle, nicht jedoch zwingend neue Güter. Der Besitz von Ressourcen verliert an Bedeutung, das Nutzen tritt in den Vordergrund.

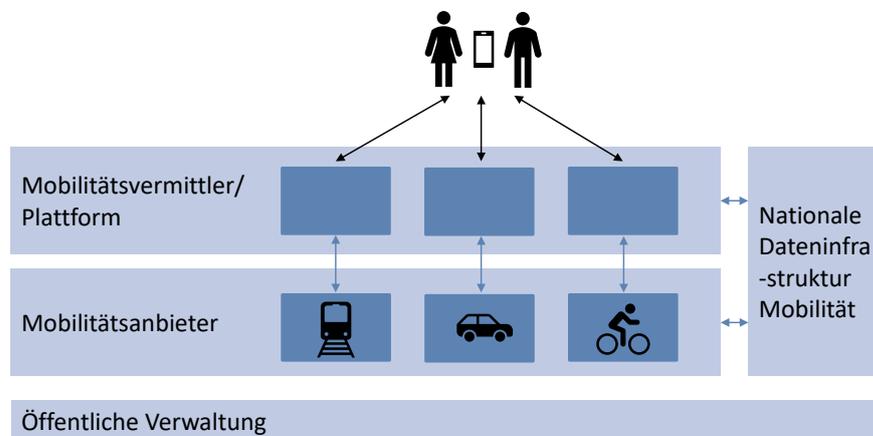
Plattformen sind durch Netzwerkeffekte gekennzeichnet (von Engelhardt et al. 2017, von Stokar et al. 2018). Sowohl für AnbieterInnen als auch für KonsumentInnen der Plattform steigt der Nutzen, je grösser die jeweils andere Gruppe wird. So wird z.B. der Nutzen eines privaten Car-Sharing-Angebots, bei welchem private Fahrzeuge geteilt werden, grösser, wenn mehr Privatpersonen ihre Fahrzeuge anbieten und private Fahrzeuge nachfragen. Die Anbieter profitieren von einer grösseren Nachfrage nach ihren Fahrzeugen und die Fahrzeugmietenden von einem grösseren Angebot an Fahrzeugen.

Des Weiteren sind Plattformangebote bzw. digitale Marktplätze gekennzeichnet durch tiefe Transaktionskosten, grössere räumliche Ausdehnung der Märkte und geringe Informationssymmetrien (von Engelhardt et al. 2017). Sie ermöglichen bzw. erleichtern den Austausch von Daten, das Angebot von Dienstleistungen und die gemeinsame Nutzung von Ressourcen.

Plattformen bieten viele neue Möglichkeiten. Sie ermöglichen nicht nur das Teilen von Fahrzeugen, Fahrten, Lagerflächen oder weiteren Logistikanlagen, sondern auch die Kombina-

tion verschiedener Verkehrsmittel und das Angebot neuer Dienstleistungen. Es existieren bereits Dienste, z.B. ZüriMobil der Stadt Zürich, SmartWay der SBB, Whim¹³ in Helsinki oder WienMobil¹⁴ in Wien, welche es ermöglichen, mit einem Klick im Internet oder über eine App mehrere Verkehrsmittel zusammenzustellen und zu buchen (BAV 2020). Dadurch können Verkehrsmittel, wie Personenwagen, Velo, Scooter, Zug oder Bus einfacher kombiniert und effizienter genutzt werden. Wichtigste Voraussetzung dafür ist der einfache und zentrale Zugang zu Daten für Plattformbetreibende und App-Entwickler. Folgende Grafik illustriert unsere Annahme, dass verschiedene Mobilitätsplattformen zur Kombination verschiedener Verkehrsmittel auf Basis einer integrierten nationalen Dateninfrastruktur Mobilität (NaDIM) Dienstleistungen anbieten.

Abbildung 15: Digitale Plattformen am Beispiel des Personenverkehrs



Grafik INFRAS/DLR. Quelle: eigene Darstellung basierend auf ITS 2018, BAV 2020, United Nations 2020.

In obiger Darstellung wird zwischen folgenden Akteuren unterschieden:

- Der **Mobilitätsvermittler** ist als Intermediär ein Plattformbetreiber/App-Anbieter, welcher eine digitale Plattform zur Verfügung stellt, auf welcher KonsumentInnen verschiedene Verkehrsmittel kombinieren können. Die Verkehrsmittel sind nicht im Eigentum der Vermittler. Die Plattform verfügt insbesondere über folgende Funktionalitäten:
 - **Information und Verfügbarkeit:** Informationen zur Verfügbarkeit der Fahrzeuge, Preisen, Standorten oder auch Fahrplänen bei MaaS.
 - **Routenführung:** Berechnung einer optimalen, intermodalen Reiseroute (v.a. für MaaS relevant).

¹³ <https://whimapp.com/>

¹⁴ <https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeId/66526/channelId/-3600060>

- **Reservation, Buchung und Bezahlung:** Die Buchung und Bezahlung finden zentral über die Plattform statt (v.a. für MaaS relevant).
- **Berichterstattung:** Erfassung von Mobilitätsdaten der Nutzenden der Plattform.
- Der **Daten- und Servicevermittler** ist Anbieter einer nationalen Dateninfrastruktur (Meta-Plattform) Mobilität.
- Der **Mobilitätsanbieter** (Betreiber und Beförderer) stellt Verkehrsmittel zur Nutzung zur Verfügung, z.B. Car-Sharing-Flotte, Scooter oder Bikesharing, bzw. bietet Mobilitätsdienstleistungen (ÖV, Taxi) an.
- Die **öffentliche Verwaltung** bzw. öffentliche Hand stellt einerseits eine Grundversorgung mit Mobilitätsangeboten sicher, schafft einen regulatorischen Rahmen und initiiert Partnerschaften bzw. bietet als service public eine nationale Dateninfrastruktur Mobilität an.

Zum Teil kann es vorkommen, dass ein Unternehmen mehrere der oben beschriebenen Funktionen übernimmt, wie z.B. einzelne Transportunternehmen (SBB, Zürcher Verkehrsbetriebe, Bernmobil und Basler Verkehrsbetriebe) mit ihrem Pilotprojekt «Yumuv¹⁵».

Im Folgenden beschreiben wir die Ausprägung des Sharing im Personenverkehr (Kap. 3.2.2) sowie von Sharing und Kollaboration im Güterverkehr (Kap. 3.2.3) detaillierter.

3.2.2. Personenverkehr

Im Personenverkehr existieren viele verschiedene Sharing-Angebote, wobei wir grundsätzlich zwischen dem Teilen einer Fahrt eines Fahrzeugs (simultane Nutzung) und eines Fahrzeugs (sequenzielle Nutzung) unterscheiden (Abbildung 16). Mögliche Angebotsformen des Sharing haben wir in Kapitel 4.4.6.1 nach folgenden Kategorien charakterisiert:

- **Beschreibung:** was wird geteilt.
- **Anbieter/Fahrzeug:** wie ist das Angebot organisiert (privat/P2P vs. kommerziell/B2P).
- **Plattform:** wie wird das Teilen abgewickelt.
- **Beispiele CH/Ausland:** welche Unternehmen bieten bereits eine solche Dienstleistung an.

¹⁵ <https://yumuv.ch/de>.

Abbildung 16: Mögliche Typisierung von Sharing-Angeboten im Personenverkehr (Stand März 2020)

	Teilen von Fahrten			Teilen von Fahrzeugen	
	ÖV	ÖIV: bedarfsgerechte Bündelung von Fahrten (Mobility on demand)		Fahrten nach Bedarf	
	Klassischer ÖV	Ride-Pooling	Ride-Sharing/Car-Pooling	Car-/Bike-/Scooter-Sharing	Ride-Hailing, -Selling
Beschreibung	Teilen einer Fahrt eines Fahrzeugs, das regelmässig und auf vorab definierten Linien verkehrt (Betriebs-, Transport-, Fahrplan-, Tarifpflicht)	Teilen einer Fahrt eines Fahrzeugs und bedarfsorientierte Bündelung versch. Fahrtwünsche von Personen, die Umwege / längere Fahrzeiten in Kauf nehmen	Teilen eines Fahrzeugs und einer Fahrt, die ohnehin stattfinden würde, von Personen mit gleichen Fahrtwünschen	Teilen eines Fahrzeugs (sequenziell) (Personenwagen/Vans, Velo, Scooter etc.)	Teilen eines Fahrzeuges, exklusive Fahrt nach Wunsch (on-demand-Verkehr)
Anbieter/Fahrzeug	Fahrzeuge und Lenker kommerzieller Anbieter, im abgeltungsberechtigten ÖV keine Gewinnerorientierung (B2P)	i.d.R. Fahrzeuge und Lenker kommerzieller Anbieter, mit/ohne Gewinnerorientierung, Beitrag an die Gesamtkosten (B2P)	i.d.R. auf privater Basis (private PW und Lenker), keine Gewinnerorientierung / Beitrag an die Betriebskosten (P2P)	kommerz. Basis, gewinnorientiert (B2P)	auf privater Basis (P2P)
Plattform	keine notwendig, Fahrpläne, Linien und Haltestellen vorab definiert	Vermittlungsplattform einschliesslich eines Algorithmus (Pooling)	Real-Time Ride-Sharing (spontan) oder geplant via Vermittlungsplattform	Vermittlungsplattform (App, Webseite)	Vermittlungsplattform (App)
Beispiele CH / Ausland	Konzessionierte Transportunternehmen (KTU): SBB AG, BLS, Post Auto AG (PAG), VBZ, etc.	TU / Verbände, Vereine: mybuxi, PAG, Kollibri, BusAlpin, sowiduu, BerlKönig	taxito, HitchHike, Ride2Go, BlaBlaCar, Idosh, Mitfahrgelegenheit	Mobility, Share Now, Publibike, Lime, Bird, Circ, Tier, DriveNow	Turo, drivy
	←	←	←	←	←
	kollektiv				individuell

Grafik INFRAS/DLR.

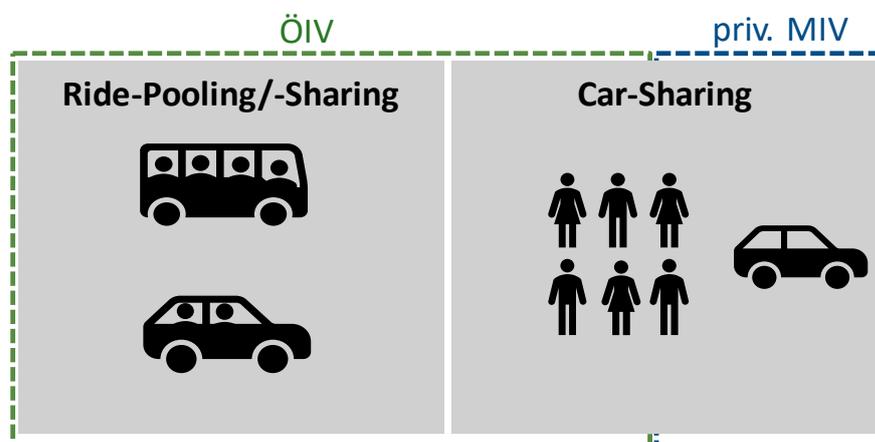
Die Grenzen zwischen kollektiver und individueller Mobilität sind bei den Sharing-Angeboten fließend. Zur Typologisierung der Angebote unterscheiden wir zunächst zwischen dem Teilen von Fahrten und dem Teilen von Fahrzeugen. Es existieren drei Angebote, bei welchen Fahrten geteilt werden: (klassischer) ÖV (im Linienverkehr),¹⁶ Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling. Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling Angebote fassen wir zusammen und definieren wir als öffentlichen Individualverkehr (ÖIV). Im ÖIV werden Fahrten bedarfsgerecht gebündelt und sind daher kollektiv, wobei nicht jede Fahrt auch effektiv geteilt wird. Modellbedingt wird der ÖIV für die Modellierung mit dem NPVM dem MIV zugeordnet (vgl. hierzu auch Kap. 2).

Sharing-Angebote, welche das (sequenzielle) Teilen von Fahrzeugen oder fahrzeugähnlichen Geräten (FäG) ermöglichen, sind folgende: Car-/Bike-/Scooter-Sharing sowie Ride-Hailing/-Selling.

¹⁶ Unter öffentlichen Verkehr (ÖV) verstehen wir die dem Personenbeförderungsregal des Bundes unterstehende Personenbeförderung gemäss dem Personenbeförderungsgesetz (PBG, SR 745.1). Das Personenbeförderungsregal umfasst gemäss Art. a Abs. 2 PBG die regelmässige und gewerbsmässige Personenbeförderung auf Eisenbahnen, auf der Strasse und auf dem Wasser sowie mit Seilbahnen, Aufzügen und anderen spurgeführten Transportmitteln. Der Bund erteilt Unternehmen für die gewerbsmässige Beförderung von Reisenden mit regelmässigen Fahrten eine Personenbeförderungskonzession (Konzession). Ausnahmen vom Personenbeförderungsregal sind in Art. 8 der Personenbeförderungsverordnung (VPB, SR. 745.11) definiert. Demnach sind beispielsweise Fahrten mit nicht spurgeführten Fahrzeugen, die nach ihrer Bauart und Ausstattung nicht dazu bestimmt und geeignet sind, mehr als neun Personen (einschliesslich der Fahrerin oder des Fahrers) zu befördern, von der Konzessionspflicht ausgenommen.

Im Rahmen der Anwendung des Verkehrsmodells und Analyse der verkehrlichen Wirkungen werden wir in unserer Analyse auf folgende zwei Ausprägungen von Sharing und Kollaboration fokussieren: Ride-Pooling/-Sharing (ÖIV) und Car-Sharing, wobei wir den Begriff Car-Sharing sehr breit verstehen (nicht privat besessenes Fahrzeug) und dies sowohl im privaten MIV als auch im ÖIV relevant sein kann, d.h. im ÖIV werden geteilte Fahrzeuge eingesetzt (vgl. Abbildung 17). Ride-Pooling und Ride-Sharing fassen wir für die verkehrliche Analyse zur Vereinfachung somit zu einer Kategorie zusammen, obwohl wir darunter zwei verschiedene Angebotsformen verstehen. Für die volkswirtschaftliche Analyse ist eine Differenzierung von kommerziellen und privaten Angeboten wiederum relevant. Für den Langsamverkehr (LV) bzw. aktiven Mobilität mit Velo, Scooter etc. erfolgt keine Differenzierung im Rahmen der verkehrlichen Wirkungsanalyse. Diese Aspekte werden qualitativ erörtert.

Abbildung 17: Eingrenzung Sharing-Angebote im Personenverkehr im Rahmen der Anwendung der Verkehrsmodelle



Grafik INFRAS/DLR.

Beim Car-Sharing ist hervorzuheben, dass Free-Floating und stationsbasierte Geschäftsmodelle existieren (Lutzenberger et al. 2018, BMW 2019). Bei stationsbasierten Dienstleistungen beziehen Personen das Fahrzeug an fixen Standorten wie bei der herkömmlichen Autovermietung (z.B. Mobility). Dabei können Nutzende das Fahrzeug am gleichen (Round Trip) oder an einem anderen Standort (One Way) zurückgeben. Bei der Nutzung einer Free-Floating Dienstleistung können Nutzende das Fahrzeug über eine App lokalisieren und am besten geeigneten Standort im öffentlichen Raum abholen (z.B. Lime, Tier). Das Fahrzeug muss auch nicht wieder an denselben Ort zurückgebracht werden, sondern kann je nach Bedarf an einem öffentlichen Ort wieder abgestellt werden. Stationsungebundene Angebote gelten dabei insgesamt als flexibler

und komfortabler als ihre stationsgebundenen Entsprechungen, bei denen eine Tür-zu-Tür-Nutzung erschwert wird (vgl. bspw. Lutzenberger et al. 2018; 6-t bureau de recherche 2019).

Diese Ausprägungen der Geschäftsmodelle existieren auch für Bike-Sharing. Plattformen für Scooter-Sharing sind meist als Free-Floating Modell organisiert. Entsprechende Angebote werden oftmals unter dem Begriff der Mikromobilität oder Fahrzeugähnliche Geräte (FäG, ausgenommen Velo) zusammengefasst. Mikromobilität umfasst typischerweise Fahrzeuge, die ein oder zwei Passagiere befördern können, insbesondere Velo, verschiedene Arten von Rollern und Kleinwagen, welche in stationsgebundenen oder -ungebundenen Leihsystemen angeboten werden und über Apps auf dem Smartphone buchbar sind (Milakis et al. 2020). FäG oder elektrische FäG (eFäG) sind Fahrzeuge mit Rädern und Rollen zur Benutzung durch eine Person und welches durch die eigene Körperkraft angetrieben wird (Schmitt et al. 2019). Existierten 2017 in der Schweiz laut Lutzenberger et al. (2018) ausschliesslich stationsgebundene Veloleihsysteme, so existieren mittlerweile auch stationsungebundene Angebote auf dem Markt; für Basel ist zudem 2021 die Einführung eines Semi-Floating-Systems geplant (vgl. Forum bikesharing Schweiz 2020). Lutzenberger et al. (2018) sehen für die Schweiz vor allem stationsungebundene Velos als eine Ergänzung des öffentlichen Verkehrsangebotes, weisen gleichzeitig aber darauf hin, dass das gut ausgebaute ÖV-Netz und die hohe Velobesitzquote die Notwendigkeit von Veloleihsystemen im Vergleich zu anderen Ländern geringer erscheinen lassen. Dabei erachten die Autoren die Erfolgchancen eines Velo-Sharings in der Schweiz als stark von der Ausstattung der Räder abhängig und sehen vor allem in E-Bikes eine Möglichkeit, die Verbreitung von Leihvelos in den bergigen Regionen der Schweiz zu unterstützen.

Spannend ist zudem, dass gemäss den Befragungsdaten von 6-t bureau de recherche (2019) fast jede vierte Scooter-Fahrt Teil einer intermodalen Reisekette ist – in zwei Dritteln der Fälle gemeinsam mit einer ÖV-Nutzung. Demgegenüber kommen Tack et al. (2019) anhand ihrer Analysen zu dem Schluss, dass vor allem eine Konzentration der Fahrten in zentralen Lagen erkennbar sei, sich jedoch eine «Last-Mile Nutzung in Wohngebieten [...] sich aus den Daten bisher nur bedingt ablesen [lasse]» – trotz der Vermarktung als Last-Mile Angebot in Randlagen. Auch das Forum bikesharing Schweiz (2020) konstatiert, dass sich die Scooter-Fahrten auf die Innenstadt sowie «in der Nähe von bedeutsamen ÖV-Knotenpunkten» konzentrieren.

3.2.3. Güterverkehr

Die Digitalisierung ist Basis für den Datenaustausch über Wertschöpfungsstufen hinweg. Sie ermöglicht damit einerseits die Erhöhung der Transparenz entlang der Wertschöpfungskette für die beteiligten Unternehmen und andererseits auch eine engere Zusammenarbeit und Kollaboration zwischen Unternehmen der gleichen Wertschöpfungsstufe (Kersten et al. 2017).

Bei den Kooperations- und Kollaborationsformen von Unternehmen kann grundsätzlich zwischen vertikalen und horizontalen Formen unterschieden werden (z.B. Killich 2011). Während vertikale Kooperationen zwischen den Unternehmen innerhalb einer Wertschöpfungskette (Supply Chain) etabliert sind, ist die horizontale Kollaboration zwischen Unternehmen der gleichen Wertschöpfungsstufe aktuell weniger verbreitet. Die vorliegende Studie fokussiert auf Aspekte der horizontalen Kollaboration zwischen Transportunternehmen, d.h. der Aspekt der vertikalen Kooperation ist in Bezug auf die Effekte der Digitalisierung in der Mobilität nicht berücksichtigt worden. Digitale Plattformen ermöglichen und erleichtern die Kollaboration. Ein Beispiel sind Matching-Plattformen, also digitale Plattformen, welche Angebot und Nachfrage von Kapazitäten auf Transportmärkten verbinden (Stölzle et al. 2018). Digitale Plattformen erleichtern zudem den Transport von Gütern mit verschiedenen Verkehrsmitteln (intermodaler Verkehr).

Im Bereich des Güterverkehrs können je nach Abgrenzung verschiedene Formen der Kollaboration unterschieden werden (Tabelle 5). Die Bandbreite der Formen der Kollaboration im Güterverkehr ist sehr gross. Um ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, führen wir in der folgenden Tabelle einige Anwendungen auf, die als Beispiele zu verstehen sind. Im Hinblick auf die verkehrlichen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität konzentrieren wir uns in Bezug auf die Kollaboration im Güterverkehr v.a. auf die Effekte der geteilten Fahrzeuge sowie Fahrzeugkapazitäten (Vermittlung freier Ladekapazitäten) von Transportunternehmen und Speditionen. Die innerbetriebliche Logistik und vertikale Kooperationen stehen nicht im Fokus der vorliegenden Studie.

Tabelle 5: Beispiele für Anwendungsfälle einer Sharing Economy im Gütertransport und der Logistik

Fälle	Beschreibung	Geschäftsmodell	Beispiele
Truly Shared Warehousing	Lagerhäuser der 3rd Party Logistics Provider (3PL) werden für verschiedene Kunden genutzt. Statt Vermietung von vordefinierter Lagerfläche für eine vorab definierte Zeit unabhängig ihrer effektiven Nutzung werden freie Kapazitäten auf einer digitalen Plattform flexibel zur Nutzung angeboten. Verbunden mit digitalem Bestandsmanagement und neuen Technologien (z.B. Drohnen, Roboter, Internet of Things) kann die Kapazität besser und intensiver genutzt werden. Leerstehende Lagerflächen können so minimiert werden. Kunden können ihre Ware dynamischer verteilen und näher an der Nachfrage lagern, was wiederum zu einer Reduktion von Transport- und Lagerkosten führen kann. Insgesamt können dadurch die Produktivität gesteigert und Kosten gesenkt werden.	i.d.R. B2B, Flächen/Gebäude i.d.R. private Flächen	DHL Spaces (Internat.), Flexe (US), TimoCom
Urban Discreet Warehousing	Insbesondere in dichtbesiedelten urbanen Räumen kann Sharing von persönlicher Lagerfläche z.B. in Wohnhäusern, Garagen und leerstehenden Mietobjekten über eine digitale Plattform an Bedeutung gewinnen. Ungenutzte, private Abstellfläche kann so genutzt werden und erhöht die Flexibilität sowohl für Private aber beispielsweise auch Detailhändlern.	P2B, P2P, i.d.R. private Flächen	MakeSpace (NYC), Omni (San Francisco)
Logistics Asset Sharing	Darunter wird das Sharing von Anlagen zu Zeiten, in welchen diese nicht genutzt werden, verstanden. Beispiele sind schwere Baufahrzeuge oder Geräte (z.B. spezifische Bohrmaschinen), aber auch Fahrzeuge (z.B. Lieferwagen, Gabelstapler) etc. Unternehmen können beispielsweise ungenutzte Fahrzeuge Privaten ausserhalb der üblichen Arbeitszeiten zur Verfügung stellen. Digitale Plattformen erleichtern das bedarfsorientierte Vermieten.	B2B, B2P	Turo (US), Yard Club, Mu- niRent, grosse Warenhäuser oder Bauun- ternehmen
Transport Capacity Sharing	Zur Reduktion von Leerfahrten im Strassengüterverkehr und Erhöhung der Auslastung von Fahrzeugen können freie Kapazitäten in Fahrzeugen auf digitalen Plattformen mit Echtzeitdatenfluss angeboten werden. Echtzeit-Sendungsverfolgung mittels GPS-tracking, Zahlungsabwicklung sowie Sicherung kritischer Dokumente werden auf einer Plattform (web- oder app-basiert) angeboten.	i.d.R. B2B	Saloodo! (EU), InstaFreight, LoadFox, TimoCom, Trans.eu, Car- goclix
Logistic Data Sharing	Grundlage digitaler Plattformen sind Daten. Das Teilen von aggregierten Daten von Unternehmen (z.B. gefahrene Routen) eines Gebietes auf einer digitalen Plattform kann in Kombination mit anderen Daten (z.B. Umweltdaten, Nachfragedaten) zur Effizienzsteigerung genutzt werden. Open Data ermöglichen das Angebot weiterer Dienstleistungen, die zur Effizienzsteigerung eines Systems (z.B. städtische Belieferung) beitragen können.		City Data Exchange Plat- form von Hita- chi (Dänemark)

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: angelehnt an Gesing 2017.

3.3. Zusammenfassender Überblick

Die beiden Achsen «Technologie: Automatisierung» und «Verhalten: Sharing und Kollaboration» können unterschieden nach Personen- und Güterverkehr wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 6: Zusammenfassender Überblick der zentralen Achsen

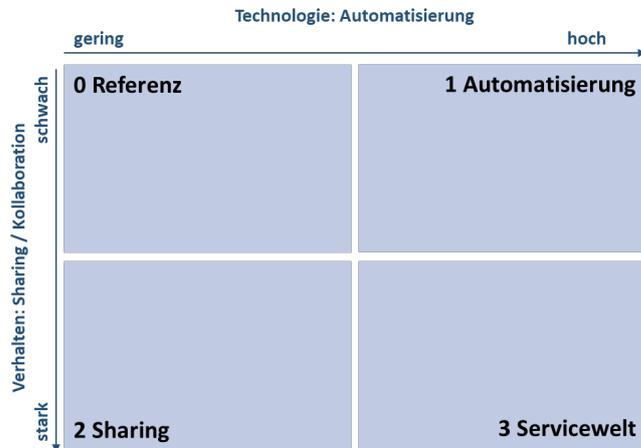
Achse	Personenverkehr	Güterverkehr
Technologie Automatisierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchdringung hoch-/vollautomatisierter PWs ▪ Zunehmende Automatisierung des Zugbetriebs ▪ Intelligente Verkehrssysteme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisierung der Fahrzeuge und Betriebsprozesse (inkl. Umschlag) ▪ Zunehmende Automatisierung des Schienengüterverkehrs (inkl. Rangieren) ▪ Intelligente Verkehrssysteme
Verhalten Sharing & Kollaboration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teilen von Fahrzeugen, PW-Besitz verliert an Bedeutung ▪ Fahrten sind zunehmend gepoolt ▪ Einfachere Kombination verschiedener Verkehrsmittel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunehmend gemeinsame Nutzung von Ressourcen (Lagerhäuser, Fahrzeuge, Anlagen, etc.) ▪ Teilen von Daten über digitale Plattformen ▪ Zunahme intermodaler Verkehr

Tabelle INFRAS/DLR.

In Anwendung der beiden Achsen können vier Szenarien übergeordnet für den Personen- und Güterverkehr abgeleitet und umrissen werden (Abbildung 18). Die Szenarien haben nicht zum Ziel, möglichst realistische Zustände im Sinne von Prognosen abzubilden. Die Szenarien – ausgenommen die Referenzentwicklung – sollen vielmehr den Raum möglicher zukünftiger Entwicklungen abstecken und aufzeigen.

Die betrachteten Szenarien gleichen den Szenarien, die im Rahmen der laufenden ASTRA Forschungspakete und beispielsweise bei den SBB Mobilitätsszenarien definiert wurden (SBB 2019), wobei die Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen unterschiedlich definiert wurde. Insofern sind die Arbeiten nur bedingt vergleichbar. Zusätzlich zu den ASTRA/SVI Forschungspaketen werden in der vorliegenden Arbeit mit dem Szenario «Sharing» die Situation geringer Automatisierung betrachtet.

Abbildung 18: Herleitung der vier Szenarien



Die **horizontale Achse** «Technologie: Automatisierung» bildet ab, wie stark die Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen im jeweiligen Szenario ist. Die **vertikale Achse** «Verhalten: Teilen/Sharing» zeigt, wie stark sich Plattformen und das Sharing bzw. die Kollaboration durchsetzen.

Grafik INFRAS/DLR. Quelle: angelehnt an Ecoplan 2018.

In den jeweiligen Eckszenarien wird von einem Regulator ausgegangen, der die Entwicklung des jeweiligen Szenarios (auf der jeweiligen Achse) unterstützt. Das Regulativ ist keine Stell- schraube, sondern wird jeweils als unterstützend bzw. fördernd («wohlwollend») angenommen.

4. Literaturreview

4.1. Vorgehen Literaturreview

Für die Erarbeitung eines konsistenten Vorgehenskonzeptes sowie der Definition und Ausgestaltung der Szenarien und Sensitivitätsbetrachtungen erfolgt eine Recherche und Aufbereitung der aktuellen Fachliteratur. Dabei werden die Themenblöcke Digitalisierung, Automatisierung, Sharing und neue Mobilitätsangebote sowie Prognosen der generellen Verkehrsentwicklung adressiert.

Insbesondere zu den Pfaden der Einführung automatisierter Fahrzeuge und den antizipierten Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage im Personenverkehrsbereich existiert eine sehr breite Literaturbasis. Im Zuge der Literaturanalyse erfolgt daher eine Konzentration auf diejenige Literatur, die die Wirkungen der Automatisierungslevel SAE 4 und 5 sowie GoA 3 und 4 untersucht. Neben Metastudien, die als Überblicksartikel den Stand der Erkenntnis hinsichtlich wichtiger Wirkmechanismen und Wirkstärken zusammenfassen, umfasst der Literaturreview vertiefende Artikel, die insbesondere zur Ableitung plausibler Eingangsdaten für die Szenariendefinition und Modellierung dienen können. Aufnahme finden zudem solche Artikel, die explizit auf die Unsicherheiten bei der Ermittlung von Wirkungsstärken eingehen und diese diskutieren. Jeweils ergänzt wird die Literaturliste um spezifisch für den Schweizer Raum zutreffende Untersuchungen. Bei einer grösseren Auswahl von Studien zu einem Thema finden neue Studien sowie solche aus renommierten Fachjournalen, Tagungsbänden sowie von fachlich bekannten Personen bevorzugt Aufnahme. Gleichzeitig muss darauf hingewiesen werden, dass Breite und Qualität der Literaturbasis zwischen den Themenbereichen stark variiert. So sind bisher beispielsweise kaum Arbeiten zur Gesundheitswirkung automatisierter und digitaler Angebote zu finden, und auch die Literaturbasis für den Güterverkehr ist vergleichsweise gering.

Die für den Review ausgewählte Literatur wird in zweierlei Form aufbereitet: in Form einer Excel-Tabelle, die die wesentlichen Erkenntnisse und die für die Modellierung relevanten Parameter zusammenfasst, sowie in Form einer Literaturdatenbank (in Zotero).

Die Excel-Tabelle fasst die zentralen Informationen der ausgewählten Literatur zusammen. Die jeweiligen Erkenntnisse, Wirkungsstärken und Modellparameter werden seitengenau aufgeführt, thematisch eingeordnet und einem der im Projekt betrachteten Szenarien zugewiesen. Zusätzlich werden jeweils Angaben zur Methodik, den zentralen Annahmen sowie den Unsicherheitsbereichen erfasst. Die Erkenntnisse zu den Auswirkungen werden hierbei thematisch wie folgend geordnet:

- Verkehrsnachfrageänderungen:
 - Veränderung im Aufkommen (z.B. neue Nutzergruppen), Verkehrsleistung, Fahrleistung,
 - Mögliche Verlagerungseffekte (Modal Split),

- Auslastungsänderungen, z.B. Veränderung des Besetzungsgrads, und Anzahl Leerfahrten,
- Flottenmix, also Änderungen Antriebsart, des Anteils der Energieträger oder der Neuzulassungsstruktur,
- Veränderungen in der Reisezeit,
- Komfortgewinne und geänderte Zeitwahrnehmung und
- Geschwindigkeit und Verkehrsfluss.
- Infrastrukturiimplikationen, v.a. Kapazitäten sowie Infrastrukturkosten und -anforderungen
- Verkehrsangebotsänderungen:
 - Betriebskostenänderungen, bspw. durch Sharing-Modelle und
 - Neue Märkte, neue Geschäftsmodelle, neue Nutzergruppen und Marktakteure.
- Gesundheitliche und umweltbezogene Wirkungen
- Wirtschaftliche Implikationen
- Räumliche Implikationen

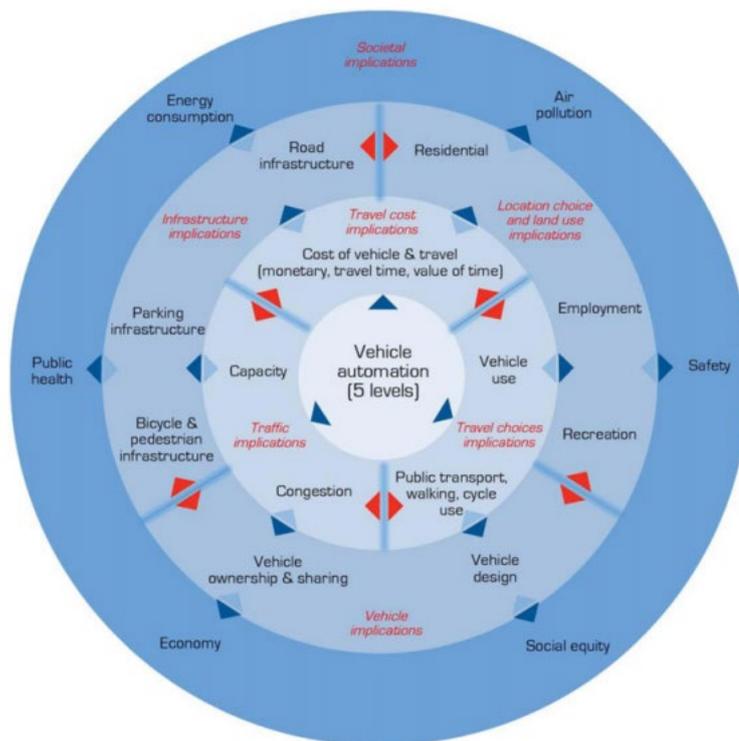
Die Excel-Tabelle enthält darüber hinaus ein umfangreiches Glossar der in Projekt und Literatur verwendeten Terminologie.

Als Literaturmanagementssoftware für die Literaturdatenbank wurde Zotero (<https://www.zotero.org/>) ausgewählt. Die Datenbank enthält für jeden hinterlegten Eintrag die üblichen bibliographischen Angaben, wo verfügbar eine Kurzzusammenfassung sowie die URL des Beitrags oder das entsprechende Dokument als PDF.

Für eine schnelle Übersicht des räumlichen Bezugs erfolgt die Ablage für internationale und nationale Publikationen getrennt. Zusätzlich wird eine Verschlagwortung vorgenommen, die sich einerseits an der Struktur der Excel-Tabelle orientiert, die zwischen direkten und indirekten Wirkungen differenziert. Die Verschlagwortung in der Literaturdatenbank (Zotero) orientiert sich dabei zusätzlich an dem von Milakis et al. (2017) für den Personenverkehr vorgeschlagenen Kategoriensystem. Die Autoren unterscheiden bei den von ihnen als Welleneffekte oder «ripple effects» bezeichneten Wirkungen des automatisierten Fahrens zwischen Effekten der ersten, zweiten und dritten Ordnung. Als Effekte erster Ordnung werden dabei direkte Auswirkungen der Automatisierung auf die realen wie wahrgenommenen finanziellen und zeitlichen Kosten der Verkehrsmittelnutzung sowie die daraus resultierenden Änderungen im Zugang zu Mobilität und im Verkehrsverhalten verstanden. Hierzu zählen auch Veränderungen, die sich in Bezug auf die Strassenkapazität und den Verkehrsfluss ergeben könnten. Als Effekte zweiter Ordnung werden Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf den Fahrzeugbesitz und damit auf die Grösse und Zusammensetzung der Fahrzeugflotten verstanden. Zudem fassen Milakis et al. (2017) darunter räumliche Implikationen zusammen, wie geänderte Infra-

strukturanforderungen oder Auswirkungen auf die private und kommerzielle Standortwahl. Unter dem Begriff der Effekte dritter Ordnung werden indirekte Auswirkungen auf den Energieverbrauch und Emissionen, auf die Verkehrssicherheit und auf die Gesundheit und schliesslich ökonomische Wirkungen zusammengefasst. Insgesamt weisen Milakis et al. (2017) explizit darauf hin, dass nicht immer eine strikte Abgrenzung der Effekte möglich ist und Rückkopplungseffekte zwischen den verschiedenen Ebenen durchaus vorkommen können.

Abbildung 19: Welleneffekte oder «ripple effects» des automatisierten Fahrens



Quelle: Milakis et al. (2017, S.3).

Zusätzlich zur Unterscheidung zwischen den Effekten erster, zweiter und dritter Ordnung wurden fünf generelle Stichwörter aufgenommen. Neben einer generellen Zuordnung der Publikationen zu den thematischen Bereichen des Personen- und Güterverkehrs erlauben sie eine Kennzeichnung, ob es sich bei den Studien um Szenario-Studien oder Metastudien handelt sowie ob in der Studie das Thema der Unsicherheit bezüglich Art und Stärke der Auswirkung explizit adressiert wird.

Tabelle 7: Kategoriensystem für die Literaturverschlagnwortung

Effektebene	Oberthema	Unterthema	Modi
Effekte erster Ordnung	Kosten	Fixe Kosten Besitz	MIV, GV
		Fahrkomfort	MIV, Sharing, ÖV
		Reisezeit	MIV, Sharing, ÖV
		Reisezeitbewertung	MIV, Sharing, ÖV
		Zuverlässigkeit (Zeit)	MIV, Sharing, ÖV
		variable Kosten	MIV, Sharing, ÖV, GV
		Zu- und Abgangszeiten inkl. Parken	MIV, Sharing, ÖV
		Personalkosten	ÖV, GV
	Strassenkapazität und Verkehrsfluss	Wartezeiten	Sharing, ÖV
		Autobahn	alle ausser NMIV
		Kreuzungen	alle ausser NMIV
		urbaner Kontext	alle ausser NMIV
		Zugang zu Mobilität	Nutzergruppen
	Geschäftsgebiete		Sharing, ÖV
	Verkehrsverhalten	Moduswahl	alle
		Reiseweite	alle
		Umwege	Sharing
Leerfahrten		alle ausser NMIV	
Wegeaufkommen		alle	
Effekte zweiter Ordnung	Fahrzeugflotte	PW-Besitz	MIV
		Flottendurchdringung Automatisierung	MIV, Sharing, GV
		Antriebsarten	MIV, Sharing, GV
		Fahrzeuggrösse	MIV, Sharing, GV
	Raumimplikationen	Wohnstandortwahl	MIV, ÖV
		Parkraum	MIV, Sharing
		Halte- und Lieferbuchten	Sharing, ÖV, GV
		Verkehrsinfrastruktur generell	
		Standortwahl	GV
		Verteilerzentren und Co	
Effekte dritter Ordnung	Energie und Emissionen	Energieverbrauch	alle ausser NMIV
		Emissionen	
	Verkehrssicherheit		
	Soziale Gleichheit	Teilhabe	MIV, Sharing, ÖV
		Marktsituation	MIV, Sharing, ÖV, GV
	Ökonomie	neue Märkte	MIV, Sharing, ÖV, GV
		Beschäftigungseffekte	MIV, Sharing, ÖV, GV
Generelle Keywords	Gesundheit		
	Metastudie		
	Szenario-Studie		
	Unsicherheit		
	PV		
GV			

GV: Güterverkehr, NMIV: nichtmotorisierten Individualverkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr, PV: Personenverkehr.

Tabelle: DLR/INFRAS.

4.2. Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018)

Wie bereits erwähnt, hat das ARE eine Machbarkeitsstudie erarbeiten lassen, welche bereits erste Grössenordnungen der ökonomischen Folgen der Digitalisierung der Mobilität abschätzt (Ecoplan 2018). Die vorliegende Studie soll auf der Machbarkeitsstudie aufbauen und die Ergebnisse überprüfen, vertiefen und ergänzen. Aus diesem Grund erläutern wir in diesem Kapitel kurz das Vorgehen, die Szenariendefinition in der Machbarkeitsstudie und die wichtigsten Ergebnisse.

Vorgehen

Die Machbarkeitsstudie zur ökonomischen Folgenabschätzung der Digitalisierung umfasst im Wesentlichen folgende Aspekte:

- Literaturanalyse zu den Treibern und Wirkungszusammenhängen der Digitalisierung im Mobilitätsbereich.
- Die Ausgestaltung von drei Szenarien im Vergleich zu einem Referenzszenario aufbauend auf der Literaturanalyse.
- Grobe Quantifizierung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität der drei Szenarien anhand eines Tischmodells für die Jahre 2040 und 2080.
- Vorgehenskonzept und Machbarkeit zur Quantifizierung oder qualitative Einschätzung der Kosten/Nutzen, Wettbewerbs- und Markteffekte im Mobilitätsbereich und Effekte auf Raum, Umwelt, Gesundheit und Wirtschaft.

Szenarien der Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018)

Die Machbarkeitsstudie definiert drei Szenarien und ein, auf die in der vorliegenden Studie aufgebaut wird:

- **Referenz:** Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 (ARE 2016a, 2016b).
- **Automatisiertes Fahren (Szenario 1):** Abschätzung der «isolierten» Wirkungen des automatisierten Fahrens.
- **Sharing (Szenario 2):** Analyse der «isolierten» Wirkungen des Car- und Ride-Sharing.
- **Mobilitäts-Servicewelt (Szenario 3):** Betrachtung der Zusatz-Kosten und -Nutzen einer Mobilitäts-Servicewelt unter der Annahme, dass sich automatisiertes Fahren durchsetzen wird.

Ergebnisse

Die Machbarkeitsstudie kommt zum Schluss, dass der Nettonutzen des automatisierten Fahrens und einer neuen Mobilitäts-Servicewelt gemäss einer groben Einschätzung jährlich mehrere Dutzend Milliarden Schweizer Franken beträgt. Zudem zeigt die Studie, dass die Quantifizierung der wichtigsten direkten Kosten und Nutzen der Digitalisierung im Mobilitätssektor und

Auswirkungen auf Raum, Wirtschaft und Umwelt möglich ist. Die Machbarkeitsstudie empfiehlt, den Fokus der Analyse auf den Personenverkehr zu legen, da die Verkehrsnachfrage im Personenverkehr direkt beeinflusst wird und die Abgrenzung zur Digitalisierung in der Wirtschaft klarer ist als im Güterverkehr. Für die detaillierten Ergebnisse zu den Kosten und Nutzen sowie einen Vergleich mit unseren Ergebnissen sei auf Kap. 7.4 verwiesen.

4.3. Definition der Szenarien zur Zukunft der Mobilität in der Schweiz

Die Verkehrsperspektiven 2040 berücksichtigen ein Referenz- und drei Alternativszenarien (Balance, Sprawl, Fokus) im Sinne von «Wenn-dann-Szenarien» (ARE 2016a, 2016b). Diesen liegen die gleichen Annahmen zur wirtschaftlichen und demographischen Entwicklung zugrunde. Der Schwerpunkt bei der Szenariendefinition lag bei den Entwicklungen und politischen Massnahmen in den Bereichen Raumordnung (Zersiedlung vs. Verdichtung) und Verkehrspolitik. Die Digitalisierung stand nicht im Fokus bei der Bildung der Szenarien, aber ist in Bezug auf unterschiedliche Kapazitätsentwicklungen aufgrund Automatisierung im Strassenverkehr sowie hinsichtlich der Entwicklung der Mobilitätswerkzeuge und dem Mobilitätsverhalten (geringe vs. hohe Akzeptanz von Sharing und kollektiver Mobilitätsformen) indirekt berücksichtigt. Digitalisierung als «Gigatrend» (Wittmer und Linden 2017) war nicht explizit Fokus der Szenariendefinition.

Kürzlich abgeschlossene Arbeiten zur Mobilität der Zukunft in der Schweiz fokussieren verstärkt auf zwei zentrale Entwicklungstrends: Technologie und Verhalten. Zu Beginn des Forschungspakets «Verkehr der Zukunft» wurden drei Szenarien definiert, die sich an zwei zentralen Dimensionen orientieren: 1. Grad der Durchdringung mit neuen Technologien im Mobilitätsbereich (Diffusion) sowie 2. Grad der räumlichen Verdichtung und Bereitschaft für kollektive Nutzungen (Kohäsion). Im Ergebnis wurden drei Szenarien abgeleitet: 1. Evolution ohne Disruption, 2. Revolution der individuellen Mobilitätsservices sowie 3. Revolution der kollektiven Mobilitätsservices. Im Forschungspaket «Auswirkungen des Automatisierten Fahrens» wurden zwei Nutzungsszenarien in Bezug auf das Verhalten definiert (individuell und monomodal vs. kollektiv und multimodal). Darauf aufbauend unterscheiden die Diffusionspfade zur Automatisierung drei Szenarien (Evolution ohne Disruption, Revolution der individuellen Mobilitätsservices sowie Revolution der kollektiven Mobilitätsservices), die sich am Forschungspaket «Verkehr der Zukunft» orientieren.

Die vier Mobilitätsszenarien der SBB berücksichtigen die Potenziale neuer Technologien und neuer Mobilitätsformen (SBB 2019). Aus den relevanten und unsicheren Umfeld-Faktoren wurden zwei Szenario-Dimensionen bzw. -Achsen identifiziert. Die horizontale Achse berücksichtigt die individuelle vs. kollektive Mobilität bzw. die mono- vs. multimodale Mobilität. Die

zweite Dimension zeigt die Durchdringung mit neuen Technologien (disruptive vs. inkrementelle Innovation) auf. Es wird davon ausgegangen, dass je mehr die Zukunft von technologischen Entwicklungen und räumlicher Innenverdichtung geprägt wird, desto stärker sind die zu erwartenden Veränderungen der Mobilitätsformen und der kollektiven Angebote.

Betreffend Automatisierung werden in der aktuellen TA Suisse Studie drei Nutzungsszenarien unterschieden, wobei jeweils zwei Zustände hinsichtlich der Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen betrachtet werden (Perret et al. 2020): 1. stark individualisierte Nutzung, 2. Neue Angebote in Städten und Agglomerationen sowie 3. schweizweit stark kollektiv geprägter Verkehr.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die Eckszenarien der Machbarkeitsstudie grundsätzlich beizubehalten. Die Herleitung der Szenarien mit den jeweiligen Annahmen in Kap. 5 erfolgt basierend auf folgendem Literaturreview.

4.4. Literaturreview direkte (ceteris paribus) und verkehrliche Wirkungen

Der Aufbau des nachfolgenden Literaturüberblicks spiegelt die beiden Achsen gemäss Kap. 3 wider. Es gilt zwischen zwei Hauptachsen der Entwicklung zu differenzieren, die die Wirkung der Digitalisierung und Automatisierung massgeblich beeinflussen: 1) der technologischen Entwicklung des automatisierten Fahrens und der Durchdringung der Fahrzeuge mit der entsprechenden Technologie sowie 2) Änderungen der Präferenzen und des Verhaltens, die durch die Bereitstellung neuer Mobilitäts- und Transportangebote hervorgerufen werden können, und die zu einer verstärkten Kollaboration und der geteilten Nutzung von Mobilitätsangeboten führen.

Für den Bereich des Personen- und Güterverkehrs (Abschnitt 4.4.1 und 4.4.2) erfolgt zunächst jeweils die Zusammenfassung des Kenntnisstandes zu den direkten und verkehrlichen Wirkungen, bei dessen Darstellung zwischen generellen Wirkungen der Automatisierung und den spezifischen Aspekten des Sharings unterschieden wird. Die Ausführungen konzentrieren sich dabei stark auf Erkenntnisse, die für die Parametrisierung der im Projekt genutzten Verkehrsmodelle Relevanz aufweisen. Die Abschnitte schliessen jeweils mit einer kurzen Zusammenfassung der identifizierten Erkenntnislücken sowie Unsicherheiten bezüglich etwaiger Wirkungsmuster oder -stärken sowie einer tabellarischen Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken.

Abschnitt 4.4.3 umreisst für Personen- und Güterverkehr gemeinsam die erwarteten Effekte auf die Verkehrsinfrastruktur und adressiert dabei vor allem die Änderungen in der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur sowie antizipierte Infrastrukturanpassungen.

Mögliche räumliche Implikationen des automatisierten Fahrens werden in Abschnitt 4.4.4 kurz zusammengefasst. Der Schwerpunkt des Literaturüberblicks liegt dabei auf antizipierten Änderungen der Erreichbarkeiten und räumlicher Verflechtungsmuster. Zudem wird knapp der Diskussionsstand hinsichtlich etwaiger Implikationen für die Verkehrs- und Stadtplanung skizziert.

Abschnitt 4.4.5 fasst die antizipierten indirekten Wirkungen zusammen. Die wettbewerbsökonomischen Auswirkungen werden in Abschnitt 4.4.6 adressiert.

4.4.1. Personenverkehr

4.4.1.1. Automatisierung Personenverkehr

Das automatisierte Fahren wird als eine der Technologien betrachtet, die zu tiefgreifenden Änderungen in der (Auto-)Mobilität führen könnte. Besonders starke Auswirkungen werden dabei erwartet, sobald substantielle Penetrationsraten für Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen der Level 4 und 5 erreicht sind und eine Nutzung der entsprechenden Funktionen nicht nur auf dezidierten Strecken bei Überlandfahrten, sondern auch im städtischen Mischverkehr erfolgen kann. Ausreichende Durchdringungsraten und Kooperationsfunktionen vorausgesetzt, wird das automatisierte Fahren mit einer sichereren, zuverlässigeren und individuelleren persönlichen Mobilität und einem verbesserten Verkehrsfluss assoziiert (Winkle 2015; Fagnant und Kockelmann 2015; Friedrich 2015). Die erwarteten Auswirkungen sind geringere Reisezeiten und weniger Staus, die sowohl die Planung von Fahrzeiten als auch die Kosten vorhersehbarer machen (Milakis et al. 2017).

Als einer der relevantesten Vorteile aus Sicht der Nutzenden wird angesehen, dass höhere Automatisierungsfunktionen den Fahrenden von der Aufgabe des Fahrens entlastet, damit die Möglichkeit der alternativen Nutzung der Fahrzeit bietet und somit die Nutzung des privaten PW attraktiver macht (Milakis et al. 2017; Kolarova et al. 2019; Axhausen et al. 2020). Damit verbunden sind Befürchtungen, dass es zu einer Zunahme der gefahrenen PW-Kilometer insgesamt und einer Trendumkehr hin zu einer stärkeren Suburbanisierung kommen könnte (vgl. u.a. Fagnant und Kockelman 2015; Milakis et al. 2017; Childress et al. 2015; Steck et al. 2018; Zakharenko 2016; Heinrichs 2015).

Folgend diskutieren wir die wichtigsten Auswirkungen separat und legen die Bandbreite der Erkenntnisse aus der Literatur dar. Dabei wird zunächst vorrangig die Frage, welche Wirkung das automatisierte Fahren auf die Nutzung eines privaten PW haben könnte, adressiert. Demgegenüber fasst das Kapitel 4.4.1.2 den wissenschaftlichen Erkenntnisstand zu Nutzungsmustern und Wirkungen von Sharing-Angeboten zusammen. Dabei werden nicht nur bereits verfügbare Angebotsformen des Teilens von Fahrzeugen und Fahrten, sondern auch zukünftige, etwaig automatisierte Angebotsformen adressiert.

4.4.1.1.1. Reisezeitbewertung (Value of Time, VoT)

Die Möglichkeit, die Reisezeit in automatisierten Fahrzeugen anders als heute verbringen zu können, wird häufig als einer der herausragenden Vorteile des automatisierten Fahrens im MIV angesehen. Gleichwohl lässt sich feststellen, dass insbesondere hinsichtlich des Umfangs, in dem die Reisezeit eine weniger negative Beurteilung erfahren dürfte, grosse Unsicherheiten bestehen. So fallen bei der Betrachtung der auf Basis von **Expertenbefragungen** erlangten (Kohli und Willumsen 2016; Milakis, Snelder et al. 2017) sowie einer Übersicht von im Rahmen von Simulationsstudien (Singleton 2019) genutzten Änderungen der Zeitwerte extrem breite Wertebereiche auf. Mehrheitlich liegen die bei Kohli und Willumsen (2016) berichteten Reduktionsannahmen wegezweckunabhängig bei 80–100 % der VoT-Werte konventioneller Fahrten, die bei Singleton berichteten Einsparungen rangieren zwischen 25 % und 95 %.

Zur systematischen Ableitung der Reisezeitbewertung bei automatisierten Fahrzeugen werden zunehmend **Stated-Preference-Befragungen** eingesetzt (vgl. bspw. Krueger et al. 2016; Kolarova et al. 2019; Correia et al. 2019; Hörl et al. 2019; Alonso-González et al. 2020, Zhong et al. 2020). Bemerkenswert ist dabei, dass bei den entsprechenden Experimenten automatisierte Fahroptionen in Form eines privaten PW zumeist nicht enthalten sind, sondern in der Regel spezifische Ausprägungen geteilter automatisierter Fahrzeuge untersucht werden (vgl. hierzu den Literaturüberblick bei Kolarova et al. 2019). Für den Einsatz privater automatisierter PW zeigen die auf Basis eines in Deutschland erhobenen Datensatzes durchgeführten Modellschätzungen von Kolarova et al. (2019) sowie Kolarova et al. (2020), dass die Änderungen in der Zeitbewertung deutlich von Wegezwecken und -distanzen, aber auch vom Haushaltseinkommen abhängen. Gegenüber konventionellen Fahrzeugen finden Kolarova et al. (2019) im Alltagsverkehr eine um 41 % reduzierte Reisezeitbewertung für Arbeitswege in privaten automatisierten Fahrzeugen; für Freizeit- und Einkaufswege hingegen zeigen ihre Arbeiten keine signifikanten Änderungen. Die Autoren weisen gleichzeitig darauf hin, dass die Zeitbewertungen starke individuelle Unterschiede aufweisen. Die Wirkung auf längeren Strecken ab 100 km untersuchen Kolarova et al. (2020). Auf Basis ihrer Modelle lässt sich für automatisierte Fahrten eine um 12 % reduzierte Reisezeitbewertung gegenüber einer Fahrt in konventionellen Fahrzeugen ermitteln. Die Zeitbewertung liegt damit nur leicht über den von ihnen ermittelten Werten für Fahrten im Zug. Zhong et al. (2020) zeigen auch für die USA, dass die Änderung des VoT für Pendlerfahrten von Wegedistanzen abhängen. Für private automatisierte Fahrzeuge finden Zhong et al. (2020) eine Reduktion des VoT für Pendlerfahrten um 32 %, 24 % bzw. 18 % für Fahrer, welche in suburbanen, urbanen bzw. ländlichen Regionen wohnen.

Es existiert nur eine SP-Erhebung, welche die Wirkungen der Automatisierung auf die Reisezeitbewertung in der **Schweiz** untersucht (Hörl et al. 2019) und dabei u.a. die Reisezeitbewertung für den ÖV, private autonome Fahrzeuge, gepoolte automatisierte Fahrzeuge und

konventionelle PWs vergleicht. Die Modellschätzungen ergeben u.a. eine höhere Reisezeitbewertung für private selbstfahrende Fahrzeuge als für konventionelle PWs. Da dieses Resultat nicht den Erwartungen und Erkenntnissen der internationalen Literatur entspricht, haben wir das Resultat nicht verwendet. Eine weitere Studie für die Schweiz von Axhausen et al. (2020) präsentiert auch Werte zum VoT von automatisierten Fahrzeugen, jedoch handelt es sich dabei um Annahmen und nicht Resultate der Studie. Axhausen et al. (2020) gehen von einer Reduktion der VoT für private, automatisierte Fahrzeuge um 50 % im Vergleich zu konventionellen, privaten Fahrzeugen aus. In der Sensitivitätsanalyse prüfen sie sogar eine Reduktion um 70 %.

Anhand einer niederländischen Erhebung zeigen Correia et al. (2019), dass die Zeitbewertung auch stark von der Innenraumgestaltung der PW beeinflusst wird. Bei ihren Befragungen, bei denen sie konventionelle Fahrzeuge mit automatisierten Fahrzeugen, die für Büro- oder Freizeitaktivitäten geeignet wären, kontrastieren, zeigt sich, dass die Reisezeitbewertung bei Arbeitsfahrzeugen im Schnitt 11 % unter, bei Freizeitfahrzeugen hingegen 20 % über der bei konventionellen Fahrzeugen liegt. Ihre Modellschätzungen zeigen zudem klar den Einfluss etwaiger Begleitpersonen auf die Reisezeitbewertung.

Mit Fokus auf den ÖV muss betont werden, dass in der Literatur die Frage, ob Reisezeit anders bewertet wird, wenn im ÖV «gearbeitet» und damit die Reisezeit produktiver genutzt werden kann, an sich stark umstritten ist. Ausdruck dessen ist nicht nur die bemerkenswerte Spannweite der antizipierten Änderung der Zeitbewertung. So erhoben beispielsweise Cyganski et al. (2015) die jetzige Zeitnutzung im ÖV und PW sowie die zukünftig antizipierte in Fahrzeugen mit Automatisierungsfunktion von rund tausend Studienteilnehmenden aus Deutschland. Dabei zeigte sich, dass die Befragten bei automatisierten Fahrten weniger eine produktivere Zeitnutzung als vielmehr das Entspannen und aus dem Fenster sehen als wahrscheinliche Aktivität angaben. Die Autorinnen zeigen zudem starke Zusammenhänge zwischen antizipierter und derzeitiger Zeitnutzung bei ÖV-Fahrten auf. Zu ähnlichen Einschätzungen gelangt auch Singleton (2019:1), dem zu Folge viele der heutzutage in Fahrzeugen vorgenommenen Aktivitäten mehr dem «coping with commuting burdens than productively using travel time» dienen würden und daher vor allem eine Reduktion von Stress und eine Zunahme des subjektiven Wohlbefindens zu erwarten sei.

4.4.1.1.2. Neue Nutzergruppen und Verkehrsaufkommen

Nicht nur eine positivere Bewertung der Reisezeit im PW könnte zu einem Anstieg der entsprechenden Fahrleistungen führen. So wird trotz eines antizipierten Anstiegs der PW-Anschaffungskosten davon ausgegangen, dass insbesondere für ältere oder generell unsichere Autofahrende die Barrieren der Autonutzung sinken und **neue Nutzergruppen** erschlossen werden (Fagnant und Kockelman 2015). In der Folge könnte sich (nicht nur) in der Schweiz die Mobilität

der älteren Bevölkerung stark erhöhen (Haefeli et al. 2020), vor allem im Freizeit- und Einkaufsverkehr, und die Tagesunterwegszeiten der über 65-Jährigen könnten sich an die Vergleichswerte der jüngeren Altersgruppen anpassen (Ecoplan 2018).

Eine systematische Abschätzung der Veränderungen im **Verkehrsaufkommen** für 7 Altersgruppen nehmen Truong et al. (2017: 1279) für die USA auf Basis der Ermittlung von «gaps in travel needs», die sich aus der Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des ÖV oder Fahrdiensten anderer Personen ergeben. Sie rechnen mit einem Anstieg des täglichen Wegeaufkommens von rund 4 %. Den höchsten Zuwachs von rund 19 % weist dabei die Altersgruppe 76+ auf. Für die 18–24-Jährigen und die 12–17-Jährigen gehen sie von einem 15 % bzw. 11 % höheren Wegeaufkommen aus. Korrespondierend rechnen De Haan et al. (2018) für die Schweiz mit einer Erhöhung der Fahrleistung im MIV durch die vermehrte PW-Nutzung durch Jugendliche und (körperlich) eingeschränkte Personen. In Simulationsrechnungen zeigen Meyer et al. (2017) auf, dass eine Verlagerung der bisherigen Nicht-Auto-Wege Schweizer Minderjähriger und Betagter auf fahrerlose Fahrzeuge im Extremfall zu einer Zunahme der Fahrzeugkilometer um 16 % führen könnte – ohne Berücksichtigung der Leerfahrten entsprechender Flottenfahrzeuge. Auch Ecoplan (2018) erwartet für die Schweiz insbesondere beim Einkaufs- und Freizeitverkehr einen Anstieg der PW-Fahrleistung. Mit einem angegebenen Steigerungsbereich zwischen 0–20 % (Einkauf) und 0–30 % (Freizeit) weist die Studie gleichzeitig auf die sehr grossen Unsicherheiten bei entsprechenden Prognosen hin.

4.4.1.1.3. Besetzungsgrade und Leerfahrten

Veränderungen in der Fahrleistung privater, automatisierter Fahrzeuge sind dabei auch stark von den antizipierten Besetzungsgraden sowie den etwaigen Leerfahrten abhängig. Fahrten, die nun sequentiell statt gemeinsam durchgeführt werden können (vgl. bspw. Javanmardi et al. 2018), der etwaige Wegfall von fahrenden Begleitpersonen sowie ohne Passagiere durchgeführte Repositionierungsfahrten der Privatfahrzeuge werden voraussichtlich dazu führen, dass die durchschnittliche Auslastung privater PWs fallen wird. Sessa et al. (2016) antizipieren eine Reduktion der Besetzungsgrade von bis zu 30 % gegenüber heute. Soteropoulos et al. (2019) nehmen unter Verweis auf mangelnde Literaturquellen für ihre Szenarienrechnungen für Österreich einen Leerfahrtenanteil bei privaten PW von 10 % an. Einen Rückgang der Besetzungsgrade um ebenfalls bis zu 10 % nehmen Dennisen et al. (2016) in ihren Szenarien für die Schweiz im Jahr 2040 an. Während sie für urbane Räume von einem Anstieg der Besetzungsgrade aufgrund sinkender PW-Besitzquoten und neuen Verkehrsangeboten ausgehen, antizipieren sie für den ländlichen Raum im Falle reduzierter ÖV-Angebote eine gegenteilige Entwicklung. Ecoplan (2018) rechnet für die Schweiz wegezweckunabhängig mit einem Besetzungsgrad von 1.4 bei privaten automatisierten Fahrzeugen und damit mit einem Rückgang um

rund 11 Prozent (von 1.56). Demgegenüber antizipieren Meyer et al. (2017) für die Schweiz ein Absinken des Besetzungsgrades um rund 15 %; ein Wert, auf den in der Schweizer Literatur häufig Bezug genommen wird (vgl. Perret et al. 2020; Bruns, Rothenfluh et al. 2018). Auch Truong et al. (2017) gehen davon aus, dass sich die Besetzungsgrade bei privaten PW im Sinne des momentanen Trends weiter verringern könnten. Eine Fortschreibung bis 2050 würde für das von ihnen betrachtete Beispiel Australien eine Reduktion um 16 % auf 1.3 Personen pro PW bedeuten. Bei geteilten Fahrzeugen mit Ride-Pooling halten die Autoren einen Anstieg für denkbar. Aufgrund der Unsicherheiten testen die Autoren in ihren Szenarienrechnungen verschiedene Varianten mit Werten zwischen -16 und +10 %.

4.4.1.1.4. Kostenentwicklung Personenverkehr

Die Frage der Nutzungshäufigkeit des PW ist auch eng verbunden mit den Kostenentwicklungen sowohl für die Anschaffung, den Unterhalt als auch für die Nutzung automatisierter PW. Hinsichtlich dieser Aspekte finden sich in der Literatur unterschiedliche Annahmen. So gehen Milakis et al. (2017) und Bruns et al. (2020) von einer Erhöhung der Anschaffungskosten aufgrund der Automatisierungsfunktionen aus – Bruns et al. (2020) nennen einen Preisanstieg von 4 % bezogen auf die durchschnittlichen variablen Kosten pro Fahrzeugkilometer. Bösch et al. (2018) rechnen mit einer Erhöhung der Fahrzeugpreise um 20 %, unveränderten Unterhaltskosten und um 50 % niedrigeren Versicherungskosten aufgrund der geringeren Unfallhäufigkeiten. Auch gehen sie davon aus, dass die Treibstoffkosten um 10 % sinken werden und kommen so insgesamt auf einen Anstieg der Kilometerkosten um 4 % bei gleichbleibenden Besetzungsgraden. Auf ihre Arbeit Bezug nehmen auch Ecoplan (2018) für ihre Schweizer Studie.

Die beiden U.S.-amerikanischen Studien von Huang et al. (2019) sowie Fagnant und Kockelman (2015) gehen hingegen davon aus, dass es kaum Unterschiede in den variablen Kosten konventioneller und automatisierter Fahrzeuge geben wird, sondern in beiden Fällen die Kosten langfristig sinken werden. Anders als Bösch et al. (2018) erwarten auch Buffat et al. (2018) und Hörl et al. (2019) für die Schweiz kaum Veränderung der Nutzungskosten für den PW. Letztere rechnen mit Vollkostenpreisen der PW-Nutzung von 0.50 CHF/km.

4.4.1.2. Sharing Personenverkehr

Es wird erwartet, dass durch die App-basierte Vermittlung von Fahrzeugen und Fahrten der flexible Zugang zu Mobilität erleichtert wird und somit mittel- bis langfristig der private PW an Bedeutung verlieren und sein Besitz sinken könnte. Dabei gilt es zwischen verschiedenen Ausprägungen von Sharing-Angeboten zu unterscheiden, die in ihren Wirkungen grundsätzlich differieren (vgl. auch Abschnitt 3.2): dem Teilen von Fahrzeugen einerseits (Car-Sharing) und Fahrten (Ride-Pooling/-Sharing) andererseits sowie zusätzlich den jeweiligen konventionellen,

nicht-automatisierten und den zukünftig automatisierten Varianten. Zudem lässt sich eine zunehmende Verbreitung von Velo- und Scooter-Sharing-Angeboten erkennen.

Klassische Angebote, die auf das Teilen von Fahrzeugen abzielen, bestehen in Form von Taxidiensten als auch stationsgebundenen Car-Sharing-Angeboten bereits seit geraumer Zeit und wurden in den letzten Jahren durch App-basierte, flexible Formen des stationsungebundenen Teilens von Fahrzeugen sowie des Ride-Hailings ergänzt. Mit Angeboten der Transportation Network Companies (TNC) wie bspw. UberPool, Moia oder dem BerlKönig stehen darüber hinaus bereits erste, auf eine spätere Automatisierung abzielende Mobility-On-Demand-Angebote zur Verfügung, die das Teilen von Fahrten ermöglichen. Analysen der derzeitigen Wirkung entsprechender Angebote können nicht nur Hinweise darauf geben, welche Implikationen bei einer stärkeren Verbreitung und Nutzung solcher Angebote zu erwarten sind. Neben oftmals Annahmen-getriebenen Simulationsstudien sowie SP-Erhebungen stellen sie eine der wenigen Grundlagen zur Abschätzung der Wirkung von automatisierten Angebotsformen dar, die das Teilen von Fahrzeugen oder Fahrten ermöglichen.

Werden vor allem mit Blick auf die verschiedenen Ausprägungen dieser Mobility-on-Demand-Angebote substantielle Hoffnungen, aber auch Befürchtungen für die Verkehrsentwicklung verbunden, so sind Antizipationen ihrer Wirkung auf den PW-Besitz und auf die Verkehrsmittelnutzung gleichzeitig mit hoher Unsicherheit belastet. Insbesondere bei Wegfall des Fahrpersonals könnten entsprechende Angebote günstige Ergänzungslösungen für den klassischen ÖV darstellen. Dreh- und Angelpunkt stellt dabei die Frage dar, ob es gelingt, Fahrten zu bündeln und die Besetzungsgrade derart anzuheben, dass der erwartete Anstieg an Dispositionsfahrten kompensiert werden kann (vgl. Fagnant und Kockelman 2015; 2018). In diesem Fall wird nicht nur von einem Absinken der Fahrleistungen ausgegangen, sondern vor allem auch von substantiellen Einsparungspotenzialen des für den ruhenden Verkehr benötigten Platzes (Childress et al. 2015).

Die nachfolgenden Abschnitte fassen den derzeitigen Kenntnisstand zur Wirkung von Sharing-Angeboten zusammen. Dabei stehen zunächst Car-Sharing und Ride-Sharing-Angebote in ihrer jetzigen und zukünftig automatisierten Ausprägung im Fokus. Die Wirkung von Velo- und E-Scooter-Sharing-System wird in einem separaten Abschnitt am Ende des Kapitels kurz umrissen.

4.4.1.2.1. PW-Besitz und Flottenentwicklung

Bis heute herrscht keine Einigkeit, ob und in welchem Masse die Möglichkeit der geteilten Nutzung von Fahrzeugen einen Beitrag zur nachhaltigeren Mobilität leisten kann. Einigkeit herrscht jedoch, dass bei einem Rückgang des privaten PW-Besitzes aufgrund der vermehrten geteilten

Nutzung Einsparpotenziale bei der Bereitstellung von Flächen für den ruhenden Verkehr bestehen, deren antizipierter Umfang allerdings stark schwankt (vgl. bspw. Fagnant und Kockelman 2015; Loose 2016; BMW et al. 2016; Hülsmann et al. 2018; Deutsch 2019).

Verschiedene Studien für den deutschen Raum weisen darauf hin, dass sich Nutzungsmuster aber auch die langfristigen Auswirkungen auf den PW-Besitz zwischen stationsbasierten Angeboten und Free-Floating-Angeboten deutlich unterscheiden (Loose 2016; BMW et al. 2016; Hülsmann et al. 2018). **Car-Sharing**-Verbände wie der deutsche Bundesverband CarSharing e.V. gehen davon aus, dass je stationsgebundenem Car-Sharing-Fahrzeug im städtischen Kontext zwischen 8.3 und 20.3, im Schnitt 15.7 privatgenutzte Fahrzeuge ab- bzw. nicht neu angeschafft werden (Loose 2016). Die Autoabschaffung ist dabei bei höheren Altersgruppen und Alleinlebenden besonders stark ausgeprägt. Die genannten Quoten sind dabei als tendenziell hoch einzustufen – andere Studien gehen von urbanen Substitutionsverhältnissen zwischen 1:1.3 und 1:16 aus (vgl. Deutsch 2019).

Stationsungebundene Angebote werden eher als flexible, situationsabhängige Optionen in die Alltagsmobilität integriert (BMW et al. 2016). Während bei stationsgebundenen Angeboten davon ausgegangen wird, dass sie förderlich für eine autoarme Mobilitätsform sind (vgl. u.a. Loose 2016), weisen die Arbeiten von Hülsmann et al. (2018), BMW et al. (2016) und Deutsch (2019) darauf hin, dass die Nutzung stationsungebundener Angebote eher zusätzlich zum eigenen PW erfolgt sowie zu einer Substitution von vormaligen ÖV-Fahrten und einer Zunahme der Fahrzeugkilometer führt. So zeigen die Ergebnisse von Hülsmann et al. (2018), die die Nutzung von Car2Go-Fahrzeugen analysieren, dass die entsprechenden Angebote eher zu einer Zunahme der abgestellten Fahrzeuge führen, da die Sharing-Fahrzeuge die geringfügig abgeschafften privaten PW überkompensieren. Deutsch (2019) verweist auf publizierte Ersetzungsquoten, die zwischen 1.25 und 3.3 für deutsche städtische Gebiete rangieren. Auch Mitteregger et al. (2020) beziffern die Substitutionseffekte eines free-floating Car-Sharing-Fahrzeugs mit 3.6 privaten PW, die eines stationsbasierten mit 1.5 und zeigen so grundlegende Unterschiede in der Wirkung entsprechender Angebote auf den PW-Besitz.

Tatsächlich erscheinen die langfristigen, kausalen Auswirkungen auf den PW-Besitz momentan generell nur schwerlich abzuschätzen und dürften oftmals von soziodemographischen und lebensphasen-bezogenen Effekten nur bedingt zu trennen sein. So zeigen die Analysen von BMW et al. (2016) zwar, dass 72 % der Flinkster-Nutzenden und 43 % der DriveNow-Nutzenden kein Privat-PW besitzen. Ihre Panelauswertungen ergeben jedoch gleichzeitig, dass bei 7 % der DriveNow-Nutzenden und 3 % der Flinkster-Nutzenden die Anzahl der PW im Haushalt abgenommen hatte, jedoch auch bei 12 % der DriveNow-Nutzenden und 2 % der Flinkster-Nutzenden trotz des Car-Sharings mehr PW im Haushalt vorhanden waren.

Schwer abzuschätzen sind auch die Auswirkungen der Nutzung von **Ride-Hailing**-Angeboten auf den PW-Besitz. Circella et al. (2019) und Clewlow et al. (2017) berichten von Auswertungen der Nutzungsmuster entsprechender TNC-Angebote (Transportation Network Companies, z.B. Uber oder Lyft sowie die jeweiligen Angebotsvarianten, die das Ride-Pooling erlauben) in den USA. Die Arbeiten von Circella et al. (2019) weisen darauf hin, dass selbst häufig nutzende Kunden ihren PW eher nicht abzuschaffen. So geben zwei Drittel der von ihnen Befragten (65 %) an, eine Abschaffung eines eigenen PWs aufgrund von fahrerlosen Taxis oder Shuttles wäre eher oder gänzlich unwahrscheinlich. Die Autoren weisen aber gleichzeitig darauf hin, dass der Effekt ggf. auch darauf zurückzuführen sei, dass die Nutzung insbesondere bei PW-armen Haushalten hoch sei. Die Erhebung von Clewlow et al. (2017) ergab bei 91 % der Ride-Hailing-Nutzer keine Veränderung beim PW-Besitz, 9 % gaben an, mindestens ein Fahrzeug abgegeben zu haben.

Gleichwohl finden sich in Hinsicht auf den Einsatz **automatisierter Flotten** oftmals sehr optimistische Annahmen zu den Substitutionseffekten, und auch in Simulationsrechnungen finden sich zumeist hohe Substitutionsraten privater PW durch automatisierte Flottenfahrzeuge. Dabei ist anzumerken, dass diese zumeist auf den urbanen Raum beschränkt sind (vgl. bspw. Fagnant und Kockelman 2014, 2018; Bischoff und Maciejewski 2016; Bösch et al. 2016; Bischoff 2019). Eine erwähnenswerte Ausnahme stellt die Arbeit von PTV et al. (2019) dar, die explizit auf die Untersuchung der Wirkung in vier verschiedenen deutschen Räumen abzielt. So kommen Fagnant und Kockelman (2014) in ihrer Simulationsstudie für Austin, Texas, bei der sie die Effekte dynamischer Ride-Sharing-Angebote untersuchen, zu Substitutionsraten von etwa 11 Fahrzeugen im urbanen Raum. Simulationsrechnungen von Bischoff und Maciejewski (2016) für den Raum Berlin ergeben ebenfalls Substitutionsraten von 10 konventionellen Privat-PW durch ein automatisiertes Taxi, und auch Bösch et al. (2016) kommen auf Basis von Simulationsrechnungen zu dem Schluss, dass der Flottenbestand in der Region Zürich um bis zu 90 % reduziert werden könne. Die Arbeit von Bischoff (2019) zeigt dabei deutlich, dass die notwendigen Flottengrößen zur Bedarfsabdeckung stark von den getätigten Annahmen zu akzeptablen Wartezeiten, Umwegen und der Abholorte der Passagiere abhängig sind. Hörl et al. (2019) fassen anhand ihrer internationalen Literaturanalyse zusammen, dass die Anzahl Privatautos auf 10–25 % der jetzigen Bestandsgröße reduziert werden könne, wenn Privatfahrten durch autonome Taxis ersetzt würden. Auch Perret et al. (2020) gehen davon aus, dass der Betrieb gemeinschaftlich genutzter Fahrzeugflotten die Gesamtzahl der Fahrzeuge um 80–90 % senken könnte. Bruns, Rothenfluh et al. (2018) betonen, dass die Reduktion von PW-Flotten dabei vor allem in den Kernstädten zu erwarten sei. Durch MaaS-Plattformen und multimodale Angebote

kann der Fahrzeugbesetzungsgrad erhöht und die Fahrleistung im MIV dadurch reduziert werden (Interface/EBP 2020). Die höchsten Effekte werden für Pendler- und Freizeitverkehre angenommen.

4.4.1.2.2. Besetzungsgrade und Leerfahrten

Nicht nur die notwendige Flottengrösse, sondern auch die Fahrzeugkilometer und schliesslich die Umweltwirkung ist dabei nicht zuletzt davon abhängig, inwieweit es gelingt, durch entsprechende Angebote Fahrten zu bündeln. Betrachtet man die Besetzungsgrade heutiger Car-Sharing-Angebote, so zeigen Befragungen von Nutzenden in Deutschland, dass beim stationsbasiertem **Car-Sharing** bei über 50 % der Fahrten Mitfahrende an Bord sind, bei Free-Floating-Angeboten bei rund 20 % der Fahrten (Riegler et al. 2016). BMW et al. (2016) berichten eine Nutzung durch eine Einzelperson bei rund 62 % der Drive-Now-Fahrten; der durchschnittliche Besetzungsgrad von 1.6 für ihre Fahrzeuge deutet gleichzeitig auch auf die Nutzung grösserer Gruppen hin. Verglichen mit den heutigen Besetzungsgraden bei PW-Privatfahrten sind diese Werte als eher hoch einzustufen, müssen aber auch im Lichte der Wegezwecke betrachtet werden, für die diese Fahrzeuge vorrangig eingesetzt werden.

Einen Spezialfall, der Aufschluss hinsichtlich zukünftig zu erzielender Besetzungsgrade liefern kann, stellen **betriebliche Fahrgemeinschaften** dar. Aufgrund der Fixierung einer der räumlichen Bezugspunkte lassen sich bei entsprechenden Angeboten bereits heute höhere Auslastungsgrade aufzeigen. So stellen Mühlethaler et al. (2011) in ihrer Arbeit für das ASTRA bei den von ihnen untersuchten Unternehmen eine durchschnittliche Fahrzeugbelegung zwischen 1.7 und 2.88 fest. Auch schreiben die Autoren Berufs- und Ausbildungsfahrten ein besonderes Bündelungspotenzial zu. In der Folge schätzen sie für die Region Zürich ein Potenzial zur Fahrleistungsreduktion um rund 10–20 %, rein bezogen auf Pendlerfahrten sei das Potenzial höher.

Im Vergleich mit heutigen Car-Sharing-Angeboten zeigen Auswertungen bisherigen **TNC**-Fahrten in den USA demgegenüber, dass diese bisher nur in geringem Masse geteilt stattfinden – und wenn, dann vor allem mit vertrauten Personen. Bei den Datenanalysen von Circella et al. (2019) handelte es sich nur bei rund 15 % der berichteten Fahrten mit Uber und Lyft um gepoolte Fahrten; Schaller (2019) berichtet einen Pooling-Anteil von rund 20 %. Pooling findet dabei überdurchschnittlich abends – insbesondere am Wochenende – statt und damit vorrangig für Freizeitfahrten. Bei den Auswertungen von Lavieri und Bhat (2019) zeigen sich ähnliche Muster, der Anteil der Fahrten als Einzelperson liegt aber mit rund 41 % deutlich niedriger. Auffallend ist dabei allerdings, dass sich eine Fahrtteilung mit einer unbekanntenen Person bei weniger als 2 % der berichteten Fahrten findet. Die Wahrscheinlichkeit einer alleinigen Nutzung ist

steigend mit dem Einkommen, bei Alleinlebenden sowie bei den Wegezwecken Arbeit und Erledigungen. Demgegenüber finden sich gepoolte Fahrten vor allem bei Freizeitwegen, zentral Wohnenden, bei Jüngeren, Männern und Personen mit höherer Bildung sowie niedrigeren Einkommensgruppen.

Zur Berechnung der tatsächlichen Besetzungsgrade der Fahrten entsprechender Angebote müssen jedoch auch die für die Bereitstellung des Angebots notwendigen **Leerfahrten** Berücksichtigung finden, die durch die Repositionierung der Flottenfahrzeuge, aber auch für die Wartung, Reparatur und Reinigung entstehen und somit zu einem Anstieg der Fahrleistung und einem Sinken der durchschnittlichen Besetzungsgrade führen (Bösch et al. 2018).

Datenauswertungen von bestehenden Car-Sharing-Angeboten mit Elektrofahrzeugen in den USA zeigen, dass Redistributionsfahrten zwischen 3.4 % (Vancouver) und 17 % (San Diego) der Gesamtfahrleistungen der Flottenfahrzeuge ausmachen (Martin und Shaheen 2016). Den hohen Anteil in San Diego führen die Autoren auf Reichweitenbegrenzungen bei Elektrofahrzeugen und die geringe Anzahl von Ladestationen zurück; ohne die Daten aus San Diego sinke der Schnitt auf rund 7.5 % der Fzkm.

Ähnliche Leerfahrtenanteile finden auch bei **Simulationsstudien zum Einsatz automatisierter Flotten** Verwendung. Zumeist berufen sich die Autoren auf die Arbeiten von Martin und Shaheen (2016) oder Bösch et al. (2018), die eine ausführliche Herleitung der Kosten von Mobility-on-Demand-Angeboten unternehmen. So rechnen bspw. Hörl et al. (2019) mit einem Leerfahrtenanteil im städtischen Raum der Schweiz von 8 %, einen Wert, den Fagnant und Kockelman (2014) bei ihren Simulationsrechnungen für Austin ermittelten und der sich auch bei Bösch et al. (2018) findet. Für den ländlichen Raum gehen sie – sich stützend auf die Arbeiten von Bösch et al. (2016) – von einem Leerfahrtenanteil von 15 % aus. Soteropoulos et al. (2019) nutzen in Berufung auf die Arbeiten von Martin und Shaheen (2016) einen Leerfahrtenanteil für Car- und Ride-Sharing-Angebote von 5 % in ihren Szenarienrechnungen für Österreich.

Annahmen zur **Auslastung** der Fahrzeuge im Sinne der Gruppengrößen, die bei einer Fahrt transportiert werden, basieren oftmals auf den Arbeiten von ITF (2015), die am Beispiel von Lissabon umfangreiche Dispositionsszenarien berechnen und dabei im Schnitt Besetzungsgrade von 2.6 für die Spitzenzeiten, 2.4 für die Nebenzeiten und 2.3 für die Nacht ermitteln (vgl. bspw. Bösch et al. 2018; Bruns, Rothenfluh et al. 2018; Hörl et al. 2019). Räumliche Differenzierungen finden sich dabei selten. Bruns, Rothenfluh et al. (2018) unterscheiden bei dem von ihnen abgebildeten Schweizer ÖIV relationsbezogene Besetzungsgrade, bei denen sie Werte zwischen 2.3 Pers./Fz (ländlicher Raum) und 5.0 Pers./Fz (innerhalb Kernstadt) hinterlegen und sich auf ITF (2016) stützen.

Räumliche Unterschiede in den Besetzungsgraden verschiedener Angebotsformen evaluieren PTV et al. (2019). Für Ride-Hailing-Fahrten kommen sie bei ihren Szenarienrechnungen für

Deutschland je nach Raumtyp auf Besetzungsgrade zwischen 0.8 und 1.4, bei Bedarfsverkehren auf 1.9 bis 4.5. Insbesondere bei den Bedarfsverkehren zeigen sich dabei grosse Unterschiede je nach Raumtyp. Starke Variationen der Besetzungsgrade finden sich auch bei ITF (2020). Je nach Szenario und konkreter Ausprägung der Angebote liegen diese zwischen 1.8 und 8.7 Personen pro Fahrzeug im Untersuchungsgebiet Lyon. Für geteilte Taxen werden durchschnittliche Besetzungen zwischen 1.8 und 2.3 angenommen; für Ride-Sharing-Fahrten zwischen 2.3 und 2.4. Höhere Werte finden sich für Kleinbusse mit maximal 8 bzw. 16 Passagieren.

4.4.1.2.3. Nutzende von Sharing-Angeboten

Gemeinhin wird davon ausgegangen, dass die Nutzenden von Sharing-Angeboten deutliche Ähnlichkeiten mit den klassischen Early-Adoptern aufweisen. Tatsächlich zeigen diverse Studien, dass die Charakterisierung der Kundengruppe als überdurchschnittlich jung, männlich, gebildet und einkommensstark für die Nutzenden stationsgebundener Car-Sharing-Angebote durchaus zutrifft (vgl. bspw. Loose 2016; BMW et al. 2016; Hülsmann et al. 2018). So zeigen die Auswertungen von Hülsmann et al. (2018), dass fast 90 % der Car2Go-Nutzenden 49 Jahre und jünger sind und allein die Altersgruppe der 18–29-Jährigen einen Anteil von 37 % ausmacht. Etwas mehr als zwei Drittel der Nutzenden sind dabei männlich, mehr als die Hälfte verfügt über einen Studienabschluss. Gleichzeitig lässt sich ein unterdurchschnittlicher PW-Besitz feststellen. DriveNow-Nutzende sind dabei im Vergleich jünger als die Nutzenden des stationsgebundenen Flinkster und weisen einen höheren Studierendenanteil auf (BMW et al. 2016). Die Kundengruppe der stationsgebundenen Angebote zeichnet sich durch einen deutlich höheren Anteil von Frauen aus; auch der Anteil von Haushalten mit Kindern ist höher. So weisen in der Befragung des deutschen Bundesverbands CarSharing rund ein Drittel der Haushalte Kinder auf, bei Flinkster rund 17 %, bei Car2Go rund 22 % (Loose 2016).

Eine geringere Nutzungswahrscheinlichkeit von Car-Pooling-Angeboten durch Frauen ermitteln auch Ciari und Axhausen (2012), die anhand zweier SP-Befragungen in der Schweiz die Bewertung der Nutzung von Car-Pooling (als Fahrender oder Passagier) einerseits und von konventionellen Car-Sharing-Optionen andererseits im Vergleich mit der Nutzung des privaten PW bzw. ÖV untersuchen. Bildungsniveau, Haushaltsgrösse sowie die Bekanntschaft mit den etwaigen Mitfahrenden wirkt sich positiv auf die Nutzung von Pooling-Angeboten aus, ebenso der Wegezweck Arbeit. Die Autoren betonen, dass sich soziodemographische Faktoren als weniger signifikant für die Nutzung von Car-Sharing-Angeboten zeigen.

Auch bei **Ride-Hailing**-Angeboten lässt sich anhand der für die USA vorliegenden Daten eine überdurchschnittliche Nutzung durch Jüngere, Gebildete, Einkommensstärkere erkennen (Schaller 2019; Lavieri und Bhat 2019). Nicht zuletzt wohl angebotsbedingt konzentriert sich die Nutzung momentan auf urbane Gebiete. So haben 29 % aller von Clewlow et al. (2017)

befragten StadtbewohnerInnen der U.S.-amerikanischen Fallstudienstädte Ride-Hailing genutzt, nur 14 % aller Bewohnende in den suburbanen Gebieten. Ihre Daten zeigen auch deutlich eine Altersabhängigkeit der Nutzung: So nutzen in ihrer Erhebung 36 % aller 18–29-Jährigen, aber nur 4 % der über 65-jährigen entsprechende Angebote.

Lavieri und Bhat (2019) stellen zudem eine überdurchschnittliche Nutzung von Ride-Hailing durch Männer, Menschen mit hispanic oder asiatischem kulturellem Hintergrund und in zentralen Teilen von Städten allein Lebenden fest. Auch lässt sich eine überdurchschnittliche Nutzung von Ride-Hailing durch Haushalte mit geringer PW-Ausstattung aufzeigen (Circella et al. 2019; Lavieri und Bhat 2019). Clewlow et al. (2017) berichten zudem eine starke Überschneidung der Nutzergruppen von Car-Sharing- und Ride-Hailing-Angeboten. So geben in ihrer Untersuchung 65 % aller Car-Sharing-Nutzer an, auch Ride-Hailing genutzt zu haben.

Auch für die Nutzung automatisierter Mobilitätsangebote wird damit gerechnet, dass es sich bei der Hauptnutzergruppe um junge Menschen in städtischem Umfeld mit einem höheren Anteil an Männern und Nicht-Fahrern handeln dürfte (Hörl et al. 2019). Dennisen et al. (2016) kommen generell für die Schweiz zu dem Schluss, dass angesichts der heutigen hohen Akzeptanz und Nutzung von Car-Sharing Angeboten grundsätzlich von guten Rahmenbedingungen für Sharing-Angebote auszugehen sei.

4.4.1.2.4. Nutzungsmuster und Wegezwecke

Bei der Nutzungshäufigkeit und den Nutzungszwecken von Car-Sharing-Angeboten lassen sich je nach Ausprägung deutliche Unterschiede erkennen. Stationsgebundene Angebote werden im Schnitt einmal im Monat vorrangig für spezielle unregelmässige Fahrten wie Grosseinkäufe oder Ausflüge eingesetzt. Ein Einsatz für Alltagswege wie dem Arbeitsweg erfolgt kaum. Nutzungsfrequenzen und -muster variieren dabei abhängig vom Besitz weiterer PW (Loose 2016). Heterogenere Nutzungsmuster lassen sich für stationsungebundene Angebote feststellen, die oftmals zur Abdeckung sporadischer Fahrten genutzt werden (Martin und Shaheen 2016; Hülsmann et al. 2018). Wichtigste Wegezwecke sind dabei die Fahrt nach Hause sowie Freizeitfahrten. Ein Einsatz auf Arbeits- und Ausbildungswegen findet sich vor allem bei Personen mit einer hohen Nutzungsfrequenz (Hülsmann et al. 2018).

Ähnlichkeiten in den Einsatzmustern lassen sich bei den TNC-Nutzungen in den USA aufzeigen. So betonen Lavieri und Bhat (2019: 1), dass Ride-Hailing-Angebote am häufigsten bei Freizeitfahrten und «social trips» genutzt werden (vgl. ebenfalls Circella et al. 2019). In ihrer Erhebung werden jeweils rund 40 % der Fahrten für Freizeitangelegenheiten und zum Flughafen gemacht. Die Nutzung erfolgt überdurchschnittlich häufig am Abend. Eine Nutzung für Routinewege, wie Wege zum Einkauf und für Erledigungen, erfolgt vor allem durch Studierende, für Arbeitswege vor allem durch Jüngere und Personen mit einer geringen PW-Verfügbarkeit im

Haushalt. Häufige Nutzende setzen Ride-Hailing oftmals für arbeitsbezogene Fahrten ein, so auch für Wege zu und vom Flughafen. Passend lässt sich eine höhere Nutzungshäufigkeit bei höchsten Einkommensklassen aufzeigen, ebenso bei zentraler Wohnlage. Der Besitz eines PW wiederum wirkt sich senkend auf die Nutzungshäufigkeit aus.

4.4.1.2.5. Reisezeitbewertung

Die Dauer der Reisezeit aber auch ihre Bewertung seitens der Nutzenden zählen zu den ausschlaggebenden Faktoren für die Verkehrsmittelwahl und stellen auch die zentralen Grössen bei der Abbildung entsprechender Angebote in der Verkehrsmodellierung dar. Mit Hilfe von Stated-Preference-Erhebungen wird daher versucht, den Einfluss dieser Faktoren auf die Nutzung verschiedener Sharing-Angebote zu quantifizieren. Von Interesse ist dabei nicht zuletzt, wie diese Angebote im Vergleich mit der Nutzung des ÖV und privater PW bewertet werden und welchen Einfluss dabei die Präsenz weiterer Personen hat.

Die Ergebnisse der Schweizer SP-Befragungen von Ciari und Axhausen (2012) zu Bewertung der Nutzung von Fahrgemeinschaften (als Fahrer oder Passagier) einerseits und von konventionellen Car-Sharing-Optionen andererseits zeigen, dass sich der VoT beim Car-Sharing zwischen den Vergleichswerten für ÖV und MIV befindet. Auffallend ist, dass die Autoren einen höheren VoT für die Nutzung von Fahrgemeinschaften ermitteln als für die Vergleichsmodi.

Nur wenige SP-Erhebungen adressieren die Modalwahl und Zeitbewertung automatisierter Sharing-Angebote und stellen bei den Experimenten auch weitere Verkehrsmittel zur Auswahl, die einen Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit der Bewertung herkömmlicher Verkehrsmittel erlauben. Beispiele solcher Arbeiten finden sich bei Hörl et al. (2019) und auch Steck et al. (2018), die bei ihren SP-Erhebungen in der Schweiz bzw. in Deutschland ebenfalls zwischen der alleinigen und der geteilten Nutzung automatisierter Sharing-Angebote unterscheiden. Hörl et al. (2019) präsentieren dabei zwei verschiedene Ausprägungen von Angeboten, die als autonomer Taxi-Service sowie autonomer Pooled-Service zur Wahl gestellt werden. Die Autoren weisen auf generelle Unstimmigkeiten bei den berechneten Zeitwerten hin. Ihre Modellschätzungen zeigen gleichwohl, dass die Akzeptanz einer geteilten Fahrt mit der Länge der Strecke abnimmt.

Die Arbeiten von Steck et al. (2018) bauen auf dem gleichen Datensatz auf, der auch von Kolarova et al. (2019) sowie Kolarova et al. (2020) verwendet wurde. Sie präsentieren dabei nur eine Ausprägung automatisierter Sharing-Angebote, bei der die Anzahl der Mitfahrenden im Verhaltensexperiment variiert wird. Die Autoren können zeigen, dass die Reduktion der Zeitwerte bei Sharing-Fahrzeugen (VoT -10 % ggü. manueller Fahrt im PW) unter derjenigen von privaten, automatisierten Fahrten (VoT -31 % ggü. manueller Fahrt im PW) liegt. Allerdings

erweist sich Anzahl der Mitfahrenden im Sharing-Angebot im Modell kontra-intuitiv als nicht signifikant.

Krueger et al. (2016) stellen in ihrem SP-Experiment ihre australischen Befragten vor die Wahl zwischen ihrem bisherigen Verkehrsmittel und zwei automatisierten Shuttles, einmal mit und einmal ohne Ride-Sharing. Ihre Analysen zeigen, dass beide Ausprägungen als unterschiedliche Angebote wahrgenommen werden und der VoT für nicht geteilte Sharing-Angebote im Vergleich mit der jetzigen Verkehrsmittelwahl stärker sinkt als für geteilte. Die Autoren betonen, dass Attribute der Fahrt wie Reisezeit, Wartezeit und Reisekosten signifikanten Einfluss auf die Nutzung von autonomen Shuttles und der Akzeptanz von geteilten Fahrten hätten.

Zhong et al. (2020) vergleichen in ihrem SP-Experiment die Reisezeitbewertung für Pendlerfahrten in konventionellen Fahrzeugen mit privaten und geteilten automatisierten Fahrzeugen. Für geteilte automatisierte Fahrzeuge finden Zhong et al. (2020) eine Reduktion des VoT für Pendlerfahrten um 14 %, 13 % bzw. 8 % für Fahrer, welche in suburbanen, urbanen und ländlichen Regionen wohnen.

Den Einfluss von Wartezeit, Reisezeit und Umstiegen auf die Bewertung von On-Demand-Angeboten untersuchen Alonso-González et al. (2020) mit Hilfe dreier in den Niederlanden durchgeführter SP-Experimente. Dabei analysieren die Autoren neben der Zeitbewertung auch die Bewertung der Zuverlässigkeit der Angebote. Verglichen mit bekannten Werten der Reisezeitbewertung der Niederlande zeigen ihre Modellschätzungen höhere VoT-Werte für die Zahlungsbereitschaft für die (fahrzeug-interne) Reisezeit von Sharing-Angeboten als für öffentliche Verkehrsmittel. Zeitwerte für Warte- und Umsteigezeiten fallen demgegenüber niedriger aus als bekannte Referenzwerte. Insgesamt liegen die VoT-Werte der Sharing-Angebote eher an den PW-Vergleichswerten, bei Pendelwegen und Freizeitwegen von Erwerbstätigen sogar darüber. Bei der prozentualen Betrachtung der VoT-Veränderungen erscheinen die Schätzwerte allerdings nicht gänzlich plausibel. Aussagen zum Einfluss des Teilens der Fahrzeuge mit anderen Personen lassen sich ihrer Arbeit nicht entnehmen.

4.4.1.2.6. Nutzungskosten Sharing-Angebote

Von wem und in welchem Umfang Sharing-Angebote zukünftig genutzt werden, hängt in starkem Masse von den Nutzerpreisen der entsprechenden Angebote ab. Dabei scheint Einigkeit zu herrschen, dass On-Demand-Angebote aufgrund des Wegfalls der Fahrerkosten und hoher Auslastungsgrade zu kompetitiven Preisen angeboten werden. So betonen etwa Hörl et al. (2019) in ihrer Literaturanalyse, dass bei allen der von ihnen gesichteten Studien die Preise automatisierter Angebote unter denen herkömmlicher Verkehrsmittel liegen würden. Die Studie enthält umfassende Ausführungen zur Herleitung der zukünftigen Kostenstrukturen automatisierter Angebote, die in weiten Teilen auf Bösch et al. (2018) basieren. Für den städtischen Raum der

Schweiz ermitteln die Autoren für automatisierte Angebote einen Preis von rund 0.41 CHF/Passagierkilometer. Verglichen mit heutigen Taxipreisen von noch 2.73 CHF/km bzw. PW-Vollkosten von rund 0.50 CHF/km ergebe sich damit eine klare Konkurrenzsituation mit dem MIV. Für den lokalen und regionalen ÖV auf der Strasse erachten die Autoren eine Preishalbierung für möglich; für den Fernverkehr werden aufgrund der bestehenden Kostenstrukturen kaum Veränderungen erwartet.

Dass automatisierte Flotten zu kompetitiven Nutzerpreisen angeboten werden könnten, zeigen auch die Arbeiten von Fagnant und Kockelmann (2018). Sie illustrieren anhand von Simulationsrechnungen in Austin, dass ein automatisiertes Ride-Hailing-Angebot zu etwa einem Drittel des momentanen durchschnittlichen Taxi-Preises wirtschaftlich betrieben werden könnte.

Bösch et al. (2018) nehmen umfassende Berechnungen zur Kostenstruktur automatisierter Flottenfahrzeuge vor, auf die in späteren Arbeiten auch für die Schweiz oftmals verwiesen wird (vgl. bspw. Bruns, de Haan et al. 2018; Hörl et al. 2019; Perret et al. 2020). Sie gehen davon aus, dass im urbanen Kontext automatisierte Taxi-Flotten für 0.17 CHF/Pkm angeboten werden könnten und so bezogen auf die vom Nutzenden vor allem wahrgenommenen variablen Kosten des PW kaum Unterschiede beständen. Ausserhalb zentraler, urbaner Bereiche gehen sie davon aus, dass geteilte Sharing-Angebote mit einem Preis von 0.21 CHF/Pkm angeboten werden könnten und so wirtschaftlicher als automatisierte Busse und Züge seien.

Umfassende Kostenrechnungen für die Schweiz finden sich auch bei Sinner und Weidmann (2019). Die Autoren rechnen damit, dass sich bei automatisierten Buslinien eine Senkung der Betriebskosten pro Kilometer um 40–50 % ergeben könnte. Die im Vergleich zu Bösch et al. (2018) leicht höheren Kostensätze führen die Autoren auf die von ihnen angenommenen Kosten eines Busbegleiters, die etwa 20–30 % der Betriebskosten eines automatisierten Busses ausmachen würden. Für Regionalzüge schätzen die Autoren, dass je nach Umlaufeffizienz, Durchschnittsgeschwindigkeit und Gefässgrösse Betriebskosteneinsparungen von 10–25 % erzielt werden könnten. Ähnliche Annahmen zur Kostenentwicklung finden sich auch bei Axhausen et al. (2020), die für die Schweiz mit einer Reduktion der Preise des schienenengebundenen Verkehrs um 20 % sowie des strassengebundenen ÖV um 40 % rechnen.

Die erwartenden tatsächlichen Kosten dürften allerdings nur in gewissen Anteilen auf reale Kostenreduktion durch die Automatisierung zurückzuführen sein und sind zudem sehr stark von der Ausgestaltung der entsprechenden Angebote abhängig. Insbesondere die Ausgestaltung in ländlichen Räumen wird dabei stark von politischen Erwägungen und Entscheidungen zu einer adäquaten Grundversorgung abhängig sein.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Kosten der Nutzung von Sharing-Angeboten aus Sicht der Nutzenden zum grössten Teil variable Kosten darstellen. Hingegen sind die entscheidungsrelevanten variablen Kosten für die Nutzung eines im Haushalt verfügbaren Fahrzeugs tendenziell geringer. Insofern sind nicht nur die Vollkosten, sondern insbesondere auch die Entwicklung der variablen, entscheidungsrelevanten Kosten zu berücksichtigen.

4.4.1.2.7. Verlagerungseffekte

Die Frage, ob Sharing-Angebote einen Baustein für eine nachhaltigere Mobilität darstellen (werden), wird bis heute kontrovers diskutiert (vgl. bspw. Hülsmann et al. 2018; UCSUSA 2020). Analysen der Effekte bestehender Sharing-Angebote können dabei in begrenztem Masse Aufschluss zu den zu erwartenden Implikationen geben. Die Tatsache, dass insbesondere stationsungebundene Sharing-Angebote bisher vorrangig in zentralen städtischen Bereichen bestehen, in denen zumeist ein gutes öffentliches Verkehrsmittelangebot herrscht (vgl. Deutsch 2019), erschwert allerdings Aussagen zur Wirkung auch in anderen räumlichen Situationen und bei einer substantiellen Ausdehnung der Angebote. Hinzu kommt, dass stark habitualisierte Verhaltensmuster, wie auch der PW-Besitz, zumeist erst über grössere Zeiträume hinweg Änderungen aufweisen, sodass eine Abschätzung anhand der teilweise nur über einen kurzen Zeitraum zu verfolgenden empirischen Evidenz mit deutlichen Unsicherheiten behaftet ist.

Analysen von **Car-Sharing**-Nutzenden zeigen auch in Hinsicht auf die Verlagerungseffekte deutliche Unterschiede zwischen stationsbasierten und nicht-stationsbasierten Angeboten. Stationsbasierten Angeboten wird dabei in der Regel ein Beitrag zur Reduzierung der MIV-Nutzung im Alltag und des PW-Besitzes zugeschrieben (vgl. u.a. Haefeli et al. 2006; Loose 2016; Deutsch 2019). Gemäss Loose (2016) lässt sich feststellen, dass Car-Sharing-Nutzende seit ihrer Anmeldung seltener ein Privat-PW nutzen. Seine Erhebungsergebnisse zeigen zudem einen leicht positiven Einfluss auf die ÖV-Nutzung und nur geringe Wirkungen auf die Velo-Nutzung auf. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich bei Haefeli et al. (2006). Sie berichten, dass Probanden, hätten sie keinen Zugang zu Sharing-Angeboten gehabt, gemäss eigener Angaben zu 5.6 % weniger ÖV genutzt hätten, 51.1 % weniger den PW und zu 43.2 % die Kombination aus beiden Verkehrsmitteln.

Auch durch das Free-Floating-Car-Sharing können gemäss Hülsmann et al. (2018) keine Substitutionseffekte zu Lasten des ÖV nachgewiesen werden. Martin und Shaheen (2016) hingegen kommen auf Basis ihrer Auswertungen der Car2Go-Nutzungen in den USA zu dem Schluss, dass das Angebot gleichzeitig als Substitution und Ergänzung von ÖV, v. a. des Busses, diene. Zudem zeige sich durchaus auch eine Substitution von Fusswegen durch Car-Sharing-Fahrten, weniger allerdings von Radfahrten. Einen direkten Wettbewerb sehen sie mit Blick auf die Nutzung von Taxi- und TNC-Angeboten (vgl. auch Clewlow et al. 2017). Auch Lutzenberger

et al. (2018) kommen zu dem Schluss, dass Free-Floating Car-Sharing-Fahrten in der Schweiz vor allem ÖV-Fahrten substituieren. Die aus der Nicht-Anschaffung von PW resultierende Mehrnutzung des ÖV sei in ihrem Umfang deutlich geringer. Im Saldo schätzen sie, dass zwischen 25 und 50 % der Car-Sharing-Fahrten als ÖV-Substitute angesehen werden müssten; dieselbe Spanne nennen sie für Fahrten mit privaten PW an. Aufgrund der deutlichen geringeren Distanzen nehmen sie an, dass jeweils weniger als 5 % der Fahrten des Car-Sharing hingegen Velofahrten und Fusswege substituieren. Die Studie zeigt deutlich, dass attraktive Sharing-Angebote neben tiefen ÖV-Tarifen einen Beitrag für die Attraktivität des ÖV und seiner Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem MIV darstellt.

Lutzenberger et al. (2018) gehen davon aus, dass sich **Ride-Hailing**-Angebote in der Schweiz nur geringfügig Velo- und Fussverkehre substituierend, sondern sich vor allem auf die Taxinutzung niederschlagen würden. Tatsächlich erfolgt gemäss Lavieri und Bhat (2019) die Nutzung von Ride-Hailing-Angeboten in den USA zumeist als Alternative zur Nutzung des Taxis oder des eigenen PW. Auch gemäss Circella et al. (2019) lassen sich Verlagerungseffekte des Ride-Hailings vor allem bei den Taxifahrten erkennen. 36 % der von ihnen Befragten gaben an, herkömmliche Taxen sehr viel weniger zu nutzen. Deutliche Rückgänge lassen sich aber auch bei der Nutzung des ÖV erkennen. Die Substitutionseffekte variieren dabei deutlich in Abhängigkeit von der Entfernung der aufgesuchten Ziele. So zeigen ihre Auswertungen, dass kurze Fahrten mit Ride-Hailing-Angeboten vor allem Fuss- und Velowege substituieren, längere PW-Fahrten.

Substantielle Verlagerungen zu Lasten des Fuss-, Velo- und öffentlichen Verkehrs stellt auch Schaller (2019) auf Basis der Nutzungsdaten von TNC-Angeboten in den USA im Zeitraum 2017 bis Mitte 2018 fest. Gemäss seinen Analysen wären 60 % der von ihm untersuchten Fahrten alternativ mit ÖV, Velo und Fuss zurückgelegt worden. Nur 40 % sind einer Verlagerung von der Nutzung privater PW oder Taxi zuzurechnen. Nicht zuletzt aufgrund des geringen Anteils geteilter Fahrten (20 %) resultiert dies laut seiner Berechnungen in einer Substitution jeder privat gefahrenen Meile durch 2.6 TNC-Meilen.

Gleichzeitig weisen Clewlow et al. (2017) darauf hin, dass bei ihren Auswertungen auf Basis U.S.-amerikanischer Daten nicht nur ein Rückgang der Nutzung öffentlicher Busse um 6 % und von Trams um 3 % zu erkennen sei. Ride-Hailing-Nutzer nutzen diese Dienstleistung auch, um Pendlerzüge zu erreichen, was sich in einem 3 % Zuwachs bei Pendlerzugnutzung niederschlägt.

Interface/EBP 2020 gehen davon aus, dass durch **MaaS-Plattformen** und multimodale Angebote der Organisationsaufwand v.a. für nicht routinierte Fahrten reduziert und damit der ÖV an Attraktivität gewinnen kann, wodurch Verkehre vom MIV auf den ÖV verlagert werden. Der durchschnittliche Zeitgewinn wird auf 5 min pro Fahrt (MIV Nutzende) bzw. 1 min/Fahrt (ÖV-

Nutzende) geschätzt. Dabei wird angenommen, der reduzierte Organisationsaufwand sei äquivalent zu einer Reduktion der Reisezeit und führt damit zu Zeitgewinn.

4.4.1.2.8. Induzierter Verkehr

Die Betrachtung der momentanen Muster der Nutzung von **Car-Sharing- und TNC-Angeboten** kann nicht nur Hinweise auf modale Verlagerungseffekte geben, sondern auch darauf, in welchem Umfang durch die Einführung von Sharing-Angeboten mit induzierten Verkehren gerechnet werden sollte. In der Schweiz können gemäss Haefeli et al. (2006) rund 13.5 % der stationsbasierten Car-Sharing-Fahrten als induziert angesehen werden; bei stationsungebundenen Angeboten sei – unter Hinweis auf die begrenzte empirische Lage - mit einem Anteil von maximal 5 % der Fahrten zu rechnen (Lutzenberger et al. 2018). Bei Ride-Sharing-Angeboten rechnen Lutzenberger et al. (2018) für die Schweiz mit einem schwachen Effekt auf das Verkehrsaufkommen. Haefeli et al. (2006) betonen, dass die Nutzung von Car-Sharing bei über drei Viertel der Privatkunden die zurückgelegten Motorfahrzeugkilometer erhöhe. Diese Erhöhung sei aber eher gering und werde bei Weitem dadurch aufgewogen, dass fast ein Viertel der Privatkunden ohne entsprechende Angebote ein zusätzliches Auto anschaffen würde.

Lavieri und Bhat (2019) sowie Circella et al. (2019) kommen bei ihren Analysen der Nutzung von TNC-Angeboten in den USA zu Grössenordnungen, die den genannten Schätzungen für stationsungebundene Angebote ähneln. So wären gemäss Lavieri und Bhat (2019) etwa 6 % der Ride-Hailing-Fahrten sonst nicht unternommen worden. Circella et al. (2019) folgend sind 7.5 % der berichteten Ride-Hailing und 6.5 % der Shared-Ride-Hailing-Fahrten als induziert einzustufen.

Umfassende Ausführungen zur verkehrsinduzierenden Wirkung **automatisierter** Fahrzeuge in der Schweiz finden sich bei Hörl et al. (2019) – allerdings nicht auf Basis des Wegeaufkommens, sondern auf Basis der Verkehrsleistung. Anhand von Simulationsstudien für die Stadt Zürich ermitteln die Autoren substantielle Verlagerungseffekte vom privaten PW hin zu einer Kombination aus klassischem ÖV und automatisierten Taxiflotten. Keine Automatisierung privater Fahrzeuge vorausgesetzt, erwarten die Autoren Anteile dieses ÖIV an den Personenkilometern von 60 % und ein Absinken der PW-Personenkilometer von heute rund 44 % auf 29 %. Gleichzeitig steigen die Fahrzeugkilometer als Resultat der Verkehrsmittelwahl, aber auch der resultierenden Leerfahrten im Untersuchungsgebiet um 25 % an. Unter Annahme privater automatisierter Fahrzeuge, die auch ohne Führerschein genutzt werden können, zeigt sich hingegen in den Simulationsrechnungen von Hörl et al. (2019) ein Anstieg der Fahrleistung von 40 %. Anhand von Regressionsrechnungen kommen die Autoren zudem zu dem Schluss, dass mit einem induzierten Verkehr von etwa 0.5 % der Personenkilometer zu rechnen sei.

Die Studie zeigt damit gleichzeitig deutlich, dass die anhand von Simulationen ermittelten Wirkungen automatisierter Fahrzeuge, seien es private PW oder verschiedene Ausprägungen von Sharing-Angeboten, in extremem Masse von den Annahmen abhängen, die dabei in den Szenarien hinterlegt werden (siehe dazu bspw. auch die Szenarienrechnungen von Bischoff (2019) oder Fagnant und Kockelmann (2018)). Ein direkter Vergleich publizierter Änderungen mit Blick insbesondere auf Personenkilometer oder Fahrleistungen erscheint daher ohne die umfassende Darstellung der entsprechenden Annahmen nicht zielführend.

Ob und wie stark Sharing-Angebote zukünftig genutzt werden, ist in starkem Masse von der Ausgestaltung entsprechender Angebote abhängig, die sich stark auf die zu erwartenden komplexen Reisezeiten auswirkt.

4.4.1.2.9. Effekte von Angeboten des Velo- und E-Scooter-Sharings

Bestehen auch kritische Einschätzungen zur Verlagerungs- und Umweltwirkung der bisher im Literaturüberblick adressierten Sharing-Systeme, so sind mit der geteilten Nutzung von Velos, aber auch E-Scootern oftmals überdurchschnittlich positive Erwartungen verbunden. Insbesondere Leihvelos wird dabei häufig die Rolle eines «Schlüsselfaktor[s] einer erfolgreichen kombinierten Mobilität» (Forum bikesharing Schweiz 2020) zugeschrieben, der den Zugang zum ÖV erleichtert und somit seine Nutzung fördert. Doch auch von anderen Fahrzeugen – unter ihnen E-Scooter – wird angenommen, dass sie eine flexible, freudvolle und kostengünstige Möglichkeit darstellen, Kurzstreckenfahrten insbesondere vom und zum ÖV zurückzulegen (Shaheen und Chan 2016; Kaufman und Buttenwieser 2018). Vor allem für den intermodalen ÖV-Nutzer werden sie daher als eine Verbesserung des urbanen Mobilitätsangebotes angesehen (vgl. Tack et al. 2019; Milakis et al. 2020). Gleichzeitig wird insbesondere E-Scootern nutzerseitig oftmals Skepsis entgegengebracht, vor allem hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit und ihren Beitrag zur Entlastung der innerstädtischen Verkehrssituation (vgl. bspw. TÜV Rheinland 2020). Wobei ersteres eher dem Effekt der Elektrifizierung zuzuschreiben ist. Grundsätzlich gilt in den folgenden Erläuterungen zu berücksichtigen, dass die Effekte durch Sharing und Elektrifizierung schwierig zu differenzieren sind.

Tatsächlich zeigen die Auswertungen des Forum bikesharing Schweiz (2020) nicht nur, dass E-Bikes in Städten, in denen ihre Verfügbarkeit vergleichbar mit der konventioneller Leihvelos ist, um den Faktor 2 bis 3 häufiger genutzt werden – eine Indikation für eine klare nutzerseitige Präferenz entsprechender Bikes. Analog zu den Überlegungen von Lutzenberger et al. (2018) zeigt sich zudem, dass die durchschnittlichen mit konventionellen Leihvelos zurückgelegten Strecken mit 1.8 km substantiell kürzer sind als mit Leih-E-Bikes (2.2 km) oder gar Hochleistungs-E-Bikes (2.6 km) und Ziele, bei denen Steigungen überwunden werden müssen, fast ausschliesslich mit E-Bikes angefahren werden. Hier ist darauf hinzuweisen, dass die AutorInnen

keine trennscharfe Unterscheidung der Effekte der Automatisierung und Elektrifizierung ausweisen.

Gemäss Lutzenberger et al. (2018) existierten bis 2018 keine umfassenden Studien zur verkehrlichen Wirkung des Velo-Sharings in der Schweiz. Die Autoren schätzen daher auf Basis einer internationalen Literaturstudie, dass zwischen 5 % und 25 % der Fahrten mit Leihvelos¹⁷ Substitutionen von MIV-Fahrten darstellen. Gleichzeitig rechnen die Autoren damit, dass «in mittleren bis grossen Schweizer Städten ein beträchtlicher Anteil der Bike Sharing Fahrten auf Kosten des ÖV zurückzuführen ist» (Lutzenberger et al. 2018: 70) – diesen Anteil beziffern sie gar auf mehr als 2 %. Zu betonen ist die hohe Bandbreite der von den Autoren angegebenen Substitutionseffekte: So schätzen sie den Anteil der Leihvelo-Fahrten, die ÖV-Fahrten, Fusswege oder Fahrten mit privaten Velos substituieren, auf zwischen 20 % und 80 % ein. Nicht quantifiziert sind zudem Effekte, die sich aus der besseren Anbindung an den ÖV und eine Stärkung multi- und intermodalen Verhaltens ergeben.

Neben einem Anteil von rund 20 % der Wege mit Scootern, die den Angaben zu Folge dem Pendeln dienen, sind gemäss der Befragten rund 10 % der Fahrten als «scooter strolls» (6-t bureau de recherche 2019:4), d.h. Fahrten ohne konkreten Zweck und damit als induzierter Verkehr einzustufen, der vor allem von ortsfremden Nutzenden unternommen wird. Betrachtet man die Länge der zurückgelegten Wege, so fällt auf, dass die Scooter-Fahrten im Schnitt deutlich kürzer sind als Wege mit Leihvelos. So beziffert das Forum bikesharing Schweiz (2020) die durchschnittliche Entfernung eines E-Scooter-Weges mit 1.1 km. Tack et al. (2019) geben für die von ihnen analysierten Anbieter in Deutschland zwischen 1.75 und 1.96 km im Schnitt an. Unterschiede in den Nutzungsmustern verschiedener Mikromobilitätsangebote untereinander (E-Scooter sowie Velo), aber auch im Vergleich mit Ride-Hailing-Angeboten zeigt auch McKenzie (2020) anhand von Daten für Washington auf. Auffällig ist auch hier, dass die durchschnittliche Länge der mit den E-Bikes des Anbieters Jump zurückgelegten Wege mit mehr als 4 km deutlich über den Vergleichswerten der vier untersuchten E-Scooter-Anbieter liegen, deren Fahrzeuge im Schnitt für Wege zwischen rund 900 m (Lime) und 2.4 km (Bird) eingesetzt werden.

Insgesamt deuten die Wegelängen darauf hin, dass die Scooter-Fahrten in direkter Konkurrenz zum Fussverkehr und der Velonutzung stehen dürften und vorrangig – nicht zuletzt aufgrund der entsprechenden dortigen Konzentration der Angebote – in innerstädtischen, durch den ÖV gut erschlossenen Bereichen stattfinden (vgl. auch Tack et al. 2019). Hierfür sprechen auch die Ergebnisse einer Befragung von Verleihnutzenden in Paris, bei der gemäss Spiegel Online (2019) nur 8 % der Pariser Befragten angaben, mit dem geliehenen E-Scooter eine Auto- oder Taxifahrt ersetzt zu haben. Gemäss dem 6-t bureau de recherche (2019) sind in Frankreich

¹⁷ Die Autoren deklarieren nicht, ob es sich dabei um E-Bikes oder konventionelle Velos handelt.

generell vor allem Verlagerungseffekte weg vom ÖV und Fussweg zu erkennen, weniger von der Velo-Nutzung.

So stimmt es, dass «die geteilte Mikromobilität [...] eine rund um die Uhr verfügbare Ergänzung der bestehenden Verkehrssysteme im städtischen Raum [bietet]» (Forum bikesharing Schweiz 2020:2); mit Blick auf die Umwelt- und Verlagerungswirkung sollte gleichzeitig stets kritisch hinterfragt werden, wo und in welcher Form entsprechende Angebot eine sinnvolle Ergänzung darstellen und zur Steigerung der Attraktivität der Nutzung von ÖV, Fuss und Velo beitragen können.

4.4.1.3. Herausforderungen/Erkenntnislücken Digitalisierung Personenverkehr

- Zeitkosten stellen einen der wichtigsten Parameter der Zielwahl bei der Modellierung dar, und die hinterlegten Werte haben einen starken Einfluss auf die Modellierungsergebnisse. Die Literaturanalyse zeigt deutlich, dass die antizipierten Änderungen der Bewertung der Reisezeiten im automatisierten PW eine extreme Bandbreite aufweisen (vgl. u.a. Kohli und Willumsen 2016; Singleton 2019). Zudem existieren sehr wenige Studien, welche die Reisezeitbewertung für geteilte Fahrten/Fahrzeuge analysieren. Wenngleich die Anzahl von Stated-Preference-Befragungen steigt, sind die daraus abzuleitenden Schlüsse mit einigen Unsicherheiten behaftet. Neben der generellen Problematik, inwieweit sich die Probanden in solchen Befragungen tatsächlich in ihnen unbekannte Situationen hineinversetzen können (vgl. Axhausen und Sammer 2001; Correia et al. 2019), konzentrieren sich die vorliegenden Erhebungen auf spezifische Teilaspekte. So herrschen beispielsweise hinsichtlich der Bewertung von gepoolten Fahrten, insbesondere beim Teilen der Fahrzeuge mit unbekanntem Personen, deutliche empirische Defizite. Mehrere Modellschätzungen, bei denen versucht wird, den Einfluss des Teilens der Fahrt zu quantifizieren, weisen eher «wacklige» Ergebnisse auf, vielleicht auch, weil die Erfahrung des Teilens einer Fahrt noch nicht weit verbreitet ist.
- Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Veränderung der Reisezeitbewertung für geteilte Fahrten im Vergleich zu ungeteilten Fahrten ist, ob die Fahrt mit Fremden oder bekannten Personen geteilt wird. In der Literatur besteht Uneinigkeit darüber, ob Fahrten in Zukunft v.a. mit bekannten Personen oder bei zunehmender Verbreitung auch vor allem mit Fremden Personen stattfinden. Lavieri und Bhat (2019) zeigen für das bestehende Ride-Pooling-Angebot in den USA, dass nur 2 % der Fahrten mit Fremden geteilt werden und ansonsten mit Familie oder Bekannten.
- Der private Besitz eines PW hat starke Auswirkungen auf die Modalwahl. In der Literatur findet sich ein sehr breiter Wirkungskorridor von Sharing-Angeboten auf den PW-Besitz, bei denen die Substitutionsraten eines Sharing-Fahrzeugs zwischen 1:1.25 und 1:20.3 liegen (vgl.

Deutsch 2019; Loose 2016). Eine Übertragung der bisher zu beobachtenden Substitutionsraten auf zukünftige Situationen mit etwaig deutlich verbesserten Verfügbarkeiten sowie einem etwaigen Einstellungswandel ist mit hohen Unsicherheiten behaftet. Die Tatsache, dass die antizipierten neuen Mobilitätsangebote vor allem in stationsungebundener Form angeboten werden dürften und in diesen Fällen momentan nur eine begrenzte Abschaffung privater PW zu erfolgen scheint (vgl. Hülsmann et al. 2018), spricht für eine konservative Abschätzung der Substitutionsraten. Zu betonen ist zudem, dass sich die publizierten Spannweiten auf Angebote beziehen, die bisher vor allem in städtischen Umgebungen bestehen. Explizite Erkenntnisse hinsichtlich der Substitutionsraten für die Schweiz konnten nicht identifiziert werden, sodass ein Rückgriff auf die in der Literatur zu findenden Angaben für deutsche städtische Gebiete erfolgen müsste.

- Obgleich automatisierten Fahrzeugen und On-Demand-Angeboten oftmals die Erschliessung neuer Nutzergruppen zugeschrieben wird, finden sich ausschliesslich bei Truong et al. (2017) detaillierte Arbeiten zur Herleitung der zusätzlichen Wegeaufkommen. Eine näherungsweise Herleitung der neuen Nutzergruppen kann über die dargelegten Nutzungsmuster bestehender Car-Sharing- und TNC-Angebote und Transportation Network Companies (z.B. Uber oder Lyft) erfolgen, ist aber mit starken Unsicherheiten behaftet.
- Insbesondere mit Blick auf die Umweltwirkung neuer On-Demand- und Sharing-Angebote sind die Fragen nach den Besetzungsgraden und den Leerfahrtenanteilen entsprechender Angebote ausschlaggebend für die Ermittlung der Fahrzeugkilometer und für eine Bewertung der Szenarien. Eine Extrapolation der bisher bei Car-Sharing- und TNC-Angeboten zu beobachtenden Besetzungsgrade ist vor dem Hintergrund der anzunehmenden substanziellen Angebotserweiterungen und der «Normalisierung» der Nutzung entsprechender Angebote mit grossen Unsicherheiten behaftet.
- Die Nutzung von Sharing-Angeboten hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. In den USA liess sich gemäss Circella et al. (2019) feststellen, dass dabei die Nutzung von Ride-Hailing-Angeboten zwischen 2015 und 2018 deutlich höheren Steigerungen unterlag als diejenige von Car- und Bike-Sharing-Angeboten. Dennoch muss festgehalten werden, dass trotz einer Verdopplung der generellen Nutzung und der Nutzungshäufigkeit zwischen 2015 und 2019 die absoluten Anteile am Wegeaufkommen sehr gering sind und eine Extrapolation der momentan zu sehenden Nutzungs- und Verlagerungseffekte von Ride-Sharing und –Pooling-Angeboten erschweren. So gaben 45 % der 2018 von Circella et al. (2019) U.S.-amerikanischen Befragten an, Ride-Hailing noch nie verwendet zu haben.
- Zu den Auswirkungen von Mobilitätsplattformen (Mobility as a Service), welche die multimodale Nutzung von Verkehrsmitteln erlauben, existiert praktisch keine Literatur. Dies hängt damit zusammen, dass es erst wenige Angebote in diesem Bereich gibt. In der Schweiz wurde

kürzlich eine Studie des BAV abgeschlossen (Interface/EBP 2020). In der Schweiz entstehen momentan erste Pilotprojekte. Das gleiche gilt auch für Auswirkungen von geteilten und automatisierten Fahrzeugen/Fahrten.

- Generell gilt, dass die Wirkungsweisen von Automatisierung und Sharing-Angeboten in der Regel räumlich undifferenziert oder auf den städtischen Kontext bezogen abgeschätzt und/oder simuliert werden, eine Übertragung auf andere räumliche Kontexte bzw. eine Differenzierung der modellseitigen Parametrisierung anhand bestehender Literatur also stark erschwert wird. Ähnliches gilt für die Differenzierung hinsichtlich verschiedener Nutzergruppen oder auch Wegezwecke.

Tabelle 8: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken für den Personenverkehr

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. PW)	Wichtigste Quellen	Landes- bezug	Kommentar
Automatisierung (privater PW)				
Value of Time	0 % bis -100 %			
	-80 % bis -100 %	Kohli & Willumsen (2016)	n.a./di-verse	Expertenbefragung
	-25 % bis -95 %	Singleton et al. (2019)	n.a./di-verse	Metastudie von Simulationsstudien
	-41 % (Arbeitswege)	Kolarova et al. (2019)	DE	
	0 % (Freizeit und Einkauf)	Kolarova et al. (2019)	DE	
	-18 % bis -32 % (Pendlerf.)	Zhong et al. (2020)	USA	
Wegeaufkommen (induzierter Verkehr)	0 % bis +30 %			
	+4 % Wegeaufkommen	Truong et al. (2017)	AU	
	+16 % Fzkm	Meyer et al. (2017)*	CH	
	0 % bis +20 % (Pkm, Einkauf)	Ecoplan (2018)*	CH	
	0 % bis +30 % (Pkm, Freizeit)	Ecoplan (2018)*	CH	
Besetzungsgrad	-10 % bis -30 %			
	-30 %	Sessa et al. (2016)	n.a./di-verse	Expertenbefragung
	-10 %	Soteropoulos et al. (2019)	AT	
	-16 %	Truong et al. (2017)	AU	Autoren testen grossen Sensitivitätsbereich
	-15%	Meyer et al. (2017) ^{18*}	CH	

¹⁸ Perret et al. (2017)*, Bruns, Rothenfluh et al. (2018)* verwenden die Resultate von Meyer et al. (2017)*.

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. PW)	Wichtigste Quellen	Landes- bezug	Kommentar
Anschaffungskosten	+4 % bis +20 %			
	+4 %	Bruns et al. (2020)*	CH	
	+20 %	Bösch et al. (2018)*	n.a.	
Betriebskosten	0 % bis -50 %			
	0 % (Unterhalt)	Bösch et al. (2018)*	CH	
	-50 % (Versicherung)	Bösch et al. (2018)*	CH	
	-10 % (Treibstoff)	Bösch et al. (2018)*	n.a.	
	0 %	Huang et al. (2019), Buffat et al. (2018)*, Fagnant und Kockelmann (2015)	US, CH, US	
Kilometerkosten	+4 %	Bösch et al. (2018)* ¹⁹	CH	
Sharing				
Reduktion des privaten PW-Besitz durch die Einführung von Sharing-Angeboten	Ersetzungsraten von 1.3 – 20.3 privaten PW pro stationsgebundenem, konventionellem Sharing-Fahrzeug	Deutsch (2019) für Metastudie; Loose (2016) für optimistischste Werte	DE	
	Ersetzungsraten von 1.25 – 1.25 und 3.6 pro stationsungebundenem, konventionellem Sharing-Fahrzeug	Deutsch (2019) für Metastudie; Mitregger et al. (2020) für optimistischsten Wert	DE	
	Autoabschaffung aufgrund von TNC-Nutzung gemäss 2/3 der Befragten unwahrscheinlich	Circella et al. (2019)	US	
	Bei 91 % der Ride-Hailing-Nutzer keine Veränderung beim PW-Besitz	Clewlow et al. (2017)	US	
	Ersetzungsraten von zwischen 10 und 25 privaten PW pro automatisierten On-Demand-Fahrzeug	Hörl et al. 20(19)* für Literaturübersicht von Simulationsstudien	n.a./diverse	Annahmen zur Ausprägung des Angebotes teilweise unterschiedlich/nicht explizit
Besetzungsgrade	0.8–4.5			
	1.6 bei stationsungebundenem Car-Sharing	BMW et al. (2016)	DE	
	über 50 % der Fahrten mit stationsgebundenen Car-Sharing Mitfahrende, bei 20 % stationsungebunden	Riegler et al. (2016)	DE	
	1.7 und 2.88 Personen bei	Mühlethaler et al.	CH	

¹⁹ Ecoplan (2018) sowie Hörl et al. (2019)* verwenden die Resultate von Bösch et al. (2018).

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. PW)	Wichtigste Quellen	Landes- bezug	Kommentar
	betrieblichen Mitfahrgelegenheiten	(2011)*		
	Anteil gepoolter Fahrten bei TNC 15 – 59 %, davon 2 % mit Fremden	Circella et al. (2019); Schaller (2019); Lavieri und Bhat (2019)	US	
	2.6 Spitzenzeiten, 2.4 Nebenzeiten, 2.3 Nacht für automatisierte Angebote	ITF (2015) ²⁰	PT	
	2.3 (ländlich) – 5.0 (innerhalb Kernstadt) für ÖIV	Bruns, Rothenfluh et al. (2018)*	CH	Autoren stützen sich auf ITF (2016)
	0.8–1.4 Ride-Hailing, 1.9–4.5 Bedarfsverkehr	PTV et al. (2019)	DE	szenarien- und raumabhängig
	1.8–2.4	ITF (2020)	FR	
Leerfahrtenanteil Fzkm	3.4–17 %			
	3.4–17 % an TNC-Fzkm	Martin und Shaheen (2016)	US	
	8 % urban	Fagnant und Kockelman (2014); Hörl et al. (2019)*	US	Hörl et al. (2019) beziehen sich auf Fagnant und Kockelman (2014)
	15 % ländlich	Bösch et al. (2016)*; Hörl et al. (2019)*	CH	Hörl et al. (2019) beziehen sich auf Bösch et al. (2016)
	5 %	Martin und Shaheen (2016), Soteropoulos et al. (2019)	US, AT	Soteropoulos et al. (2019) beziehen sich auf Martin und Shaheen (2016)
Veränderung Wegeaufkommen (induzierter Verkehr)	13.5 % Wege stationsbasiert, 5 % free-floating	Haefeli et al. (2006)*; Lutzenberger et al. (2018)*	CH	
	6–7 % TNC-Fahrten	Lavieri und Bhat (2019); Circella et al. (2019)	US	
	0.5 % Pkm durch automatisierte Sharing-Angebote	Hörl et al. (2019)*	CH	
Verlagerungswirkung		Nicht in Tabellenform verdichtbar. Siehe Abschnitt 4.4.1.2.7 der Literaturdiskussion.		
Nutzungskosten		Dito. Siehe entsprechende Abschnitte der Literaturdiskussion.		
Veränderung des Value of Time				

* Studien für die Schweiz

Fzkm: Fahrzeugkilometer, Pkm: Personenkilometer, TNC: Transportation Network Company

Tabelle INFRAS/DLR.

²⁰ Verwendung auch bei Bösch et al. (2018); Bruns, Rothenfluh et al. (2018); Hörl et al. (2019).

4.4.2. Güterverkehr

4.4.2.1. Automatisierung Güterverkehr

4.4.2.1.1. Platooning

Es wird davon ausgegangen, dass die Einführung automatisierter LW zu einer Senkung der generalisierten Kosten im Strassengüterverkehr führen und seine Attraktivität steigern wird. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Treibstoffeinsparung werden Einsparpotenziale antizipiert, die sich durch das Platooning, also die Vernetzung und Kolonnenfahrt mehrerer Fahrzeuge zu einem virtuellen Gespann, ergeben könnten. Verschiedene Studien gehen davon aus, dass die aerodynamischen Vorteile von geringeren Abständen und eine Verflüssigung des Fahrzeugflusses zu Treibstoffeinsparungen zwischen 2 und 21 % führen könnten (MAN et al. 2019, Tsugawa et al. 2016; Janssen et al. 2015; Bullis 2011). Gleichzeitig wäre es durch die abwechselnde Führung des Gespanns möglich, eine Ausweitung der Lenkzeiten zu erzielen, da die anderen Fahrzeugführenden von der Fahraufgabe entbunden wären (Janssen et al. 2015). Dadurch ergäbe sich Potenzial für einen optimierten Personaleinsatz, aber auch eine Erhöhung der Fahrweiten pro LW ist vorstellbar (Fraedrich et al. 2017).

Auch für die Schweiz wird durch Platooning im Strassengüterverkehr v.a. eine Reduktion von Personal- und Treibstoffkosten erwartet, wobei deren Höhe nicht quantifiziert wurde. Jedoch wird das Potenzial für Platooning in der Schweiz als vergleichsweise gering betrachtet. Jermann et al. (2017) bewerten Platooning mit Auflösung bei Ein- und Ausfahrten und vor Tunnel aufgrund des hohen Vorkommens beider Streckenelemente als wirtschaftlich nicht sinnvoll und nicht praktikabel. Ihrer Berechnung nach könnte nur auf einem Viertel der betrachteten Schweizer Strecken Platooning zum Einsatz kommen. Grösseres Potenzial (drei Viertel) ergäbe sich für eine Version von Platooning ohne Auflösung vor Ein- und Ausfahrten, was jedoch rechtliche und infrastrukturelle Anpassungen notwendig machen würde. Zudem seien ca. 50 % der Strassentransporte mit schweren Güterfahrzeugen im Binnenverkehr kürzer als 19 km.

4.4.2.1.2. Personalkosten Güterverkehr

Personalkosten stellen einen der grossen Kostentreiber im Güterverkehr dar. So machen Fahrerkosten etwa 32 % der Transportkosten bei Sattelzugmaschinen aus (Flämig et al. 2020). Zudem klagt die Güterverkehrsbranche bereits jetzt über einen Fahrermangel, der in den kommenden Jahren zunehmen soll (vgl. u.a. Flämig et al. 2020; Flämig 2015).

Besondere Einsparungspotenziale ergeben sich folglich vor allem dann, wenn der Strassengüterverkehr zumindest auf den langen Strecken komplett fahrerlos vorgenommen werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit Verlassen der Autobahn eine Übernahme der Fahraufgabe von Fahrern erfolgt, die den Transport auf der verbleibenden Strecke überwachen. Flämig et al. (2020) rechnen in diesem Fall mit einer Halbierung der Fahrerkosten, also

der Personalkosten. Folgerichtig sehen mehrere Studien in den Berufskraftfahrern eine von der Automatisierung besonders betroffene Gruppe. Ihr Aufgabenprofil wird sich von einer Konzentration auf die Fahraufgabe ablösen. Wahrscheinlich ist, dass zunächst neue Aufgaben entstehen, die höhere Qualifikationen erfordern (Flämig et al. 2020). Im Falle weitestgehend fahrerloser Fahrzeuge könnte der Beruf des Fahrers jedoch sogar gänzlich verschwinden (Nowak et al. 2016; Flämig 2015; Janssen et al. 2015). In einer Studie für die Schweiz geben Hofer et al. (2018) jedoch zu bedenken, dass auch zukünftig, trotz automatisierter Fahrzeuge, eine Begleitperson im Stückgutverkehr notwendig sein könnte, da ansonsten Be- und Entladeprozesse nicht zeit-, fach- und kostengerecht erfolgen könnten. Umladeroboter seien u.U. aufgrund tiefer Geschwindigkeiten nicht sehr wirtschaftlich zu betreiben.

4.4.2.1.3. Anschaffung und Betrieb von Fahrzeugen

Den Einsparungen bei den Treibstoff- und Personalkosten stehen aber auch Mehrausgaben bei Anschaffung und Betrieb der Fahrzeuge gegenüber. So geht ITF (2017) von einer nicht näher quantifizierten Erhöhung der Betriebskosten aufgrund zusätzlicher Kosten für die IKT-Ausstattung aus. Aufgrund von Skaleneffekten werden diese jedoch langfristig als eher gering eingeschätzt. Auch Janssen et al. (2015) gehen davon aus, dass sich die Kosten der Ausrüstung eines LW mit der notwendigen (Kommunikations-)Technologie für das Platooning von aktuell 10'000 Euro zukünftig auf rund 2'000 Euro verringern werden.

Zusätzliche Betriebskosten von rund 150 Euro pro Jahr und Fahrzeug sind gemäss Janssen et al. (2015) bei der Verwendung eines Service Providers sowie aufgrund kürzerer Abstände für Prüfung und Wartung des Fahrzeugs aufgrund höherer Auslastung zu erwarten. Zudem könnten technische Fahrerschulungen notwendig sein, deren Kosten die Autoren mit 75 Euro jährlich beziffern.

4.4.2.1.4. Auslastung und Leerfahrten

Aktuell ist ein nicht zu unterschätzender Anteil der Fahrten schwerer Nutzfahrzeuge Leerfahrten, die unnötige Kosten für Unternehmen und Gesellschaft erzeugen. Laut dem Weltwirtschaftsforum fahren in den Ländern der Triade 50 % der LW nach einer Auslieferung leer auf dem Rückweg (World Economic Forum 2016). Für die USA wird von einem Anteil von 15–25 % Leerfahrten an allen Fahrten mit schweren Nutzfahrzeugen berichtet (Liu und Zhao 2019). Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Automatisierung von Fahrzeugen und weiterer Infrastruktur unmittelbar zur Vermeidung von Leerfahrten führen wird (Stölzle et al. 2018; Keese et al. 2018).

Flämig et al. (2020) gehen für die Berechnungen zweier Zukunftsszenarien («Automatisierter Gütertransport auf Autobahnen» und «Automatisierter Gütertransport von Lager zu Lager») von denselben Auslastungsgraden wie im Basisszenario ohne Automatisierung aus. Je nach Fahrzeugsegment (Nutzlastklassen) betragen diese 50–100 %. Auch Bruns et al. (2020) gehen in einer Studie für die Schweiz nicht von einer Erhöhung der Auslastung aus.

Aufgrund positiver Effekte automatisierter Fahrfunktionen auf Lenk- und Ruhezeiten ist jedoch mit einer höheren Auslastung von LW innerhalb eines Tages zu rechnen und im Falle von fahrerlosen Fahrzeugen sogar mit einer Verdopplung. Im Ergebnis könnte dies in den USA zu einer Reduktion der Flotte um bis zu 6 % führen (Keese et al. 2018).

Eine höhere Auslastung der Ladekapazitäten könnte sich eher im Zuge der Digitalisierung ergeben. Deloitte (2017) und Stölzle et al. (2018) erwarten, dass durch Ansätze wie dynamische Routenoptimierung und neue Sharing- und Logistikkonzepte die Auslastung von Ladekapazitäten zunehmen wird. Wird vorhandene Ladekapazität besser ausgelastet, sind weniger Fahrzeuge insgesamt notwendig. Auch ohne Automatisierung könnte aufgrund dessen die Nachfrage nach neuen Fahrzeugen weltweit im Zeitraum von 2016 bis 2026 um bis zu 15 % bzw. 480'000 Fahrzeuge geringer ausfallen (Deloitte 2017).

Für das Szenario einer Mobilitäts-Servicewelt gehen Thaller et al. (2019) für die Zukunft von einem Auslastungsgrad von ca. 59 % und einem Leerfahrtenanteil von ca. 22 % für LW mit über 20 t zulässigem Gesamtgewicht auf Bundesautobahnen aus. Der betrachtete Zeithorizont, für den diese Werte gesetzt wurden, umfasst die Jahre 2030 und 2040.

4.4.2.1.5. Gesamtkostensätze Strasse Güterverkehr

Keese et al. (2018) beziffern die aktuellen Kosten für einen amerikanischen LW mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 15 Tonnen auf Autobahnfahrten mit 0.96 US-Dollar/km – ohne Kosten für etwaige Leerfahrten. Für einen fahrerlosen LW, der auf der Autobahn im Platoon zwischen zentralen Hubs verkehrt, schätzen sie die Kosten auf 0.52 US-Dollar/km. Für ein Szenario bei dem elektrisch angetriebene LW fahrerlos und im Platoon auf der Autobahn zwischen zentralen Transfer-Hubs verkehren, berechnen die Autoren Kostenreduktionen für den gesamten Transportweg – von der Quelle zum Ziel über die Hubs – von 22–40 %, je nach Länge und Zusammensetzung der Strecke. Die Einsparungen ergeben sich hauptsächlich durch den Wegfall der Fahrerkosten auf der Autobahn.

Flämig et al. (2020) schätzen für ein ähnliches Szenario das Kostensenkungspotenzial auf 9–23 % bei einer automatisierten Fahrt auf der Autobahn zwischen Transfer-Hubs. Für die letzte Meile halten sie jedoch in Abhängigkeit vom Transportgut sowohl eine Reduktion der Kosten als auch eine Kostensteigerung pro Sendung als möglich.

Deutliche Einsparpotenziale durch den Einsatz automatisierter Fahrzeuge werden auch für den Gütertransport auf der letzten Meile antizipiert. So zeigen Berechnungen von Flämig et al. (2020), dass die Transportgesamtkosten für KEP-Dienstleister durch eine Reduktion der Fahrzeuge, Fahrtenzahl und -kilometer sowie Personalkosten um beinahe drei Viertel sinken könnten, wenn die Auslieferung zu einem Grossteil fahrerlos an mobile Paketstationen erfolgt.

Die gleichen Berechnungen erwarten für die Belieferung des Lebensmitteleinzelhandel durch automatisierte Fahrzeuge zwar mehr Fahrten, dafür aber mit weniger Fahrzeugen und geringerer Fahrleistung, was zu einer Reduktion der Gesamttransportkosten um etwa 37 % in diesem Bereich führen könnte (Flämig et al. 2020).

Janssen et al. (2015) berechnen für ihren Business-Case mit 3 niederländischen Speditionsunternehmen für ein Platooning-Szenario mit 2 LW und 2 Fahrern Einsparungen von 1'300–13'200 Euro pro Jahr und LW und für ein Szenario mit 2 LW und nur einem Fahrer Einsparungen von 2'400–32'300 Euro pro Jahr und LW. Dabei ergeben sich die Einsparungen hauptsächlich aufgrund des reduzierten Kraftstoffverbrauchs und den geringeren Einsatzzeiten der Fahrer.

Nowak et al. (2016) beziffern die aktuellen Betriebskosten für einen durchschnittlichen Fernlastwagen auf 115'600 Euro bei einer Fahrleistung von 140'000 km pro Jahr. Unter Berücksichtigung zusätzlicher Kosten für Automatisierungstechnologie und in Abhängigkeit vom Grad der Automatisierung erachten sie Einsparungen zwischen 17'000–32'400 Euro als realistisch. In einer späteren Studie schätzen Nowak et al. (2018), dass die Transportkosten für den Strassengütertransport in Europa durch die Automatisierung von Fahrzeugen und weiterer Infrastruktur bis 2030 um 47 % sinken könnten. Auch hier ist der Wegfall von Personalkosten der grösste Treiber.

4.4.2.1.6. Logistikstrukturen

Nowak et al. (2016) gehen davon aus, dass die Automatisierung des Strassengüterverkehrs tiefgreifende Auswirkungen auf die **Logistikstrukturen** haben wird, durch die sich auch die Rollen der betroffenen Akteure wandeln werden. Marktteilnehmende werden ihre Rollen teilweise neu definieren müssen, um den Anforderungen einer digitalisierten und automatisierten Logistik gerecht zu werden. So könnte sich beispielsweise die Nutzung grösserer Fahrzeuge und eine verbesserte Auslastung die Zahl der insgesamt genutzten Fahrzeuge verringern und Automobilhersteller dazu anregen, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Auch Hofer et al. (2018) erwarten, dass sich durch den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Güterverkehr und der City-Logistik in der Schweiz innovative Geschäftsmodelle entwickeln. Zugleich könne sich nach Ansicht der Autoren der Trend zu häufigeren Fahrten mit kleineren Fahrzeugen verstärken; Quantifizierungen fehlen jedoch. Kosteneinsparungen werden nicht erwartet. Die Autoren gehen davon,

dass im Stückgutverkehr mit Zustellung an Endkunden auch weiterhin eine Begleitperson für das Be- und Entladen notwendig sein wird. Im Stückgut- und Komplettladungsverkehr Business-to-Business hingegen sehen sie Personalkosteneinsparungen als möglich an, wenn die Be- und Entladung automatisiert oder durch den Empfänger erfolgt.

4.4.2.1.7. Intermodalität und Schiene im Güterverkehr

Als Folge der Senkung der Personalkosten im Strassengüterverkehr rechnen Flämig et al. (2020) mit einer substantiellen Reduktion der nachgefragten Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr in Deutschland. Auch gehen sie davon aus, dass darüber hinaus langfristig Mehrverkehre auf der Strasse zu erwarten sind, die dadurch entstehen, dass Güter über weitere Entfernungen transportiert oder mehr Güter versendet werden. Wird von einer Automatisierung des Strassengüterverkehrs auf der Gesamtstrecke ausgegangen, so könnte dies im Extremfall zu einer Reduktion der Schienenverkehrsleistung auf bis zu einem Drittel führen. Laut Expertenmeinungen aus der Schweiz könnten sich im Güterverkehr auf der Strasse durch den Wegfall der Fahrerkosten Einsparungen von 30–60 % ergeben, was den Strassengüterverkehr kompetitiver zum Schienengüterverkehr machen würde (Del Duce et al. 2012).

Sowohl Flämig (2015) als auch Janssen et al. (2015) erwarten weiterhin eine Reduzierung von Unfällen und, aufgrund der effizienteren Fahrweise und dem daraus resultierenden geringeren Treibstoffverbrauch, nicht nur Einsparungen bei den Treibstoffkosten, sondern im Ergebnis auch geringere Emissionen im Strassengüterverkehr. Den verringerten Emissionen pro LW steht jedoch eine Steigerung der Emissionen insgesamt gegenüber, die aus der Zunahme des Transportes im Strassengüterverkehr zu Lasten von anderen Verkehrsträgern (z.B. dem Schienengüterverkehr) resultieren (Fraedrich et al. 2017).

Weidmann et al. (2017) betrachten verschiedene Innovationen und ihre Implikationen für den **intermodalen** Verkehr in der Schweiz. Gemäss den Autoren ergeben sich durch die Automatisierung von Teilprozessen im Schienenverkehr Potenziale einer Reduktion der Transportzeiten. So könne bspw. mit einer Automatisierung der Bremsprobe eine Transportdauer von ursprünglich 400 min um rund 10 % reduziert und Verkehrsverlagerungspotenziale hin zur Schiene von schätzungsweise rund 5 % erzielt werden, wenn die Bremsprobe neu 15 statt 60 min dauere (Weidmann et al. 2017). Gleichzeitig können Personalkosten gespart werden, und es erhöht sich auch die Servicequalität, da Störungen frühzeitig erkannt werden können.

4.4.2.1.8. Kostensätze Schiene Güterverkehr

Potenziale für Kostenreduktionen im Schienengüterverkehr ergeben sich vor allem durch die Automatisierung der Schienenfahrzeuge selbst, aber auch durch eine Automatisierung des Wa-

renumschlags. Für die Schweiz berichten Weidmann et al. (2017) von einem Kostensenkungspotenzial von 5–10 % im Unbegleiteten Kombinierten Verkehr (UKV), also dem Transport von Ladeeinheiten per Bahn anstelle der Verladung ganzer Transportfahrzeuge. Diese ergeben sich aufgrund von Automatisierungsfunktionen, vor allem im Umschlag und der Zugvorbereitung.

Ein Expertenbericht der Schweizer Bahn hält für die Schweiz einen 10 % geringeren Energieverbrauch bei der Traktionsenergie im Vergleich zum Jahr 2017 für möglich. Die Reduktion ergibt sich hauptsächlich aufgrund einer optimierten Fahrweise und einem energieoptimierten Fahrplan (Smartrail 4.0. 2020).

Bruns et al. (2020) nehmen für die Schweiz bis zum Jahr 2060 hohe Durchdringungsraten für Züge ohne Lokführer an, die je nach Szenario für den Unbegleiteten Kombinierten Verkehr (UKV) von 20–100 % und für den Wagenladungsverkehr (WLV) von 10–70 % reichen und somit zu einer beachtlichen Senkung der Personalkosten führen können.

Weiterhin nehmen Bruns et al. (2020) für die Schweiz im Jahr 2015 (mit Verweis auf die AMG) Kosten je Nettotonnenkilometer (Ntkm) von 0.22 CHF für den WLV und von 0.37 CHF für den UKV an. Für das Jahr 2060 berechnen sie Veränderungen der Gesamtkosten pro Nettotonnenkilometer anhand zwei unterschiedlicher Automatisierungsszenarien. Im Szenario «Automatisierung» auf individueller Ebene steigen die Kosten für den WLV um +3.4 % auf 0.23 CHF/Ntkm. Für den UKV sinken die Kosten marginal um 1.8 % auf 0.36 CHF/Ntkm.

Für das Szenario einer Mobilitäts-Servicewelt kommen Bruns et al. (2020) zu weitaus deutlicheren Veränderungen. Hier sinken die Kosten für den WLV um 34.7 % auf 0.14 CHF/Ntkm und für den UKV um 45.4 % auf 0.20 CHF/Ntkm.

4.4.2.2. Sharing Güterverkehr

Wie im Personenverkehr bereits etabliert, wird davon ausgegangen, dass Sharing-Konzepte unterstützt durch voranschreitende Digitalisierung und Automatisierung auch die Logistik und den Güterverkehr nachhaltig verändern werden. Auswirkungen, die aufgrund der geteilten Nutzung von Fahrzeugen und Ladeflächen erwartet werden, betreffen vor allem die Auslastung von Fahrzeugen und Ladekapazitäten, die Verringerung von Leerfahrten und eine Reduzierung der Kosten, aber auch strukturelle Veränderungen auf dem Logistikmarkt durch neue Geschäftsmodelle, neue Marktakteure und veränderte Besitzverhältnisse (u.a. Deloitte 2016; Deloitte 2017; Gesing 2017; Stölzle et al. 2018; Keese et al. 2018). Trotz weitreichender antizipierter Effekte von Sharing-Konzepten auf den Güterverkehr sind Arbeiten, die sich mit konkreten Auswirkungen befassen und eine Quantifizierung der Effekte wagen, derzeit jedoch noch rar.

4.4.2.2.1. Sharing von Fahrzeugen und Ladekapazitäten

Ein Bericht des Weltwirtschaftsforums geht davon aus, dass bis 2025 ein Anteil von 15 % der Logistikunternehmen auf Plattformen für das Sharing von LW und Ladekapazitäten zurückgreifen wird. Es wird geschätzt, dass die Logistikbranche durch die Nutzung von Sharing und die dadurch erwartete bessere Auslastung der gesamten Transportkapazitäten bis zu 30 Mrd. US-Dollar an Betriebskosten einsparen und zusätzlich ihre Emissionen um bis zu 680 Mio. Tonnen reduzieren könnte (World Economic Forum 2016).

Auch Deloitte (2017) erwartet mit der Weiterentwicklung und Verwendung von Sharing-Konzepten allgemein eine bessere Auslastung vorhandener Transportkapazitäten und weniger Leerfahrten, was zu einem geringeren Bedarf an Fahrzeugen insgesamt führen könnte. In Verbindung mit einer weiteren Marktkonzentration schätzen sie, dass die weltweite Nachfrage nach neuen Fahrzeugen zwischen 2016 und 2026 daher um ca. 2 % bzw. 60'000 Fahrzeuge geringer ausfallen könnte.

Liu und Zhao (2019) modellieren Konsolidierungseffekte für Strassengütertransporte anhand realer Daten eines Speditionsunternehmens in den USA. Für dieses Beispiel zeigen sie, dass durch eine computergestützte, optimierte Frachtverteilung zwischen den Fahrzeugen und optimierte Routen insgesamt 33 % weniger LW notwendig sind und diese auf kürzeren Routen eingesetzt werden können. Angaben zur resultierenden Senkung der Fahrzeugkilometer tätigen die Autoren jedoch nicht. Die Betriebskosten für das Unternehmen können so um rund 23 % gesenkt werden.

Über einfache Sharing-Ansätze für die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen und Ladekapazitäten hinaus gehen sogenannte «Crowd Logistics»-Konzepte, deren Idee es ist, ungenutzte Kapazitäten von privaten Personen im Personenverkehr für den Transport von Gütern insbesondere auf der «letzten Meile» einzubeziehen. Eine Senkung der Kosten im Lieferverkehr erscheint möglich, da das Konzept einen geringeren Bedarf an zusätzlicher, spezifischer Infrastruktur (z.B. Lieferfahrzeugen) sowie Steigerungen der Effizienz und Flexibilität im Transport mit sich bringt (Buldeo Rai et al. 2017). Eine Quantifizierung der Effekte wird nicht vorgenommen.

4.4.2.2.2. Sonstige Sharing-Ansätze

Neben der geteilten Nutzung von Transportkapazitäten gibt es auch Ansätze, die sich mit dem Sharing von Parkflächen befassen. Melo et al. (2019) modellieren in einer Verkehrssimulation die tageszeitabhängige gemeinsame Nutzung von Parkflächen durch Liefer- und Personenverkehr für einen Strassenabschnitt in Porto. Im Ergebnis ergibt sich aus der Simulation eine Reduktion der staubedingten Standzeiten um rund 31 % sowie eine um durchschnittlich 13 % verringerte Fahrtzeit für den Lieferverkehr, trotz der Aufhebung des alleinigen Nutzungsrechts für

die Parkflächen. Auch zeigen die Simulationsergebnisse, dass die Parkflächen effizienter genutzt und stauverursachendes Parken in zweiter Reihe verringert wird.

Auch im Bereich der Lagerung können sich durch Sharing Einsparpotenziale ergeben. Das Weltwirtschaftsforum sieht Potenziale zur Senkung der Logistikkosten in Höhe von 12–15 % für Unternehmen, die Lagerhäuser gemeinschaftlich nutzen. Insgesamt könnte diese effektivere Nutzung von Lagerkapazitäten Unternehmen bis zu 500 Mrd. US-Dollar an Betriebskosten sparen (World Economic Forum 2016).

4.4.2.3. Herausforderungen/Erkenntnislücken Digitalisierung Güterverkehr

- Bislang gibt es vergleichsweise wenig Studien und Untersuchungen im Güterverkehr, die sich explizit den verkehrlichen Wirkungen der Automatisierung widmen. Zumeist werden technische Voraussetzungen des Platooning und die Potenziale der Kraftstoffeinsparungen diskutiert. Insbesondere ökonomische Auswirkungen werden bisher in der Regel nicht adressiert bzw. nicht quantifiziert. Dies betrifft insbesondere zu erzielende Kosten- und Zeitersparnisse im Schienengüterverkehr, in geringerem Masse auch im Strassengüterverkehr. Speziell für das Platooning weisen Studien im Auftrag des ASTRA darauf hin, dass ein nutzenbringender Einsatz von Platooning in der Schweiz kritisch zu beurteilen sei (vgl. Jerman et al. 2017 bzw. Abschnitt 4.4.2.1.1). Gleichwohl betonen Dennisen et al. (2016), dass angesichts des hohen Anteils langlaufender Strassengüterverkehre auf dem schweizerischen (National-)Strassennetz gute Rahmenbedingungen für den Einsatz teilautonomer Strassengüterfahrzeuge vorliegen.
- Deutliche Unsicherheiten bestehen dahingehend, welche Anpassungsreaktionen sich in den Distributionsmustern und insbesondere in der City-Logistik ergeben könnten. Dies umfasst u.a. auch die Frage des Einsatzes verschiedener Fahrzeugtypen sowie die Auslastungsgrade der jeweiligen Fahrzeuge.
- Derzeitig existieren trotz der weitreichenden antizipierten Effekte von Sharing-Konzepten auf den Güterverkehr kaum Arbeiten, die die Wirkungsmuster konkretisieren und die Effekte quantifizieren.

Tabelle 9: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken für den Güterverkehr

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. LW)	Wichtigste Quellen	Landesbezug
Automatisierung			
Leerfahrten Strasse	0 % Keine direkten Auswirkungen	Stölzle et al. (2018); Bruns et al. (2020)*	DE, AT, CH CH
Auslastung Strasse	0 % Keine direkten Auswirkungen	Stölzle et al. (2018); Bruns et al. (2020)*	DE, AT, CH CH
Fahrzeugkosten Strasse	0 % bis -47 % -23 % (Betriebskosten Lkw) -47 % (Betriebskosten Lkw)	Liu und Zhao (2019) Nowak et al. (2018)	US EU
Treibstoffkosten Strasse	-2 % bis -21 % -2 % bis 21 % -2 % bis -13 % -10 % bis -15 % -2 % bis -4 %	Tsugawa et al. (2016) Janssen et al. (2015) Bullis (2011) MAN et al. (2019)	DE, JP, US EU US DE
Personalkosten Strasse	-30 % bis -60 % -30 % bis -60 % -50 %	Del Duce et al. (2012)* Flämig et al (2020)	CH DE
Gesamtkosten Strasse	-9 % bis -75 % -22 % bis -40 % (Platooning, fahrerlos) -9 % bis -23 % (Platooning, fahrerlos) bis -75 % (KEP, letzte Meile) bis -37 % (LEH, letzte Meile)	Keese et al. (2018) Flämig et al. (2020) Flämig et al. (2020) Flämig et al. (2020)	US DE DE DE
Leerfahrten Schiene	Keine quantitativen Angaben		
Auslastung Schiene	Keine quantitativen Angaben		
Personalkosten Schiene	Senkung Fahrerkosten (nicht quantifiziert)	Bruns et al. (2020)*	CH
Gesamtkosten Schiene	+3.4 % bis -45.4 % -5 % bis -10 % (im UKV) +3.4 % bis -34.7 % (im WLV) -1.8 % bis -45.4 % (im UKV)	Weidmann et al. (2017)* Bruns et al. (2020)* Bruns et al. (2020)*	CH CH CH
Sharing			
Auslastung und Leerfahrten	0 % bis -22 %		

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. LW)	Wichtigste Quellen	Landesbezug
Strasse	Zunahme Auslastung/Abnahme Leerfahrten (nicht quantifiziert)	Stölzle et al. (2018)	DE, AT, CH
	Zunahme Auslastung/Abnahme Leerfahrten (nicht quantifiziert)	Deloitte (2017)	Global
	-22 % (Leerfahrten)	Thaller et al. (2019)	DE
Gesamtkosten Strasse	Keine quantitativen Angaben		
Gesamtkosten Schiene	Keine quantitativen Angaben		

* Studien für die Schweiz.

4.4.3. Auswirkung der Automatisierung auf die Infrastruktur

Der nachfolgende Abschnitt fasst die zentralen Ergebnisse der Literaturstudie mit Blick auf die erwarteten Auswirkungen von Automatisierung (und Vernetzung der Fahrzeuge) und weiteren Digitalisierungselementen (wie bspw. flexible Spurzuweisungen) auf die Verkehrsinfrastruktur zusammen. Eine inhaltliche Trennung zwischen Personen- und Güterverkehr ist hierbei aufgrund der gemeinsamen Nutzung der entsprechenden Infrastrukturen weitestgehend nicht sinnvoll. Vielmehr gliedert sich der Abschnitt in die Unterpunkte «Leistungsfähigkeit der Infrastruktur», «Geschwindigkeitsänderungen», sowie «Infrastrukturanpassungen».

4.4.3.1. Leistungsfähigkeit der Strasseninfrastruktur aufgrund Automatisierung der Fahrzeuge

Diverse internationale Studien widmen sich der Frage, welche Implikationen die Einführung automatisierter Fahrzeuge für die Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur haben könnte. Eignigkeit herrscht, dass die zu erwartenden **Kapazitätsanstiege** stark abhängig von den erreichten Penetrationsraten der Automatisierungsfunktionen sowie der betrachteten räumlichen Situation und Durchschnittsgeschwindigkeit sind. Fagnant und Kockelman (2015) schätzen, dass im Falle einer 90-prozentigen Penetrationsrate auf Autobahnen trotz eines voraussichtlichen Anstiegs der Fahrzeugkilometer um 9 % mit einer Kapazitätsverdopplung sowie einer 60-prozentigen **Stauminderung** zu rechnen sei. Für das Hauptstrassennetz, also auch in urbanen Räumen, rechnen sie bei gleichem Flottenmix aufgrund von Abbiege- und Haltevorgängen mit einer Stauabnahme von etwa 15 %. Auch Klausner und Irtenkauf (2013) erzielen in Simulationsrechnungen beinahe eine Verdoppelung der Kapazität durch den flächendeckenden Einsatz von adaptiven Geschwindigkeitsregelanlagen (Adaptive Cruise Control, ACC) auf Autobahnen. Die Literaturanalyse zeigt dabei deutlich, dass die antizipierten Änderungen stark von den, nicht immer klar benannten, Annahmen zu Durchdringungsraten, Fahrzeugfolgeabständen, Anteilen

von Fahrzeugtypen und ggf. vorliegenden separaten Spurführungen abhängen. So weisen bspw. Fitzpatrick et al. (2017) darauf hin, dass in den von ihnen gesichteten Studien die Angaben zur Steigerung der Strassenkapazität durch vernetzte und automatisierte Fahrzeuge zwischen 40–400 % liegen.

Ausführliche Darlegungen des Vorgehens und der hinterlegten Annahmen finden sich bei Friedrich (2015), der bei seinen Berechnungen zu etwas konservativeren Werten als Fagnant und Kockelman (2015) sowie Klausner und Irtenkauf (2013) kommt. Die Ergebnisse seiner Berechnungen liegen dabei gleichzeitig deutlich über den Zuwächsen, die die von Milakis, Snel ders et al. (2017) sowie Kohli und Willumsen (2016) interviewten Experten antizipieren. Friedrich (2015) geht bei seinen Berechnungen von der Existenz einer dezidierten GV-Spur auf Autobahnen aus. Die mit Shladover et al. (2015) korrespondierenden Annahmen zu den Fahrzeugfolgeabständen liegen etwas über den von Janssen et al. (2015) für Platooningfahrten publizierten. Friedrich (2015) rechnet im Falle eines rein automatisierten Verkehrs auf Autobahnen mit einer Kapazitätserhöhung um den Faktor 1.78 (+78 %) und damit mit einer Kapazität eines einzelnen Fahrstreifens von etwa 3'900 PW/h statt heute 2'200 PW/h. Ohne den dezidierten Streifen geht er bei einem Schwerverkehrsanteil von 15 % vom Sinken der Kapazität auf etwa 2'280 PW/h aus (Faktor 1.76, +76 %), für den reinen Strassengüterverkehr sei mit etwa 2'420 LW/h zu rechnen. Für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen geht er im Falle einer Vollautomatisierung von einer Kapazitätserhöhung von etwa 40 % aus, die bei höheren Durchschnitts- und Räumgeschwindigkeiten auch höher ausfallen könne.

Dennisen et al. (2016) sowie Hörl et al. (2019) stützen sich in ihren Studien für die Schweiz auf die Arbeiten von Friedrich (2015). Dennisen et al. (2016) nehmen dabei in ihrem Szenario mit der höchsten Durchdringung der Fahrzeugflotte mit Automatisierungstechnologie (40 % der PW, 80 % der Lkw) von einer Kapazitätzunahme auf Nationalstrassen um rund 34 % aus, im urbanen Raum um 30 %. Für das ländliche Strassennetz erwarten sie, anders als Perret et al. (2020), keine Änderungen. Deren Folgezeitannahmen entsprechen den von Friedrich (2015) angenommenen im Mittel. In ihren ebenfalls für die Schweiz vorgenommenen Wirkungsabschätzungen rechnen sie auf Autobahnen etwas konservativer mit bis zu 30 % Leistungsgewinn, anders als Dennisen et al. (2016) auf Landstrassen mit bis 10–20 %. In ihrer früheren Arbeit kommen Perret et al. (2018) zu vergleichbaren Schlüssen und rechnen für die Schweiz mit bis zu 30 % Kapazitätssteigerungen auf Autobahnen und bis zu 20 % in städtischem Umfeld. Fischer et. (2018) gehen hingegen im städtischen Umfeld von maximal 15 % Kapazitätssteigerung aus und liegen damit am unteren Rand der in der Literatur publizierten Abschätzungen. Axhausen et al. (2020) rechnen mit einem Kapazitätsgewinn von 30 % auf Schweizer Nationalstrassen bei 100 % Durchdringung. Ecoplan (2018) gehen von einer 80-prozentigen Kapazitätserhöhung bei

Vollautomatisierung bei staugefährdeten Strassen aus; eine räumliche Differenzierung wird dabei nicht vorgenommen.

Flämig (2015) konzentriert sich in ihrer Arbeit auf den Güterverkehr und rechnet mit einer Verdopplung der Strasseninfrastrukturkapazität durch effizientere Flächennutzung und gleichmässige Geschwindigkeit von Fahrzeugen im Strassengüterverkehr. Auch Janssen et al. (2015) erwarten im Zuge der Automatisierung eine optimierte Ausnutzung der Strassenflächen und berechnen beispielhaft für ein Platooning-Szenario mit zwei LW eine Reduktion des Flächenverbrauchs um 46 %.

4.4.3.2. Leistungsfähigkeit der Infrastruktur aufgrund Digitalisierung des Verkehrsmanagements

Leistungsfähigkeit der Strasseninfrastruktur

Doch nicht nur durch die Automatisierung des Verkehrs wird zukünftig von einer effizienteren Nutzung der Verkehrsinfrastruktur ausgegangen. Neue, **digitale Technologien** werden zusätzlich zu einer effizienteren Ausnutzung der Strassenfläche, zu einem geringeren Bedarf an Verkehrsinfrastruktur (z.B. Ampeln, Beschilderung, Leitplanken) und flexibleren Nutzungsmöglichkeiten der Verkehrsinfrastruktur (z.B. durch *dynamic reversal lanes*) beitragen und so eine Senkung des Bedarfs an Verkehrsflächen hervorrufen (Stead und Vaddadi 2019). So könnte beispielsweise der Einsatz dynamischer Ampelschaltungen zu Verflüssigung des Verkehrsablaufs beitragen (Pau et al. 2018).

Zhang et al. (2018) zeigen in Feldversuchen in den USA, dass die Ersetzung von Stoppschildern an Kreuzungen («4-way stop signs») durch Virtual Traffic Lights (VTL) zu signifikanten Fahrzeitreduktionen führen. Zhao et al. (2015) zeigen anhand von Simulationsstudien, dass die dynamische Anpassung der Spurenuweisung zu deutlichen Kapazitätssteigerungen an den bei ihnen betrachteten Kreuzungssituationen beitragen und gehen von weiteren Steigerungspotenzialen mit Fortschritten in der V2I-Kommunikation aus.

Leistungsfähigkeit der Schieneninfrastruktur

Auch im **Schieneverkehr** wird erwartet, dass die fortschreitende Automatisierung zu einer Reduktion der Mindestzugfolgezeit führt und damit zu einer Erhöhung der Streckenkapazitäten um bis zu 20 % beitragen wird (Smartrail 4.0 2019b; 2020). Smartrail 4.0 (2020) geht zudem von einer Reduktion der Zugverspätungsminuten um 5 % gegenüber 2017 aus. Inwiefern sich diese Erhöhungen der Leistungsfähigkeit tatsächlich realisieren liessen, ist fraglich. Das Projekt smartrail 4.0 wurde sistiert.

Die Entwicklung der Leistungsfähigkeit hängt u.a. von der ERTMS²¹-Strategie ab. Demnach soll ETCS Level 2 (Baseline 3) bedarfsgerecht eingesetzt werden und deren Ausrollfähigkeit verbessert werden. Wie das zukünftige System aussehen wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab, u.a. auch von der Europäischen Entwicklung. Aktuell wird ETCS Level 3 langfristig angestrebt.

Ergänzende Angaben zu den potenziellen Kapazitätssteigerungen auf der Schiene gemäss smartrail 4.0 (2019) haben wir nicht vorliegen. Das Bundesamt für Verkehr (BAV) geht davon aus, dass die Kapazitäten in den Knoten kritisch sind und nicht massgeblich vom künftigen Zug-sicherungssystem abhängen. Um Grössenordnungen relevanter sind Faktoren wie die Anzahl Perrons, die Türgrösse (Fahrgastwechsel) und die Personenflüsse. Auch die Ausstattung und Funktionsfähigkeit des Rollmaterials (einschliesslich Bremsverhalten) hat einen grossen Einfluss. Es wird angenommen, dass der Einsatz von ATO in besonderen Fällen zu einer Optimierung der Kapazität führen kann, da immer wieder beobachtet wird, dass das Fahrverhalten der Lokführer, besonders bei Güterzügen, eine sehr grosse Streuung aufweist. Die erfolgreiche Umsetzung eines ATO bedingt jedoch grosse Fortschritte bei der Genauigkeit der Fahrzeugodometrie und bei der Qualität der Zuglaufoptimierung.

4.4.3.3. Geschwindigkeitsänderungen

Eng verbunden mit der Kapazität der Infrastruktur sind die zu erwartenden Geschwindigkeiten zur Streckenüberwindung sowie die Stauhäufigkeit. Durch Verbesserung des Verkehrsflusses werden weniger Staus (vgl. u.a. Fagnant und Kockelman 2015; Stölzle et al. 2018) und eine Reduktion der Reisezeiten antizipiert (vgl. u.a. Milakis et al. 2017). Zudem gehen Giuffrè et al. (2012) davon aus, dass der Einsatz intelligenter Parksuchassistenten dazu führt, dass der Verkehrsfluss nicht mehr durch die Parkplatzsuche behindert wird. Tatsächlich muss jedoch festgehalten werden, dass sich in der Literatur kaum Angaben zum erwarteten Umfang der Veränderung der Reisezeiten finden lassen. Auch sind Überführung der publizierten Annahmen zu Kapazitätsänderungen in Reisezeitveränderungen schwierig, da sie nur dann relevant sind, wenn es auf Strassenabschnitten kapazitätsbedingt zu erhöhten Fahrzeiten kommt.

Die Arbeit von Krause et al. (2017) ist ein seltenes Beispiel, bei dem die Kapazitätsänderungen sowie daraus resultierende Reisezeitveränderungen angegeben sind. Die Autoren rechnen bei einer Abstandsverringerng auf 0.5 s (dem Wert von Friedrich 2015) mit einer Kapazitätsänderung von +43 % und einer Reduktion des Gesamtzeitverlustes um 63 % auf deutschen Bun-

²¹ Das European Rail Traffic Management System (ERTMS) besteht aus dem European Train Control System (ETCS) und dem Global System for Mobile communications for Railways (GSM-R).

des Autobahnen. Eine Reduktion eines Gesamtzeitverlusts um 53 % rechnen sie in eine Fahrzeitreduktion im Autobahnnetz für Deutschland von insgesamt 6 % um, sodass für die erste Aussage also die Gesamtzeitreduktion etwas höher liegen müsste.

Krause et al. (2017) rechnen bei einer 100%-igen Durchsetzung hochautomatisierter und vernetzter Fahrzeuge ab dem Jahr 2050 mit einem volkswirtschaftlichen Nutzen von über 700 Mio. Euro pro Jahr in Deutschland (inkl. mikroökonomischer Nutzen). Hierbei handelt es sich um den Zeitgewinn im Personen- und Güterverkehr, welcher mit den Kostensätzen der deutschen Bundesverkehrswegeplanung monetarisiert wurde. Der Personenverkehr umfasst hierbei ausschliesslich den berufsbedingten Verkehr. Der zusätzliche Zeitnutzen durch die (teilweise) Abgabe der Fahraufgabe wird bei der Berechnung des Zusatznutzens nicht berücksichtigt.

Autonome Güterverkehrsfahrzeuge, gekoppelt mit einer weiteren Automatisierung im Bereich von Be- und Entladungsprozessen, könnten darüber hinaus eine zeitliche Verlagerung von Güterverkehrsfahrten ermöglichen und damit die Gleichzeitigkeit von Personen- und Güterverkehrsfahrten verringern (Flämig 2015). Besonders in Städten könnte dies zu einer gleichmässigeren Auslastung der Strassenverkehrsinfrastruktur führen.

Für den **Schiengüterverkehr** antizipiert Smartrail 4.0 (2019) eine Erhöhung der Streckenkapazitäten und eine Verkürzung der Transportzeiten aufgrund durchgehender Trassierungen. Konkrete Angaben zu etwaigen Geschwindigkeitsänderungen finden sich jedoch nicht. Weidmann et al. (2017) gehen in einer Schweizer Studie davon aus, dass die Automatisierung verschiedener Prozesse und Funktionen, wie bspw. eine automatische Kupplung, zu einer Reduktion von Transport- und Umschlagszeiten (-10 %) und damit einer Erhöhung der Geschwindigkeiten auf der Schiene führen wird. Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass aufgrund der gemeinsamen Trassennutzung durch den Personen- und Güterverkehr und den unterschiedlichen Geschwindigkeiten die Potenziale einer Geschwindigkeitserhöhung und damit Fahrzeitreduktion eher gering sind. So werden beispielsweise die Transportzeiten im Güterverkehr dadurch beeinflusst, dass Güterzüge momentan vor einer Passage als Kolonne am Portal des Gotthardbasistunnels warten müssen.

Auch im Bereich des **kombinierten Verkehrs** kann damit gerechnet werden, dass zunehmende Standardisierungen, bzw. im Bereich der Transportbehälter, und Automatisierungstendenzen die Prozesseffizienz verbessern und die Geschwindigkeiten erhöhen. So gehen bspw. Weidmann et al. (2017) davon aus, dass automatische Gates je Anmeldevorgang eines LW im Umschlagterminal eine Zeitersparnis von 10 min erbringen könnten; bezogen auf die Gesamttransportdauer sei der Effekt jedoch als gering einzustufen. Generell muss konstatiert werden, dass die Auswirkung entsprechender Effekte auf die Gesamttransportdauer nur schwerlich abgeschätzt werden kann.

4.4.3.4. Infrastrukturanpassungen

4.4.3.4.1. Ruhender Verkehr

Nicht nur eine effizientere Infrastrukturnutzung, sondern auch geänderte Flächen- und Infrastrukturanforderungen werden antizipiert. Besonders starke Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur werden aufgrund einer etwaigen Abnahme des privaten PW-Besitzes durch die Verfügbarkeit und starke Nutzung von Sharing-Angeboten erwartet. Folgt man den von Loose (2016) aufgezeigten, sicherlich hohen Substitutionsraten privater durch geteilte Fahrzeuge, so lassen sich diese in **Flächeneinsparungspotenziale** für urbane Gebiete überführen, die bei den berichteten Substitutionsraten zu Einsparungen von Parkierungsflächen in Höhe von 84 bis 228 qm pro Sharing-Stellplatz führen könnten. In Simulationsrechnungen für die Stadt Atlanta kommt Zhang (2017) zu dem Ergebnis, dass jedes Sharing-Fahrzeug bis zu 20 Parkplätze im untersuchten urbanen Raum einsparen könnte. ITF (2015) zeigt ebenfalls anhand von Simulationsrechnungen für Lissabon auf, dass sich hinsichtlich der benötigten Stellplätze in verschiedenen Szenarien, die sich hinsichtlich der angenommenen Anteile der Sharing- und Privat-PW sowie des ÖV unterscheiden, Flächeneinsparungen beim strassenseitigen Parken von bis zu 94 % erzielen lassen könnten. In zahlreichen weiteren Studien wird von substantiellen, nicht weiter quantifizierten Einsparpotenzialen ausgegangen (vgl. bspw. Heinrichs 2015; Zakharenko 2016), die sich auch durch das engere Abstellen der verbleibenden Fahrzeuge ergeben könnten und sich vor allem auf die zentralen städtischen Bereiche konzentrieren dürften (Stead und Vaddadi 2019). In ihrer Metaanalyse kommen Milakis et al. (2017) zu dem Ergebnis, dass die berichteten Flächeneinsparungen zwischen 67 % und bis über 90 % der heutigen Parkflächen betragen. Gleichzeitig ist zu beachten, dass der erwarteten Abnahme des Bedarfs an privater Parkraumfläche ein steigender Bedarf an öffentlicher Parkfläche für Car-Sharing-Fahrzeuge entgegenwirkt, sodass der Netto-Effekt stark von der Adaption von Sharing-Angeboten und den Wirkungen auf den privaten PW-Besitz abhängen wird (Ecoplan 2018).

Doch nicht nur absolut, auch in der **räumlichen Verteilung der Stellplätze** sind Änderungen wahrscheinlich (vgl. u.a. Ecoplan 2018). Nicht nur, dass die Fahrzeuge nicht am eigentlichen Zielort abzustellen wären, Sharing-Fahrzeuge könnten ggf. in Bewegung auf ihren nächsten Einsatz warten (Hörl et al. 2019) bzw. an günstig, eventuell auch dezentral gelegenen Mobility-Hubs abgestellt werden (Stead und Vaddadi 2019). Zakharenko (2016: 35) erwartet für den von ihm untersuchten Fall einer typischen amerikanischen Stadt die Herausbildung eines «Parking belt» um die Arbeitszone herum, in der ein Grossteil der Sharing-Fahrzeuge während der Arbeitszeit abgestellt werden. Guerra und Morris (2018) betonen, dass die räumliche Verteilung der notwendigen Stellflächen dabei stark von Parkgebühren, Kosten für Leerfahrten und Ausmass der Nutzung von Sharing-Konzepten abhängig sein wird. Childress et al. (2015) gehen da-

von aus, dass eine bessere Platznutzung und das Parken an günstigeren Stellen zu einer Halbierung der Parkkosten führen könnte. Gloor et al. (2020) warnen, dass der Abbau von innerstädtischen Parkplätzen und die Möglichkeit, Autos autonom in periphere Parkhäuser zu schicken, bis zu 50 % Mehrverkehr in Städten auslösen könnte.

Für den Bereich des **Güterverkehrs** erwarten Fitzpatrick et al. (2017) Veränderungen der Lenk- und Ruhezeiten und daraus resultierend einen geringeren Bedarf an Park- und Rastplätzen für Fahrer.

4.4.3.4.2. Umstiegs- und Umschlagspunkte

Etwaigen Flächengewinnen aufgrund reduzierter Flottengrößen stehen jedoch auch **neue Infrastrukturanforderungen** entgegen. So weisen Stead und Vaddadi (2019: 131) darauf hin, dass «a substantial amount of space» für die Einrichtung geeigneter **Ein- und Ausstiegazonen** für die Passagiere von Sharing-Fahrzeugen notwendig sein wird, die sich vor allem an Verkehrsknotenpunkten sowie wichtigen Zielen wie öffentlichen Einrichtungen und Bürokomplexen konzentrieren dürften. ITF (2020) betont darüber hinaus die Notwendigkeit der Einrichtung von Depots für Flotten-Fahrzeuge, die auf ihren Einsatz warten sowie ggf. für Flächen, auf denen die Nutzenden von Ride-Pooling-Angeboten ihre Fahrzeuge abstellen können. Ecoplan (2018) erwartet, dass die Ausgestaltung von Ein- und Aussteigeflächen und Umsteigeorten zu einem wichtigen städtebaulichen Thema wird, v.a. für Standorte mit hohem Verkehrsaufkommen oder hohem Volumen an Umsteigevorgängen. Hahn et al. (2020) erwarten zudem, dass mittelfristig auch die Ausgestaltung klassischer Bushaltestellen Änderungen unterworfen sein wird. Denkbare Funktionserweiterungen wären beispielsweise eine stärkere Verschränkung mit Dienstleistungs- und KEP-Angeboten. Langfristig seien bauliche Anpassungen an die Erfordernisse autonomer Busse zu erwarten, im ländlichen Raum die Substitution klassischer Haltestellen durch bedarfsorientierte, virtuelle Haltestellen. Insbesondere in Innenstadtlagen erwarten die Autoren auch langfristig eine wichtige Rolle stationärer Haltestellen.

Verschiedene Autoren erwarten, dass sich aufgrund von Digitalisierung und Automatisierung Änderungen in den Logistikketten ergeben werden (vgl. u.a. Nowak et al. 2016; Deloitte 2017; Flämig et al. 2020; Aboulkacem und Combes 2020). Alle der genannten Autoren erwarten, dass die zunehmende Automatisierung der LW tiefgreifende Veränderungen für die gesamte Organisation von Logistikketten haben wird. So wird mit der Nutzung von zunächst Platooning und später autonomen Strassengüterfahrzeugen eine stärkere Verbreitung von Hub-and-Spoke-Systemen und in der Folge von grossen **Distributionszentren** zunehmen (Deloitte 2017). Deloitte (2017) erwartet nicht nur, dass diese näher an urbanen Gebieten liegen werden. Die resultierenden Änderungen in den Touren- und Distributionsmuster würden zudem zu Änderungen im Fahrzeugeinsatz führen (vgl. hierzu ebenfalls Aboulkacem und Combes 2020).

Eine Konzentration des Einsatzes schwerer Nutzfahrzeuge auf längere Strecken zwischen den Distributionszentren (den Hubs), ein Rückgang des Einsatzes mittelschwerer Nutzfahrzeuge sowie der vermehrte Einsatz von leichten Nutzfahrzeugen bei der Güterverteilung innerhalb von städtischen Gebieten seien die Folge. Auch erwarten die Autoren eine weitere Verbreitung alternativer Lieferkonzepte wie Packstationen, In-Car-Delivery, wählbaren Lieferzeiten sowie der Lieferung mit Dronen. Aboulkacem und Combes (2020) weisen darauf hin, dass diese geänderten Fahrtenmuster durchaus auch zu Änderungen in den Losgrößen beim Güterversand führen könnten, wobei der Umfang der Änderungen sowohl stark je nach Güterart und angenommenem Automatisierungsszenario variiert. Insgesamt zeichnet sich der heutige Erkenntnisstand jedoch weitestgehend dadurch aus, dass die Ableitung quantitativer Veränderungen weitestgehend nicht möglich ist.

4.4.3.4.3. Fliessender Verkehr

Ebenfalls diskutiert wird, inwieweit aufgrund der illustrierten Kapazitätssteigerungen eine Reduzierung oder aufgrund verringerter Seitenabstände eine Verengung von Fahrspuren vorgenommen werden kann (vgl. bspw. Heinrichs 2015; Riggs et al. 2020). Riggs et al. (2020) sehen zudem weitreichende Möglichkeiten, durch eine flexiblere Nutzung und die Reallokation von Strassenraum die Nutzung aktiver Modi zu fördern und die städtische Aufenthaltsqualität zu erhöhen.

Für den **Güterverkehr** werden in der Literatur darüber hinaus vor allem zwei Aspekte diskutiert, unter denen Änderungen in der Infrastruktur als Folge der Automatisierung und Digitalisierung erwartet werden: Anpassungsbedarf, der sich durch das Kolonnenfahren ergeben könnte, sowie Anpassungen, die sich eventuell durch geänderte Logistikkonzepte ergeben könnten.

So weisen Flämig et al. (2020) darauf hin, dass für das von ihnen beschriebene Zukunftsszenario, bei dem der Gütertransport auf Autobahnen in Deutschland mit fahrerlosen LW erfolgt, Infrastrukturanpassungen notwendig seien. An Autobahnausfahrten sei die Einrichtung von Aufstellflächen für automatisierte LW notwendig, an denen ein Wechsel zwischen autonomem und manuellem Betrieb des LW vollzogen werden könne. Hofer et al. (2018) hingegen weisen darauf hin, dass es in der Schweiz kaum Bedarf für das Ausscheiden oder Bau von speziellen Zonen für das Bilden und Auflösen von Konvois gäbe.

Auch Fitzpatrick et al. (2017) und Janssen et al. (2015) sehen die derzeitige Infrastruktur teilweise als nicht geeignet für eine erfolgreiche Umsetzung von Platooning. Laut Janssen et al. (2015) seien Autobahnauf- und abfahrten räumlich nicht für einen Zug elektronisch gekoppelter LW ausgelegt, und auch Kreisverkehre und Brücken könnten Hindernisse darstellen. Für

eine Umsetzung von automatisiertem Güterverkehr seien dementsprechende Infrastrukturanpassungen notwendig. Fitzpatrick et al. (2017) verweisen zudem auf Anpassungsnotwendigkeiten bei Kurvenradien und geänderte Anforderungen an Baumaterialien.

Auch gemäss ITF (2018) könnten insbesondere in der Transitionsphase, eventuell aber auch darüber hinaus, neue bzw. eine **angepasste physische Infrastruktur**, wie beispielsweise separate Fahrspuren und angepasste Strassenkreuzungen, notwendig sein. Neben Anpassungen beim Strassenlayout und Baumaterialien wie dem Fahrbahnuntergrund ist gemäss ITF (2017) zudem das Vorhandensein adäquater Markierungen und Beschilderungen notwendig. Auch Lex et al. (2017) betonen, dass Infrastrukturanpassungen wie durchgängige Spurmarkierungen auf Autobahnen oder separate Fahrspuren die Einführung von automatisierten Fahrfunktionen vereinfachen würden. Kostenabschätzungen entsprechender Umbauten enthalten die Arbeiten jedoch nicht.

Im **Schieneverkehr** könnten sich Potenziale zur Kosteneinsparung durch einen geringeren Bedarf an Bahnanlagen und Reduktion derer Komplexität ergeben. Durch die Umsetzung des Smartrail 4.0-Programms könnten beispielsweise bestehende Gleisfreimeldeanlagen von aktuell 33'000 auf 11'500 sowie Zwergsignale von 15'000 auf 1'100 reduziert werden. Durch Zentralisierung von Stellwerken könnten auch diese drastisch in ihrer Anzahl reduziert werden (Smartrail 4.0 2019).

4.4.3.4.4. Anforderungen an eine intelligente Infrastruktur

Neben Anpassungen, die die physische Verkehrsinfrastruktur betreffen, ist auch die Schaffung einer **digitalen Infrastruktur** notwendig, die die notwendigen Kapazitäten bietet, die anfallenden Datenmengen zu verarbeiten. Hier ist die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander (Vehicle to Vehicle, V2V), aber auch die Kommunikation der Fahrzeuge mit der Infrastruktur (Vehicle to Infrastructure, V2I) relevant (Nowak et al. 2016; Fraedrich et al. 2017). Auch Eco-plan (2018) weist darauf hin, dass automatisiertes Fahren neue technische Infrastrukturen, Kommunikationsstandards, strassenseitige Sensorik sowie Steuerungs- und Koordinationsplattformen für Fahrzeugflotten erfordere, deren Kosten jedoch nicht weiter ausgeführt werden. Auch ITF (2017:13) betonen die Bedeutung von digitaler «supporting ICT infrastructure», die die Kommunikation zwischen Infrastruktur und den Fahrzeugen ermöglicht, insbesondere solange die Fahrzeuge nicht tatsächlich ausschliesslich anhand des On-Board-Systems autonom agieren würden. Neben einem adäquat ausgebauten Mobilfunknetz und digitalen Beschilderung sehen sie für den Einsatz fahrerloser Trucks zudem die Einrichtung von Remote-Control-Zentren zur Überwachung und als Sicherheits-Option als wichtige Komponente an. Auch hier finden sich keine Informationen zu antizipierten Kosten.

Jerman et al. (2019) betonen, dass auch neue Angebotsformen einheitliche **Orientierungs- und Signalisationsstandards** erforderlich machen, hinsichtlich derer die heutige Infrastruktur erweitert werden müsse. Beziehen sich die dortigen Ausführungen vor allem auf die Orientierungsmöglichkeit automatisierter Fahrzeuge, so ist gleichzeitig darauf hinzuweisen, dass insbesondere bei Konzepten, die die Nutzung flexibler Haltestellenbereiche vorsehen, auch für die Nutzenden passende Orientierungsangebote verfügbar sein sollten.

4.4.3.5. Herausforderungen/Erkenntnislücken Digitalisierung Infrastruktur

- Vor allem hinsichtlich der langfristigen Potenziale alternativer Flächennutzungen, aber auch bezüglich Anforderungen, die sich für die Auslegung geeigneter Infrastrukturen ergeben, herrscht bisher in der Literatur wenig Einigkeit, und die Arbeiten sind mehrheitlich eher als Diskussionsgrundlage einzuschätzen.

Die generelle geringe Adressierung des Güterverkehrs in der gesichteten Literatur zeigt sich auch deutlich hinsichtlich der zu antizipierenden infrastrukturellen Anforderungen. So konnten bspw. keine Studien identifiziert werden, die konkretere Anforderungen geänderter Distributionsmuster im urbanen Lieferverkehr adressieren (bspw. Ladezonen etc.). Belastbare Aussagen zu antizipierten Infrastrukturkosten liegen bisher so gut wie nicht vor. Im momentan laufenden Forschungsprojekt Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren in Hamburg (TAVF) gehen Grass et al. (2020) von Investitions- und Betriebskosten in Höhe von ca. 400'000 Euro über einen Zeitraum von 15 Jahren aus, um einen Strassenkilometer mit sogenannter R-ITS-S-Funktionalität (Roadsite ITS Station) auszustatten. Die entsprechende Technik dient der Übermittlung von verkehrsrelevanten Informationen zwischen Leitzentrale, Infrastruktur und entsprechenden Fahrzeugen und stellt somit die Voraussetzung für einen automatisierten und vernetzten Verkehrsfluss dar. Die Zusatzkosten einer darüberhin- ausgehenden Prognosefunktionalität beziffern sie mit 140'000 Euro. Ihre dynamische Investitionsrechnung für eine Anwendung auf einem Testring in Hamburg berücksichtigt dabei Anschaffungs-, Betriebs- und Instandhaltungskosten. Eine Ableitung eines pauschalen Kostensatzes auf Basis der geringen vorliegenden Informationen wird von einer Vielzahl an Faktoren erschwert. So sind Ausrüstungsanforderungen nicht nur abhängig von der Komplexität der Verkehrssituation und damit auf Autobahnen gänzlich anders als im urbanen Umfeld. Auch scheint derzeit noch nicht absehbar, welcher Pfad bei der technischen Ausstattung eingeschlagen werden soll, also welche Funktionen von der Verkehrsinfrastruktur im weitesten Sinne und welche von den Fahrzeugen bereitgestellt werden. Und letztlich erschweren die zu erwartenden Skaleneffekte eine überschlägige Kostenschätzung.

- Einige Studien weisen auf die Möglichkeiten von Kapazitätssteigerungen aufgrund eines stärker situativ-angepassten Verkehrsmanagements hin. Die Beiträge sind dabei weitestgehend

als Diskussionsanregungen zu begreifen. Sie weisen in der Regel keine oder auf sehr spezifische Teilsituationen bezogene Quantifizierungsangaben der Effekte auf. Eine Abschätzung flächiger Wirkungen ist daher sehr schwierig. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Isolation des additiven Effekts, der sich zusätzlich zu den bei den berichteten Kapazitätsrechnungen bereits angenommenen Verkehrsflussverbesserung ergeben würde, schwierig sein dürfte.

Tabelle 10: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken hinsichtlich der Verkehrsinfrastruktur

Aspekt	Bandbreite der Wirkung	Wichtigste Quellen	Landesbezug	Kommentar
Leistungsfähigkeit der Infrastruktur				
Strasse: Kapazitätsänderungen generell	Anstieg zwischen 40 % bis 400 %	Metastudie von Fitzpatrick et al. (2017), Ecoplan (2018)*	n.a./ diverse	Annahmen oftmals nicht spezifiziert, teilweise unterschiedliche Annahmen zu Durchdringungsraten
Strasse: Kapazitätsänderungen Autobahn	Anstieg zwischen 30 % bis 100 %	ausführliche Herleitung von Friedrich (2015), Krause et al. (2017), Klausner und Irtenkauf (2013), Dennisen et al. (2016)*, Perret et al. (2018, 2020)*, Axhausen et al. (2020)*	n.a./ diverse	
Strasse: Kapazitätsänderungen Landstrassen/Nationalstrassen	Anstieg zwischen 0 % bis 30 %	Friedrich (2015), Dennisen et al. (2016)*, Perret et al. (2018)*, Axhausen et al. (2020)*	n.a./ diverse	
Strasse: Kapazitätsänderungen Städtisches Umfeld	Anstieg zwischen 15 % bis 30 %	Friedrich (2015), Dennisen et al. (2016)*, Fischer et al. (2018)*, Perret et al. (2018)*	n.a./ diverse	
Schiene: Kapazitätsänderungen	Anstieg um 20 %	Smartrail 4.0 (2019b, 2020)*	CH	
Geschwindigkeiten				
Strasse: Geschwindigkeitsänderungen generell	Reduktion um 6 % der Fahrtzeit	Krause et al. (2017)	DE	Umrechnung Kapazitätsänderung in Reisezeit, Wert für Autobahnen

Aspekt	Bandbreite der Wirkung	Wichtigste Quellen	Landesbezug	Kommentar
Schiene: Geschwindigkeitsänderungen Güterverkehr	Reduktion um 10 % der Transport- und Umschlagszeiten durch Prozessautomation	Weidmann et al. (2017)*	CH	
Kombinierter Verkehr: Geschwindigkeitsänderung	Reduktion von 10 min je Anmeldevorgang am Gate	Weidmann et al. (2017)*	CH	proz. Effekt gering durch automatisiertes Gate
Infrastrukturanpassungen				
PV Flächenwirkung: ruhender Verkehr	Reduktion von 67–94 % der Parkplatzstellflächen im Strassenraum	Metastudie von Milakis et al. (2017), ITF (2015)	n.a./diverse; PT	Resultate dürften nur für den urbanen Raum gelten
GV Flächenwirkung: ruhender Verkehr	Reduktion der Flächen für Park- und Rastplätze; keine quantitativen Angaben verfügbar	Fitzpatrick et al. (2017)	n.a.	
PV Infrastrukturanpassungen: Umstieg/Umschlag	Flächenbedarf für Ein- und Ausstiegsszonen; keine quantitativen Angaben verfügbar	Metastudie von Stead und Vadaddi (2019), ITF (2020), Ecoplan (2018)*	diverse; FR, CH	
GV Infrastrukturanpassungen: Umstieg/Umschlag	Entstehung grosser Distributionszentren (Hubs) in der Nähe von urbanen Gebieten; keine quantitativen Angaben verfügbar	Deloitte (2017), Aboulkacem und Combes (2020)	diverse; FR	
Kosten für Infrastrukturanpassungen (Ausbau neuer intelligenter Infrastruktur)	Keine quantitativen Angaben verfügbar			

*: Studien für die Schweiz.

Tabelle INFRAS/DLR.

4.4.4. Räumliche Wirkungen

In diesem Kapitel werden mögliche Auswirkungen des veränderten Mobilitätsverhaltens durch die Digitalisierung des Verkehrs auf die Raumnutzung – in Städten wie im Umland – vorgestellt. Hierfür werden zunächst wahrscheinliche Änderungen der Siedlungsmuster, ihrer Nutzung und damit einhergehend des Verkehrsaufkommens besprochen (4.4.4.1), danach die Auswirkungen der Einführung automatisierter und geteilter Angebote auf lokale Verkehrsinfrastrukturen (4.4.4.2).

4.4.4.1. Veränderung der Erreichbarkeiten und räumlicher Verflechtungsmuster

Für eine Bestimmung der Nutzung und Auswirkungen eines umfänglichen, zukünftigen Angebotes muss auf Prognoseinstrumente wie Simulationsmodelle zurückgegriffen werden. Viele der vorhandenen Simulationsstudien gehen von sehr vereinfachten Annahmen zur Nutzung aus, z.B. indem ein gewähltes Verkehrsmittel durch ein automatisiertes, ggf. auch geteilt genutztes, Angebot ersetzt wird. Studien, die eine Änderung im Verhalten der NutzerInnen in Abhängigkeit von Verfügbarkeit, Kosten, und Reisezeiten neuer Angebote sowie den persönlichen Einstellungen der NutzerInnen abbilden, sind in der Literatur kaum vorhanden. Dies gilt insbesondere für die Einführung von Sharing-Angeboten. Bis auf wenige Ausnahmen muss für eine Abschätzung der (räumlichen) Auswirkungen automatisierter und/oder geteilten Angebote oftmals auf die aktuellen qualitativen Betrachtungen (siehe z.B. Engelke et al. 2019) und Projektionen zurückgegriffen werden.

Auswirkungen der Änderungen von Erreichbarkeiten auf Verflechtungsmuster

Im Hinblick auf die räumlichen Auswirkungen sind insbesondere Veränderungen in der Reisezeitwahrnehmung (VoT, vgl. Kapitel 4.4.1.2.5) von Belang. Nehmen die Möglichkeiten zu, die Fahrzeit aktiv für berufliche oder private Aktivitäten oder für die Erholung zu nutzen, dann nimmt der VoT ab und es werden längere Fahrten in Kauf genommen, was ggf. zu einer Zersiedelung und damit zu einer höheren Fahrleistung führen kann.

In diesem Zusammenhang, insbesondere in Bezug auf die Schweiz, ist die Studie zu Änderungen in Erreichbarkeiten von Meyer et al. (2017) hervorzuheben. In der genannten Studie werden drei Szenarien unterschieden: in Szenario 1 («automatisiert ausserstädtisch») sind automatisierte Fahrten nur ausserhalb von Städten erlaubt, weswegen ein Führerausweis weiterhin vorausgesetzt wird. In Szenario 2 («automatisierte Fahren überall») ist automatisiertes Fahren überall erlaubt, findet aber ausschliesslich mit privaten Fahrzeugen statt, in Szenario 3 («automatisiertes Sharing») sind überall automatisierte, geteilt genutzte Fahrzeuge vorhanden. Sowohl in Szenario 2 als auch in Szenario 3 werden dabei neue Nutzergruppen erschlossen, die bis dahin nicht individuell motorisiert unterwegs sein konnten, hauptsächlich Kinder, Jugendliche und Ältere. Dadurch steigt die Anzahl der Fahrten, um 16 % in Szenario 2 «automatisiertes Fahren überall», in Szenario 3 «automatisiertes Sharing» werden alle ÖV-Fahrten durch das neue Angebot substituiert. Die Szenarien unterscheiden zwischen optimistischen (+40 % innerstädtisch und +270 % ausserstädtisch) und konservativen (+40 % innerstädtisch und +80 % ausserstädtisch) Steigerungen der Strassenkapazitäten durch automatisierte Fahrzeuge. Die Ergebnisse des ersten Szenarios zeigen eine durchgehende Erhöhung der Erreichbarkeit, um 10 % bei konservativen und 14 % bei optimistischen Annahmen, hervorgerufen durch ein gleichbleiben-

des Verkehrsaufkommen und eine durch Automatisierung erhöhte Strassenkapazität. Diese Erhöhungen der Erreichbarkeit finden sich hauptsächlich in suburbanen Gebieten, während alpine Regionen kaum Steigerungen zeigen. Szenarien 2 «automatisiertes Fahren überall» und 3 «automatisiertes Sharing» zeigen beide, dass die zusätzliche Nachfrage in urbanen Gebieten die zusätzliche Kapazität übersteigt (siehe auch Gloor et al. 2020), wodurch Erreichbarkeiten reduziert werden. Insbesondere suburbane Gebiete profitieren, die Erreichbarkeiten in ländlichen Regionen ändern sich kaum. Die von Zmud et al. (2017) durchgeführte Untersuchung berichtet über die Selbsteinschätzungen zur Nutzung automatisierter Angebote. Hiernach gehen 25 % der Befragten von einer Erhöhung der Wegelängen aus, 66 % gehen von keinen Veränderungen aus.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch die Studie von Bruns et al. (2020). Mithilfe von Bayesischen Netzen, die die Interaktionen zwischen den Themen Personenverkehr, Wohnflächen, Arbeitsflächen und Güterverkehr für Kernstädte, Agglomerationsgemeinden und ländliche Gemeinden abbilden, werden auch hier drei Szenarien für die Schweiz gerechnet. In Szenario 1 wird die verfügbare PW-Flotte auf 90 % reduziert, in Szenario 2 auf 85 % und in Szenario 3 auf 40 %. Die Reduktion der PW-Flotte in Szenario 1 «Evolution» wird durch Automatisierung sowie durch Car-Sharing (10 % der PW-Flotte) kompensiert. In Szenario 2 «Revolution individuell» werden zusätzlich Robotaxis eingeführt (40 % der Taxiflotte), die Feinverteilung erfolgt über automatisierte Fahrzeuge. Im dritten Szenario «Revolution kollektiv» bestehen 100 % der Taxiflotte aus Robotaxis, zusätzlich werden der ÖV, sowie das Bike- und Car-Sharing gestärkt. Der Güterverkehr findet unter Nutzung eines unterirdischen Hauptlaufs mit einem Feinverteilungssystem sowie mit Drohnen und Volocoptern statt. Die errechnete Verkehrsleistung nimmt auch hier hauptsächlich innerhalb der Kernstädte zu (S1: +31 %, S2: +29 %, S3: +50 %), in Agglomerationsgemeinden wie in ländlichen Gemeinden unterproportional zu der Einwohnerentwicklung. Wie schon bei Meyer et al. (2017) profitieren hauptsächlich Agglomerationsgemeinden und ländliche Gemeinden von dieser Entwicklung in Form von höherer Erreichbarkeit. Der Auszug aus Städten wird jedoch unter anderem durch die innerhalb der Kernstädte geringeren Kosten gebremst. So weisen die Kernstädte insgesamt höhere prozentuelle Steigerungen der Einwohnerzahlen auf als die anderen beiden betrachteten Raumtypen.

Der Auszug aus den Städten wird auch von Del Duce, Trachsel, und Hoerler (2020) in Frage gestellt. Gemäss ihrer Studie eignen sich Arbeitswege in einem privaten, automatisierten PW nicht für eine aktive Zeitnutzung, weil sie zu kurz sind. Zudem zeigt die im Rahmen der genannten Studie erstellte Literaturrecherche, dass zwischen 13 % und 75 % der Verkehrsteilnehmer beim Lesen oder Filmeschauen im Fahrzeug unter Reiseübelkeit leiden. Einem Wegzug aus der Stadt stehen auch «soziale Aspekte wie die Nähe zur Familie, zu Bekannten oder generell zum

Heimatort einen grossen Einfluss» (ebd.) hemmend entgegen. Zudem wird der Kauf eines privaten automatisierten Fahrzeugs aufgrund des Preises nicht für alle Haushalte möglich sein, was die Nutzung der billigeren, geteilt genutzten Angebote und somit die Urbanisierung weiter fördert. Längere Reiseweiten werden von Del Duce, Trachsel, und Hoerler (2020) lediglich für Freizeitwege in periphere Gegenden vorausgesagt.

Auswirkungen auf die Stadt

Der aktuelle Stand der Forschung geht davon aus, dass automatisierte Fahrzeuge zunächst nur in neuen, relativ frei bebauten und leicht um die notwendige Infrastruktur erweiterbaren Gebieten erlaubt sein werden. Dicht bebaute, historische Innenstädte werden zunächst aufgrund der Komplexität der Strassenführung und der damit zusammenhängenden schlechten Übersicht nicht für automatisierte Fahrzeuge freigegeben werden (Mitteregger et al. 2020). Da vorhandene Angebote Einfluss auf die Nutzung der Räume und damit auf die Mobilität haben, ist davon auszugehen, dass suburbane Gebiete durch die Möglichkeit der Nutzung automatisierter Fahrzeuge und die damit einhergehenden antizipierten Reisezeitreduktionen an Attraktivität gewinnen (Fraedrich et al. 2015, Oehry et al. 2020b, Heinrichs 2015, Ecoplan 2018, Perret et al. 2020). Dies gilt auch für ländliche Regionen ausserhalb der Agglomerationszentren. Eine solche Entwicklung würde Zersiedelung und damit längere Wege und u.U. ein grösseres Verkehrsaufkommen fördern. Gloor et al. (2020) gehen davon aus, dass durch automatisierte PWs im Privatbesitz auch Pendlerbewegungen zunehmen und zu einer Überlastung der entsprechenden Verkehrswege führen werden, dies ist aber ggf. zu relativieren, da langfristig Digitalisierung zum verstärkten Arbeiten vor Ort führen dürfte.

Diese Entwicklung dürfte auch für Produktion und Handel gelten, die aufgrund der geringeren Flächen- und Transportkosten aus den Städten in das Umland ziehen (VDV 2015, Mitteregger et al. 2020). Eine solche Entwicklung könnte zur Folge haben, dass insbesondere kleinere Zentren die von Besuchern gewünschte «Angebotsbreite und -tiefe, mangels Atmosphäre und Vielfalt» wie auch «Atmosphäre, Urbanität oder Events und Festivals» nicht mehr bieten könnten und somit gegenüber ausserhalb der Stadt platzierten, grossen Zentren, die verschiedene Angebote vereinen und Möglichkeiten zur Durchführung grosser Events besitzen, an Attraktivität verlieren würden (Stepper 2014, Manke et al. 2015). Hiervon sind hauptsächlich Einkaufszentren in kleinen und mittelgrossen Gemeinden betroffen. Diese Entwicklung ist bereits jetzt zu beobachten, verstärkt durch die Zunahme des Online-Handels (Günthner 2017). Diese Problematik wird durch Städte bereits behandelt, so findet sie Eingang in die Fortschreibung des Berliner Stadtentwicklungsplans (Birner et al. 2017, Hasse et al. 2017).

Dies ist jedoch nur ein denkbare Szenario. Andere Annahmen über langfristige Entwicklungen gehen zwar ebenfalls von der beschriebenen Stärkung der Nutzung privater autonomer

Angebote in den Stadtrandbereichen aus, gleichzeitig sollen aber die Innenstädte gestärkt werden (Daimler Benz 2015, Gloor et al. 2020). Durch die Reduktion oder das Entfernen individueller motorisierter Mobilität in den Innenstädten und dem damit verbundenen Gewinn an Fläche könnte die Aufenthalts- und Lebensqualität in den Innenstädten durch Umgestaltungen und Umwidmungen erhöht werden. Um weiterhin eine motorisierte Mobilität anzubieten, könnten Strassen zu Shared-Spaces umgewidmet werden, die von aktiven Modi und neuen, lokalen ÖV-Konzepten geteilt genutzt werden. Der ÖV würde innerhalb solcher Gebiete hauptsächlich die Rolle des Zubringers auf der ersten/letzten Meile zu Massentransportmitteln spielen, ebenfalls mithilfe autonomer Fahrzeuge und könnte so «zu einer Zunahme der Bevölkerungszahl in städtischen Gebieten und damit tendenziell zu einer Begünstigung von Urbanisierungsprozessen» (Mitteregger et al. 2020) führen. Hierdurch könnte eine hohe Nutzungsdichte und Angebotsvielfalt erreicht werden, die zusammen mit der «Verfügbarkeit von Humankapital, Infrastruktur sowie Forward- und Backward-Linkages (Beziehungen entlang der Wertschöpfungskette) vor Ort» (Böheim et al. 2018) zu einer Stärkung der Innenstädte führen könnte (Stepper 2014, Mitteregger et al. 2020). Laut Bundesinstitut für Bau-/Stadt- und Raumforschung (BBSR) sind hier jedoch «attraktive Freiräume und trotz der höheren Lärmgrenzwerte auch die Schaffung ruhiger Inseln» eine Voraussetzung (Günthner 2017). Ebenfalls zu bedenken ist, dass Fuss- und Veloverkehr nicht verdrängt werden sollten (Fraedrich et al. 2017). Eine Möglichkeit wäre, die Geschwindigkeit der automatisierten Nahraum-Angebote zu beschränken.

Die Untersuchungen von Zhang (2017) dagegen sehen eine Stärkung der Innenstädte durch die Einführung geteilt nutzbarer Mobilitätsangebote. Neben einem Zuzug von Haushalten mit hohem Einkommen in das Stadtzentrum werden entlang der Hauptverkehrsstrassen auch Handel und Gewerbe verdichtet. Zu bemerken ist jedoch, dass diese Untersuchungen sich auf den urbanen Raum beschränken; Interaktionen mit dem Umland werden nicht abgebildet.

Zusammenfassung

Schweizer und internationale Studien kommen zum gleichen Fazit: Durch die raschere Einführung automatisierter Angebote profitieren zunächst Stadtrandgebiete sowie suburbane und ländliche Gebiete. Der Wegzug insbesondere der Teile der Bevölkerung mit hohem Einkommen aus der Stadt wird gefördert. Auch wenn viele Tätigkeiten von zu Hause aus erledigt werden können, steigt die Anzahl von Pendlerwegen und deren Weiten. Gleichzeitig sinkt die Attraktivität der Innenstädte, was den Auszug zunehmend fördert. Durch die Einführung geteilt genutzter Angebote, eine Stärkung von Fahrrad- und Fussverkehr sowie eine Reduktion der Wege und ihrer Weiten kann dieser Tendenz entgegengewirkt werden. Die so erhaltene Reduktion der Anzahl Fahrzeuge kann für die Umwidmung von Verkehrsflächen zur Schaffung lebenswerter Räume genutzt werden, was den Auszug stoppt. Internationale Studien zeigen zudem auf, dass

auch der Wegzug von Handel und Gewerbe aus der Stadt durch die Automatisierung gefördert wird.

4.4.4.2. Veränderungen der Verkehrsinfrastrukturen

Infrastruktur für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge

In Europa, hauptsächlich aufgrund von Wetterereignissen, die die Sicht der Fahrzeugsensoren trüben bzw. das Umfeld schwerer zu interpretieren gestalten, wird zunehmend davon ausgegangen, dass eine Einführung autonomer Fahrzeuge nur zu erreichen ist, wenn die Verkehrsinfrastruktur entsprechend erweitert wird (VDA 2019). Hierzu gehören insbesondere neue Kommunikationskanäle, die einen Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur realisieren (siehe z.B. Protzmann et al. 2018). Mittels dieser V2X (vehicle-to-X, also zu allem)-Kommunikation können z.B. Daten über den aktuellen und kurzfristig zukünftigen Zustand der angefahrenen Lichtsignalanlagen (LSA), andere Verkehrsteilnehmer oder über den Strassenverlauf und die Spurführung übermittelt werden. Dabei müssen zeitabhängige Daten – wie über den aktuellen Zustand der nächsten LSA oder über andere Verkehrsteilnehmer – naturgemäss wiederholt berechnet und den Fahrzeugen mitgeteilt werden. Es wird aber zunehmend davon ausgegangen, dass auch statische Informationen aufgrund ihrer grossen Datenmenge übertragen werden müssen. Hochgenaue Karten (Richter und Köster 2014) – wie aktuell in der Forschung zum automatisierten Fahren gefordert – werden durch eine Datenmenge beschrieben, die nicht dauerhaft für ein grosses Gebiet wie z.B. ein Land im Fahrzeug gehalten werden kann (ebd.). Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen zielt auch jenseits der Automatisierung auf eine Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Strassenkapazitäten, z.B. durch Platooning oder eine an die Schaltung der LSA angepasste Fahrweise. Eine aktuelle Fragestellung ist die nach dem zu wählenden Kommunikationskanal. Während seit den 1990er Jahren innerhalb der EU an dem an den WLAN-Standard IEEE 802.11p aufbauenden Standard ETSI-ITS-G5 gearbeitet worden ist, setzt sich nun zunehmend die Idee der Übermittlung von Daten mittels des – ohnehin im Aufbau befindlichen – 5G-Netzes durch (VDA 2019). Für politische Entscheider stellt sich hier die Frage, ob die privat finanzierte, fahrzeugbasierte WLAN-Lösung oder die Unterstützung der Implementierung des 5G-Netzes vorangetrieben werden sollte.

Verkehrssysteme der Zukunft

Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Einführung automatisierter Angebote zu einer Effizienzsteigerung des Verkehrsflusses führt (vgl. Kapitel 4.4.3), wodurch, wenn kein induzierter Verkehr angenommen wird, Verkehrsfläche neuen Nutzungen zugeführt werden kann (Stead, Vaddadi 2019). Insbesondere für Fahrten im Mischverkehr wird die Effizienzsteigerung auch hinterfragt (Fraedrich et al. 2017). Falls Effizienzsteigerungen resultieren, haben diese aber

nicht nur positive Auswirkungen. Neben dem Potenzial, zusätzlichen Verkehr zu induzieren (siehe z.B. Fraedrich et al. 2017), dürften dichter befahrene Strassen neue Fragestellungen aufwerfen, wie z.B. die nach Quermöglichkeiten bei hohen Fahrzeugdichten mit geringen Abständen (Heinrichs 2015). Die ohnehin knappen Grünzeiten für Fussgänger dürften zu regelmässigen Störungen im innerstädtischen Verkehr führen. Auch wenn angenommen wird, automatisierte Fahrzeuge würden andere Verkehrsteilnehmer selbst erkennen und mit ihnen interagieren können, wird zunehmend an einer Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer gearbeitet (Sewalkar und Seitz 2019, RealLabHH 2020) – beim Verlassen des Hauses wäre dann stets ein Kommunikationsgerät mitzunehmen. Eine kostenintensive Lösung ist das Ausweichen auf eine andere räumliche Ebene, z.B. in Form von Fussgängerüberführungen oder das Auslagern des motorisierten Verkehrs in den Untergrund (siehe z.B. Gloor et al. 2020). Die Schaffung neuer, nur von automatisierten Fahrzeugen genutzter Strasseninfrastrukturen parallel zum vorhandenen Strassennetz erscheint aufgrund der bereits heute hohen Strassendichte als unwahrscheinlich (Bruns et al. 2018).

Reduktion des Flächenverbrauchs

Geteilt genutzten Fahrzeugen wird das Potenzial zugesprochen, den Fahrzeugbestand zu reduzieren (Zhang 2017, vgl. auch Kapitel 4.4.1.2.1). Zusätzliche Einsparpotenziale ergeben sich aus der Tatsache, dass diese Fahrzeuge ständig in Bewegung sind (Heinrichs 2015), Halte hauptsächlich zum Aufladen und zur Reinigung sowie in der Nacht notwendig wären und diese ggf. in das Stadtrandgebiet verlagert werden könnten. Automatisierten Fahrzeugen im Privatbesitz wird lediglich eine Reduktion der notwendigen Flotte um 10 % zugesprochen (Mitteregger et al. 2020). Bereits jetzt gibt es automatisierte Parkhäuser, die an der Einfahrt abgestellte Fahrzeuge mittels Paletten oder Parkrobotern zu ihrem Abstellplatz und später zurück zum Fahrer bringen. An der Integration automatisierter Fahrzeuge wird geforscht. Nach Heinrichs (2015) können Parkroboter 60 % mehr Parkplätze auf gleicher Fläche realisieren (siehe auch Gloor et al. 2020). Das Entfernen parkender Fahrzeuge aus dem Stadtbild steigert die – durch Digitalisierung gefährdete – Attraktivität urbaner Räume (vgl. Kapitel 4.4.4.1). Nicht nur wird so die Stadt selbst wieder sichtbar, die nun verfügbaren Flächen können wie nachfolgend erörtert für andere Aktivitäten genutzt werden.

Der frei gewordene Strassenraum wird aber allerdings nicht vollständig dem motorisierten Verkehr entzogen werden können. Insbesondere bedarfsgerechte ÖV-Angebote versprechen, die Nutzer «vor der Haustür» abzuholen. Wahrscheinlicher erscheinen Parkbuchten, die in kleineren Abständen als heutige ÖV-Haltestellen verortet sind. Auch der automatisierte Lieferverkehr wird Ladezonen beanspruchen. Dies macht eine neue Aufteilung der Verkehrsflächen notwendig, wobei zudem auf eine konfliktfreie Nutzung mit aktiven Modi geachtet werden muss.

Shared Spaces, die eine gemeinsame Nutzung aller Verkehrsteilnehmer erlauben, sind eine Option, die jedoch aufgrund der häufigen Interaktionen nicht sehr performant wäre und daher hauptsächlich in Innenstädten Anwendung finden sollte. Die Gestaltung von Strassenquerschnitten wird u.a. in Gloor et al. (2020) besprochen. Neben einer Reduktion der Anzahl der Spuren für den MIV und der Einführung von Spuren für den Veloverkehr liegt hierbei die grösste Änderung in der Einführung von «Mehrzweckstreifen», die für das Ent- und Beladen sowie als Haltestellen dienen können. Eine weitere Option ist die Einführung zeitabhängig variabel nutzbarer Verkehrsflächen (Abegg et al. 2018, Gloor et al. 2020). So könnte eine Spur beispielsweise nur zu Spitzenstunden dem motorisierten Individualverkehr zur Verfügung stehen, ansonsten aber nur für den Veloverkehr geöffnet sein. Entsprechend könnten Stellen entlang der Strasse als Belade- oder Haltepunkte «gebucht» werden. Eine Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung einer Infrastruktur, die die aktuelle Nutzung allen Verkehrsbeteiligten ausweisen kann.

Lebenswerte Stadt

Anstrengungen zur Erhöhung der Lebensqualität in Städten sind bereits in Einzelfällen zu beobachten. Eine hohe Sichtbarkeit haben die in Barcelona implementierten Superblocks, innerhalb derer das Durchfahren mit privaten Fahrzeugen nicht mehr erlaubt ist. Projekte in den USA schaffen lebendige Räume im Strassenbild, indem sie ungenutzte Gehsteige und Strassenflächen zu Aufenthaltsorten mit verschiedenen Angeboten umgestalten (<https://groundplaysf.org/>). Paris verfolgt die Umsetzung des Konzeptes einer «15-Minuten-Stadt» in der alle zur Erledigung notwendiger Aktivitäten aufzusuchenden Orte innerhalb von 15 Minuten zu Fuss oder mit dem Velo erreichbar sind. Neben einer Stärkung der Nutzbarkeit aktiver Modi (Fuss/Velo) verlangt diese Massnahme auch eine Neuverortung von Angeboten im städtischen Raum.

Ballung geteilter Mobilitätsressourcen

An die Bedürfnisse der jeweiligen Bevölkerung angepasste Quartierskonzepte sichern die Nahraummobilität und die Anbindung an Hochleistungs-ÖV-Netze mit möglichst ressourcenschonenden Fahrzeugen wie – möglichst elektrisch betriebenen – Bussen oder geteilt genutzten Velo und PW. Neben einem verlässlichen ÖV-Zubringerangebot gehören hierzu hauptsächlich geteilt nutzbare Verkehrsmittel wie Bike- oder Car-Sharing oder die Bereitstellung eines Quartiers-Lastenrads. Die Digitalisierung ist hier eine notwendige Voraussetzung: Nicht nur ist es notwendig, ein Buchen der vorhandenen Mobilitätsoptionen zu ermöglichen, ein wichtiger Aspekt solcher Quartierskonzepte ist auch die Bereitstellung von Informationen zu aktuellen Möglichkeiten, die aktuellen Ziele ressourcenschonende Angebote nutzend zu erreichen. Ob im

Rahmen solcher Konzepte das «Nutzen statt Besitzen» tatsächlich Realität wird, ist abzuwarten. Durchaus realistisch erscheint jedoch die Annahme, dass dichte, gut mit teilbaren Angeboten versorgte Quartiere, innerhalb der alle notwendigen Erledigungen zu Fuss oder mit einem Fahrrad erledigt werden könnten, eine nachhaltige Lösung verschiedener Verkehrs- und Stadtplanungsprobleme sein könnten.

Eine ebenfalls neue, stark durch Digitalisierung geprägte Entwicklung sind hierbei sogenannte «MobilityHubs (Verkehrsdrehscheibe)» – Plätze, die eine ÖV-Haltestelle mit einer Vielzahl verschiedener, geteilt nutzbarer Mobilitätsangebote vereinen. Durch die Bereitstellung geteilt nutzbarer Nahraum-Angebote zur Bewältigung der ersten bzw. letzten Meile sollen Mobilitätshubs (Verkehrsdrehscheiben) den Zugang zum und damit die Nutzung des ÖV verbessern bzw. erhöhen. Die Kombination aus Massenverkehrsmitteln für lange Distanzen mit anschließenden individuellen Mobilitätsangeboten an den Umsteigeknoten für die Feinverteilung dürfte die sinnvollste Möglichkeit zur Realisierung des Bedürfnisses nach Naherholungsaktivitäten darstellen (vgl. Gloor et al. 2020).

Zusammenfassung

Kompakte urbane Strukturen mit einem ressourcenschonenden Verkehrsangebot, kurzen Wegen ohne Belästigung durch Verkehrslärm und -emissionen sind ein aktuell angestrebtes Ziel. Geteilt genutzte, ggf. auch automatisierte und individuell nutzbare Angebote stärken die bereits vorhandene Entwicklung und tragen somit zu lebenswerten Quartieren bei. Durch das Entfernen privater Fahrzeuge aus dem Strassenbild können der gewonnenen Fläche neue Nutzungen zugewiesen werden. Zu beachten sind hierbei die sich aus den neuen Angeboten ergebenden notwendigen Gestaltungen des Strassenraums. Diese Erkenntnisse folgen aus Schweizer und internationalen Studien.

Ob Investitionen in den Aufbau digitaler Infrastruktur notwendig sein werden, um automatisierte und vernetzte Angebote zu realisieren, kann erst bei weiterem technologischem Fortschritt bestimmt werden. Ebenso ungeklärt ist die Frage nach der Gestaltung der Interaktionen zwischen lokaler Mobilität und dem Massentransport von Personen und Gütern zwischen Quartieren oder Stadtteilen. So würden z.B. bei der Einführung von ÖV-Angeboten mit variabler Routenführung neue Navigationslösungen erforderlich werden.

4.4.5. Indirekte/Sekundäre Wirkungen: Gesundheit und Umwelt

Dieses Kapitel umfasst die Auswirkungen der Automatisierung von Fahrzeugen und des Teilens von Fahrten/Fahrzeugen auf die Gesundheit und die Umwelt. Dies betrifft insbesondere die Anzahl der Unfälle sowie den Ressourcenverbrauch und die Emissionen an Luftschadstoffen und

Klimagasen. Die Ergebnisse zu den Auswirkungen der Digitalisierung im Verkehr aus der Literatur sind im Folgenden jeweils für den Personen- und Güterverkehr zusammengefasst.

4.4.5.1. Personenverkehr

Die Ergebnisse zu den Gesundheits- und Umweltwirkungen im Personenverkehr sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11: Personenverkehr - Gesundheit und Umwelt

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. PW/heute)	Quelle	Landes- bezug	Kommentar
Automatisierung (Szenario 1)				
Anzahl Unfälle Strasse	-88 % Unfälle pro automatisierter Fzkm	Altenburg et al. 2018	D	Wirkungsmodell
	-85 % Unfälle durch AV	Ecoplan 2018	CH	Wirkungsmodell
	-90 % Unfälle bei 90 % Durchdringung AV	Fagnant und Ko- ckelman 2015	n.a./di- verse	Literaturanalyse und Expertenschätzungen
Unfallvermei- dungspotenzial	-46–82 % durch AV bis 2050 je nach Strassentyp (Stadtstrasse, Autobahn)	Busch et al. 2020	CH	
Unfallrisiko Strasse	-90 % durch AV	Hörl et al. 2019	n.a./di- verse	Literaturanalyse
	Niedrige Automatisierungsstufen füh- ren zu höherem Unfallrisiko	Jermann et al. 2020	CH	Quant. Abschätzung
	Vermischung verschiedener Automa- tisierungsstufen führen zu höherem Unfallrisiko	Busch et al. 2020, Deublein 2020	CH	
	Hacking kann zu Unfall führen (ab SAE-Level 4)	Perret et al. 2020	n.a./di- verse	Literaturanalyse
Unfallrisiko Schiene	-70 % ungesicherte Rangierfahrten	smartrail 4.0 2019b	CH	Expertenbericht
Emissionen (CO ₂ , NO _x)	Emissionen steigen durch neue Nut- zergruppen, Leerfahrten und Nutzung der Reisezeit	De Haan et al. 2018	CH	
	Emissionen steigen durch neue Nut- zergruppen	Ecoplan 2018	CH	
	Emissionen sinken durch die automa- tisierte Fahrweise und aktive Sicher- heit	De Haan et al. 2018, Ecoplan 2018	CH	
	Emissionen sinken und steigen durch Verflüssigung des Verkehrs (Mehrver- kehr vs. flüssigere Fahrweise)	De Haan et al. 2018	CH	

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu konv. PW/heute)	Quelle	Landes- bezug	Kommentar
Sharing (Szenario 2)				
Unfälle	Keine Veränderung ggü. Referenz	Buffat et al. 2018	CH	
Emissionen	Ride-Sharing erhöht die Auslastung bestehender PW, was zu einer Abnahme der Anzahl Fahrzeuge/Fzkm führt und dadurch die Emissionen reduziert.	Ecoplan 2018, Mühlethaler et al. 2011	CH	
	Tiefere Emissionen der Car-Sharing-Flotte aufgrund Nicht-Anschaffung eines zusätzlichen Fahrzeugs und effizientere Fahrzeuge im Vergleich zu Gesamtschweiz.	Haefeli et al. 2006	CH	
	Ride- und Car-Pooling reduziert die CO ₂ -Emissionen um -4.2 % bis -50.6 %	ITF 2020	F	Simulationsmodell
	Car-Sharing reduziert Emissionen und Kosten/Kopf. Nettoeffekt auf Emissionen hängt davon ab, welche Emissionen die alternativ konsumierten Güter verursachen.	Ökoinstitut/Infras 2015	D	
Servicewelt (Szenario 3)				
Unfälle	Analog Automatisierung (Szenario 1), Keine zusätzlichen Veränderung durch Sharing			
Bewegung	-18 % Fussverkehr, Verschiebung zu automatisierten Fahrten (Tür-zu-Tür) -> Abnahme Gesundheitsnutzen Langsamverkehr (ca. -0.1 Mrd. CHF 2040)	Ecoplan 2018	CH	Wirkungsmodell
Emissionen (CO ₂ , NO _x)	Keine Veränderung der Emissionen durch Teilen von automatisierten Fahrzeugen (Car-Sharing)	De Haan et al. 2018	CH	
	Emissionen sinken durch Ride-Sharing in automatisierten Fahrzeugen	De Haan et al. 2018, Ecoplan 2018	CH	
Ressourcenverbrauch	MaaS führt zu Stärkung von ÖV, Fuss-/Veloverkehr und höherer Auslastung vorhandener Ressourcen -> Reduktion der CO ₂ -Emissionen und des Landverbrauch	UVEK 2018a	CH	

Tabelle INFRAS.

Gesundheit

Verschiedene Autoren schätzen, dass 90 % der Unfälle auf der Strasse heute auf menschliches Versagen zurückzuführen sind (Fagnant und Kockelman 2015, Winkle 2015). Durch die vollständige Automatisierung von Fahrzeugen können solche Unfallursachen weitgehend vermieden

werden. Die Literatur geht bei einer vollständigen Automatisierung davon aus, dass die Anzahl der Unfälle bzw. das Unfallrisiko um 46 bis 90 % reduziert werden kann (Altenburg et al. 2018, Ecoplan 2018, Fagnant und Kockelman 2015, Busch et al. 2020, Hörl et al. 2019). Busch et al. (2020) differenzieren in ihrer Studie für die Schweiz das Unfallvermeidungspotenzial nach Strassentyp (Tabelle 12). Das Unfallvermeidungspotenzial ist in beiden in der Studie betrachteten Szenarien am höchsten für die Autobahn und am niedrigsten für Stadtstrassen.

Tabelle 12: Unfallvermeidungspotenzial nach Busch et al. (2020) für die Schweiz

Strassentyp	Szenario A/ Trendszenario (2050: 32 % AF, 5.6 Mio. PW)	Szenario B/ Pro Sharing-Szenario (2050: 62 % AF, 3 Mio. PW)
Autobahn	59 %	82 %
Landstrasse	57 %	78 %
Stadtstrasse	46 %	63 %

Die Studie unterscheidet zwischen Szenario A/Trendszenario und Szenario B/Pro Sharing-Szenario. Im Trendszenario wird angenommen, dass sich die Entwicklungen aus der Vergangenheit weitgehend fortschreiben. Das Szenario B setzt voraus, dass sich weniger Fahrzeuge in privatem Besitz befinden.

Tabelle INFRAS. Quelle: Busch et al. (2020).

Einige Studien weisen im Weiteren darauf hin, dass eine Vermischung verschiedener Automatisierungsstufen oder geringere Automatisierungsstufen als SAE-Level 4 zu einem höheren Unfallrisiko führen können (Jermann et al. 2020, Busch et al. 2020, Deublein et al. 2020). Deublein et al. (2020) gehen davon aus, dass erst ab einem Anteil von 40 % vollautomatisierter Fahrzeuge die Unfallzahlen abnehmen werden. Eine Restmenge an Unfällen kann zudem bei voller Automatisierung durch technische Fehler bestehen bleiben (Winkle 2015). Unfälle können ab Level 4 der Automatisierung auch durch Hacker-Angriffe verursacht werden (Perret et al. 2020).

Mit Fokus auf den Schienenverkehr kann die Automatisierung die Anzahl ungesicherter Rangierfahrten um 70 % reduzieren (smartrail 4.0 2019b).

Das vermehrte Teilen von Fahrten/Fahrzeugen hat keine Auswirkungen auf das Unfallaufkommen auf den Strassen oder der Schiene (Buffat et al. 2018). In der «Servicewelt» kommen die Effekte durch die automatisierten Fahrzeuge zu tragen. Die neuen Mobilitätsangebote (Tür-zu-Tür-Angebote) in einer Mobilitäts-Servicewelt führen zudem dazu, dass es zu einer Verlagerung vom Langsamverkehr auf automatisierte Fahrten um 18 % kommt (Ecoplan 2018). Ecoplan (2018) schätzt, dass dies mit einer Reduktion des Gesundheitsnutzens um ca. -0.1 Mrd. CHF verbunden ist.

Umwelt

Die Digitalisierung führt aufgrund der verkehrlichen Wirkungen auch zu Änderungen der Emissionen an Luftschadstoffen und Klimagasen (bei unveränderter Antriebstechnologie). Die verkehrlichen Ergebnisse zeigen, dass die Automatisierung zu Mehrverkehr durch neue Nutzergruppen, mehr Leerfahrten und eine geänderte Nutzung der Reisezeit führt. Die Zunahme der Fahrzeugkilometer im Vergleich zur Referenz resultiert in höheren CO₂- und NO_x-Emissionen (De Haan et al. 2018, Ecoplan 2018). Im Gegensatz dazu sinken die Emissionen durch die automatisierte Fahrweise (Glättung der Geschwindigkeit) und Zunahme der aktiven Sicherheit (Fahrzeuge können leichter gebaut werden durch die fast vollständige Vermeidung von Unfällen) (De Haan et al. 2018). Die Automatisierung ermöglicht zudem die Verflüssigung des Verkehrs, was zum einen eine kontinuierlichere Fahrweise erlaubt, zum anderen aber wiederum zu Mehrverkehr führt. Die Verflüssigung des Verkehrs wirkt deshalb gleichzeitig in die Richtung einer Emissionsreduktion und einer Emissionssteigerung.

Ride-Sharing/Car-Pooling erhöht die Auslastung der Fahrzeuge, wodurch weniger Fahrzeuge notwendig sind und die Fahrzeugkilometer abnehmen (Ecoplan 2018, Mühlethaler et al. 2011, ITF 2020). Dies führt als Einzeleinfluss zu geringeren Emissionen. Mit einem Simulationsmodell für Lyon zeigt das ITF (2020) für verschiedene Szenarien, dass die CO₂-Emissionen durch Ride- und Car-Pooling um 4.2 bis 50.6 % reduziert werden können. Die maximale Reduktion resultiert, wenn alle motorisierten Fahrten durch geteilte Mobilität ersetzt werden. Die minimale Reduktion ergibt sich, wenn nur Car-Pooling als Option zur Verfügung steht und KonsumentInnen bei ihrer bisherigen Option bleiben, wenn keine passende Car-Pooling-Option zur Verfügung steht. Für die Schweiz finden Haefeli et al. (2006), dass auch Car-Sharing dazu führt, dass gewisse Haushalte kein zusätzliches Fahrzeug anschaffen, was in einem geringeren Ressourcenverbrauch und Emissionen (v.a. wegen der Produktion von weniger Fahrzeugen) resultiert. Ökoinstitut und INFRAS (2015) zeigen in einer Modellanalyse mit einem volkswirtschaftlichen und einem umweltseitigen Modul, dass zwar die Mobilität dank Car-Sharing effizienter wird und mit weniger Umweltbelastung einhergeht (Bruttoeffekt im Sektor Mobilität). Weil Car-Sharing damit auch die Kosten der Mobilität pro Kopf und in der Volkswirtschaft insgesamt senkt, hängt der gesamtwirtschaftliche Umwelteffekt von Car-Sharing jedoch davon ab, welche Umweltbelastung die Güter haben, welche dank den Einsparungen in der Mobilität zusätzlich gekauft werden (Nettoeffekt) – ein Yogakurs oder ein Oldtimer-Motorrad (Rebound-Effekt). Car-Sharing-Flotten verzeichnen häufig einen höheren Anteil an E-Fahrzeugen als die gesamte Schweizer Flotte. Deshalb wird dem Car-Sharing häufig auch zusätzlich zu den oben beschriebenen Effekten positive Umweltwirkung attestiert. Diese Effekte über den vermehrten Einsatz von E-Fahrzeuge in der Mobilität stehen aber nicht direkt mit der Digitalisierung im Zusammen-

hang. Sie werden deshalb in unserer Studie zu den Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Emissionen und Energieeffizienz nicht berücksichtigt. Eine höhere Auslastung der Fahrzeuge könnte zudem dazu führen, dass die Fahrzeugflotte schneller erneuert wird. Dazu existieren bisher keine Abschätzungen in der Literatur.

Auch Ride-Sharing mit automatisierten Fahrzeugen reduziert die Emissionen (De Haan et al. 2018, Ecoplan 2018). Keine Veränderung der Emissionen resultiert hingegen durch das Teilen von automatisierten Fahrzeugen (Car-Sharing) (De Haan et al. 2018). Zudem führt MaaS zu einer Stärkung des ÖV, Fuss- und Veloverkehrs und einer höheren Auslastung vorhandener Ressourcen, was in einem geringeren Landverbrauch und CO₂-Emissionen resultiert (UVEK 2018a).

4.4.5.2. Güterverkehr

Die Erkenntnisse zu den Umwelt- und Gesundheitswirkungen im Güterverkehr sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Literatur ist lückenhaft.

Tabelle 13: Güterverkehr - Gesundheit und Umwelt

Aspekt	Bandbreite der Wirkung (im Vgl. zu heute/konv. Fahrzeuge)	Quelle	Landes- bezug	Kommentar
Automatisierung (Szenario 1)				
Unfallrisiko	-50 % ungesicherte Rangierfahrten	smartrail 4.0 2019b	CH	
	Weniger Verkehrsunfälle durch Platooning	Stölzle et al. 2018, Fitzpatrick et al. 2017	DACH, USA	
	Mehr Verkehrsunfälle durch Mischverkehr automatisierter und konv. Fahrzeuge	Fitzpatrick et al. 2017	USA	Literaturanalyse
Emissionen	Durchschnittliche Kraftstoffeinsparungen von 10 % durch Platooning (Lkw) und somit weniger Emissionen	Janssen et al. 2015	n.a./di- verse	
Sharing (Szenario 2)				
Emissionen	Weniger Emissionen durch bessere Auslastung von Transportkapazitäten	World Economic Forum 2016	n.a./di- verse	
	Weniger Emissionen durch Sharing von Lagerhäusern	World Economic Forum 2016	n.a./di- verse	
	Konsolidierte Routen (Sharing Lkw), dadurch weniger Lkw und Reduktion der Emissionen	Liu und Zhao 2019	USA	
	Crowd Logistics: Bessere Auslastung vorhandener Fahrzeuge, weniger Fahrzeuge, weniger Emissionen	Buldeo Rai et al. 2017	n.a./di- verse	Literaturanalyse
Servicewelt (Szenario 3)				
keine Literatur				

Tabelle INFRAS.

Gesundheit

Auch für den Güterverkehr ist sich die Literatur einig, dass durch die Automatisierung insbesondere die Anzahl und Schwere von Unfällen gemindert werden können. So kann Platooning Verkehrsunfälle von Lkw verhindern (Stölzle et al. 2018, Fitzpatrick et al. 2017). Auch im Güterverkehr kann es jedoch in der Übergangphase – Mischverkehr von automatisierten und konventionellen Fahrzeugen – zu mehr Verkehrsunfällen kommen (Fitzpatrick et al. 2017). Wie bereits im Personenverkehr reduziert die Automatisierung auch im Güterverkehr ungesicherte Rangierfahrten, jedoch mit 50 % etwas weniger (smartrail 4.0 2019b).

Für die Verbreitung von Sharing-Ansätzen im Güterverkehr oder der «Servicewelt» ist keine Literatur zu den Auswirkungen auf die Gesundheit vorhanden.

Umwelt

Platooning spielt auch für die Umweltwirkungen der Automatisierung eine zentrale Rolle. Jansen et al. (2015) zeigen auf, dass Platooning eine flüssigere Fahrweise ermöglicht, wodurch 10 % weniger Kraftstoffe verbraucht werden und somit die Emissionen reduziert werden können.

Auch im Szenario «Sharing» resultiert im Güterverkehr eine Emissionsreduktion. Dies ist auf eine bessere Auslastung vorhandener Ressourcen zurückzuführen, von – Transportkapazitäten, Lagerhäusern, vorhandenen Fahrzeugen (World Economic Forum 2016, Liu und Zhao 2019, Buldei Rai et al. 2017).

Für die Umweltwirkungen der «Servicewelt» ist keine Literatur vorhanden.

4.4.6. Marktstrukturen und wettbewerbsökonomische Auswirkungen

In diesem Kapitel legen wir die wettbewerbsökonomischen Wirkungen neuer Marktanbieter dar. Wir fokussieren dabei auf neue Geschäftsmodelle, welche auf Plattformen basieren. Diese sind insbesondere im Szenario 2 und 3 relevant. Die neuen Geschäftsmodelle im Mobilitätssektor sind in Kapitel 4.4.6.1 beschrieben. Darauf aufbauend folgt die Analyse der Marktstruktur und wettbewerbsökonomischen Wirkungen in Kapitel 4.4.6.2.

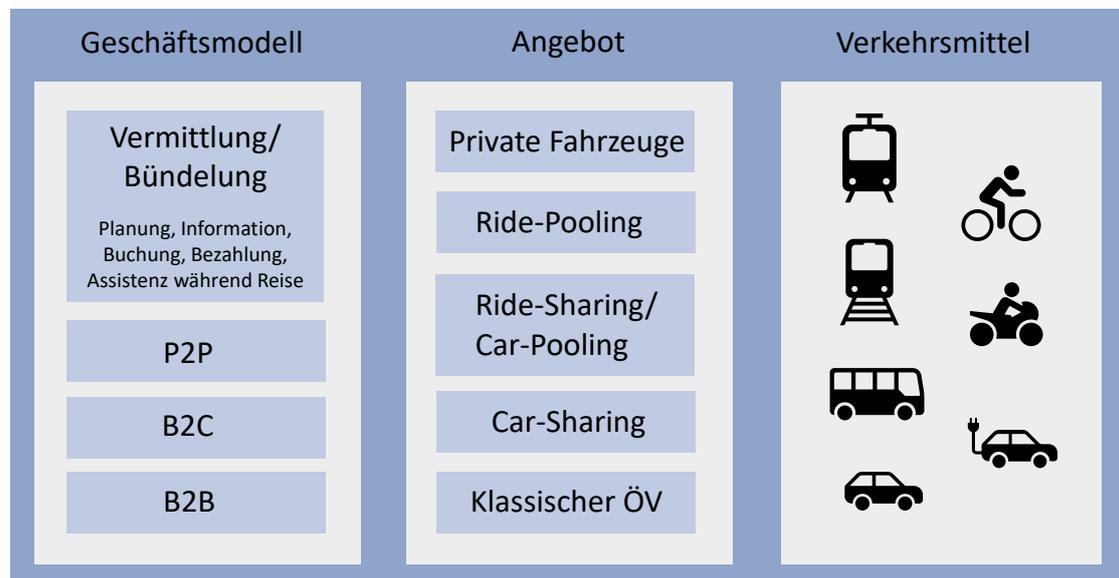
4.4.6.1. Übersicht Geschäftsmodelle

In Folge der Digitalisierung entstehen im Mobilitätssektor neuartige Geschäftsmodelle. Im Fokus stehen Geschäftsmodelle, deren Kernstück eine digitale Plattform darstellt. Digitale Plattformen dienen zur vereinfachten Vermittlung von Angebot und Nachfrage.

Abbildung 20 zeigt auf, welche Funktionen die neuen Geschäftsmodelle bieten und welche Angebote und Verkehrsmittel über die digitalen Plattformen vermittelt werden. Eine genauere Beschreibung und eine Abgrenzung der Angebotsformen finden sich Kapitel 3.2.2. Innerhalb

des Geschäftsmodells ordnet die Abbildung die verschiedenen Geschäftsbeziehungen Peer-to-Peer (P2P), Business-to-Business (B2B) sowie Business-to-Consumer (B2C) ein.

Abbildung 20: Abgrenzung Geschäftsmodelle, Angebotsformen und Verkehrsmittel



Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling sowie ein Teil von Car-Sharing definieren wir als ÖIV (vgl. Abbildung 17). Die Auflistung der Verkehrsmittel ist nicht abschliessend.

P2P = Peer-to-Peer, B2C = Business-to-Consumer, B2B = Business-to-Business.

Grafik INFRAS. Angelehnt an Oehry et al. 2020a.

Aus Abbildung 20 wird ersichtlich, dass neue Geschäftsmodelle im Mobilitätsbereich hauptsächlich die vereinfachte Vermittlung und Bündelung von Mobilitätsdienstleistungen über Plattformen ermöglichen. Diese umfassen die Planung und Information, die Buchung und Bezahlung sowie die Assistenz während der Reise. Des Weiteren zielen diese neuen Geschäftsmodelle auf neue Angebote im Bereich Car-Sharing und Ride-Pooling/-Sharing (ÖIV) sowie ÖV (klassisch) ab (Oehry et al. 2020a).

In der Abbildung sind zudem private Autos aufgeführt, weil die Abgrenzung der Angebote – private Fahrzeuge und Car-Sharing – teils schwierig ist. Einen Spezialfall stellen z.B. Autoabos dar – Vermietung eines privaten Fahrzeugs für eine bestimmte Anzahl Tage – weil unklar ist, ob sie als Car-Sharing oder private Fahrzeuge gelten. Zwar handelt es sich um ein eher neues Geschäftsmodell mit wachsender Anzahl an Anbietern, welche Angebote online anbieten, jedoch

werden die Fahrzeuge nicht wie im klassischen Sinn beim Car-Sharing geteilt. Beispiele dafür sind carvolution²², UPTO²³ von AXA, Hertz minilease²⁴ oder carify²⁵.

Richten wir den Fokus auf die vorliegende Studie, so gewinnen die Plattformen in Szenario 2 und 3 an Relevanz. Die Plattformen können folgende Angebote und Geschäftsmodelle umfassen, die sich je nach Szenario unterscheiden:

- Die Vermittlung von einzelnen Verkehrsmitteln, wie Velos oder Autos oder von Transportkapazitäten im Güterverkehr.
- Die Kombination und der Vergleich von verschiedenen Verkehrsmitteln, wie z.B. ÖV, MIV und Velo.

Innerhalb der Geschäftsmodelle stellen die Geschäftsbeziehungen die Interaktion zwischen den verschiedenen Akteuren dar (P2P, B2C und B2B in Abbildung 20). Wir unterscheiden hauptsächlich zwischen 3 verschiedenen Akteuren: Vermittler/Plattformbetreiber, Anbieter und Nutzenden. Abbildung 21 zeigt gemäss von Stokar et al. (2018) die wichtigsten Arten von Geschäftsbeziehungen zwischen den drei Akteuren auf.

Abbildung 21: Verschiedene Ausprägungen der Geschäftsbeziehungen innerhalb des Geschäftsmodells

P2P	B2C	B2B
<p>Das Peer-to-Peer-Modell beschreibt ein Geschäftsmodell zwischen zwei natürlichen Personen. Eine juristische Person als Plattformbetreiberin tritt dabei als Vermittler auf und stellt lediglich die Plattform zur Verfügung, nicht jedoch Güter. Die Nutzer der Plattform entrichten dem Betreiber jeweils einen kleinen Prozentsatz des Preises.</p>	<p>Im Business-to-Consumer-Modell fungiert der Vermittler sowohl als Plattformbetreiber, als auch als Anbieter. Auf der anderen Seite stehen Konsumenten als Nutzer. Im Vergleich zum P2P-Modell steigen beim B2C-Modell die Komplexität und der Aufwand.</p>	<p>Das Business-to-Business-Modell charakterisiert sich durch den Austausch der Leistung zwischen zwei Unternehmen. Das Modell beinhaltet sowohl den Leistungsaustausch über die Plattform eines Dritten (wie P2P), als auch als auch über eine eigens betriebene Plattform (wie B2C).</p>
<p>Beispiele</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auto: 2EM, Ubeeqo, ▪ Bike: mobilaro (DE) 	<p>Beispiele</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auto: Mobility ▪ Bike: Publibike, Bond (ehemals Smide) 	<p>Beispiele</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auto: Mobility, Greenmove (AT), Glide Mobility (FR) ▪ Bike: Publibike

Grafik INFRAS. Angelehnt an von Stokar et al. 2018.

²² <https://www.carvolution.com/de>

²³ <https://www.upto.ch/>

²⁴ <https://hertzminilease.ch/>

²⁵ <https://www.carify.com/de/>

Die Abgrenzung der einzelnen Angebote gestaltet sich manchmal schwierig. Teilweise kommt es zu Vermischungen zwischen P2P- und B2C-Modellen, wie z.B. bei Mobility. Mobility stellt zwar die Fahrzeugflotte zur Verfügung; da Mobility jedoch als Genossenschaft organisiert ist, gehört jedem Nutzenden der Plattform indirekt auch ein Teil der Fahrzeugflotte. Ebenfalls treten häufig Mischformen von B2C und B2B auf. Während B2B- und B2C-Geschäftsmodelle schon immer existierten, erfuhren P2P-Geschäftsmodelle vor allem dank der Digitalisierung und der Möglichkeit von Plattformen starkes Wachstum. Im Mobilitätssektor spielen P2P-Geschäftsmodelle gerade im Bereich Sharing eine Schlüsselrolle. Bauwens et al. (2012) zeigen verschiedene Ausprägungen von Geschäftsbeziehungen für Car-Sharing auf:

- P2P: Beispiele für Peer-to-peer-Car-Sharings sind Ubeego oder 2E, wo Private ein Fahrzeug von anderen Privatpersonen mieten.
- B2C: Ein Unternehmen stellt die Fahrzeuge zur Verfügung. Ein Beispiel dafür ist Zipcar oder auch Hertz, wobei letzteres an der Schnittstelle zur privaten Nutzung ist (siehe Diskussion weiter unten).

Der Stand der Etablierung neuer Mobilitätsdienstleistungen in der Schweiz umschreiben die Entwicklungsstufen neuer Mobilitätsdienstleistungen von Suter et al. (2020). Sie systematisieren die Entwicklung zu einer nahtlosen Mobilität (Seamless Mobility) gemäss Abbildung 22.

Abbildung 22: Entwicklungsstufen neuer Mobilitätsdienstleistungen

Stufe 1: Car-Sharing und ähnliches	Stufe 2: Vernetzung von Mobilitätsanbieter	Stufe 3: Multimodale Apps und Plattformen	Stufe 4: Seamless Mobility
PW und andere Fahrzeuge wie z.B. Velo, Scooter werden gemeinschaftlich genutzt. Sie können bei Bedarf reserviert und benützt werden.	Durch Kooperationen von etablierten Transportunternehmen und Anbietern von neuen Dienstleistungen werden Sharing-Angebote mit bestehenden Mobilitätsdienstleistungen verknüpft. Dadurch entstehen erste multimodale Angebote.	Auf Apps oder Onlineplattformen können Reisen direkt, multimodal und anbieterübergreifend gebucht werden («integrierte Mobilität»). Über solche Plattformen kann die gesamte Reise geplant und bezahlt werden. Diese Plattformen sind primär Vermittler und müssen nicht mehr zwingend von den Leistungserbringern selber betrieben werden. Dabei können auch Sharing-Angebote besser eingebunden werden. Erste Tür-zu-Tür-Lösungen werden realisiert, sind aber noch wenig verbreitet und teuer.	Dank vollautomatisierten Fahrzeugen kann man nahtlos vom Start- zum Zielpunkt gelangen. Der öffentliche Verkehr entwickelt sich in Richtung individuelle Massenmobilität. Das ÖV-Angebot wird durch auf Abruf bereitstehende selbstfahrende Fahrzeuge ergänzt. Dies ermöglicht ein nahtloses Tür-zu-Tür-Mobilitätsangebot. Werden die automatisierten Fahrzeuge zu einem hohen Grad gemeinschaftlich genutzt, verschmelzen ÖV und MIV stärker (ÖIV).

Grafik INFRAS Agelehnt an Suter et al. (2020).

Aktuell befindet sich die Schweiz zwischen Stufe 2 und 3. Trotzdem besteht auf Stufe 2 ein grosses Ausbaupotenzial. In der Schweiz existieren bereits verschiedene Geschäftsmodelle, die auf das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen fokussieren (Szenario 2, vgl. auch 3.2.2 zu den Ausprägungen von Sharing im Personenverkehr). Zwei bekannte Schweizer Unternehmen sind Mobility und Publibike. Im Jahr 2011 gründete Postauto, zusammen mit den Partner SBB und Rent a Bike, den Veloverleihdienst Publibike mit mittlerweile über 5'000 Velos. Unterstützend stehen Sponsoren wie die ZKB, EWZ und die Post zur Seite (Publibike 2020). Dieses Beispiel zeigt, dass häufig etablierte Marktteilnehmer an den neuen Geschäftsmodellen beteiligt sind (von Stocker et al. 2018).

Im Bereich MaaS (Szenario 3) existieren hingegen erst wenige Pilotprojekte. Dazu gehört das Projekt Yumuv von verschiedenen Verkehrsbetrieben sowie der SBB. Für das Erreichen von Stufe 4 (Seamless Mobility), werden vollautomatisierte Fahrzeuge notwendig und benötigt folglich noch eine lange Zeit (Suter et al. 2020).

Neben den oben erläuterten Geschäftsmodellen mit Fokus auf neue Mobilitätsdienstleistungen, entstehen im Zuge der Digitalisierung und Elektrifizierung der Fahrzeuge, neue Geschäftsmodelle in den Bereichen Betrieb und Infrastruktur. Dazu zählen u.a. Charging-Services und digitale Parkplatzdienste.

- Unter **Charging-Services** werden Dienstleistungen rund um das Aufladen von Elektrofahrzeugen verstanden. Dazu zählen Charging Network Provider (Anbieter von eigenen Ladesäulen), Charging Service Provider (Anbieter bietet Zugang zu Ladestationen anderer Anbieter), E-Ladesäulen Home bidirektional (Verkauf, Vermietung oder Betrieb von privaten Ladesäulen) und E-Ladesäulen induktiv (Anbieter von Ladeeinrichtungen mit induktiver Lademöglichkeit). Da die Charging-Service-Geschäftsmodelle hauptsächlich mit der Elektrifizierung der Mobilität einhergehen und die Digitalisierung dabei eine untergeordnete Rolle spielt, wird auf weitere Erläuterungen verzichtet (Bratzel et al. 2020).
- Zu den **Parkplatzdiensten** gehören Parkplatzfinder, Parkplatz-Bezahlsysteme sowie Parkplatz-Sharing. Den bedeutendsten Anteil machen heute die Parkplatzfinder aus, welche bereits heute in vielen Städten zur Verfügung stehen. Mit zunehmender Digitalisierung der städtischen Parkleitsysteme und deren Integration in diese Apps steigt der Nutzen für den Anwender weiter. Die Parkplatzfinder-Apps integrieren teilweise auch die Funktion der Bezahlung der Parkgebühren (Parkplatz-Bezahlsysteme). Dabei stehen diese wiederum im Wettbewerb mit konventionellen mobilen Bezahldiensten wie Twint, Apple-Pay oder Google-Pay. Eine Nische stellen heute Parkplatz-Sharing-Plattformen dar. Der Besitzer eines Parkplatzes stellt diesen anderen Nutzenden der Plattform für eine vereinbarte Dauer zur

Verfügung. Der Parkplatz erreicht so eine höhere Auslastung und die Flächennutzung wird optimiert (Bratzel et al. 2020).

4.4.6.2. Auswirkungen

Bei der wettbewerbsökonomischen Wirkungsanalyse sind bei Entstehung neuer Geschäftsmodelle bzw. dem Markteintritt entsprechender Unternehmen verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. In Szenario 2 und 3 geht es um Geschäftsmodelle, welche im Kern eine Plattform betreiben. Weil das Kernelement der Nutzung einer Plattform selbst dabei die relevanten wettbewerbsökonomischen Auswirkungen bedingt, sind die Effekte in Szenario 2 und 3 vergleichbar. In Szenario 1 sind die wettbewerblichen Effekte vernachlässigbar, weil wir davon ausgehen, dass sich diese Plattform gestützten Geschäftsmodelle nicht durchsetzen.

Folgende wettbewerbsökonomische Effekte sind für neue Plattform-Anbieter im Vergleich zu bisherigen Marktanbietern zu berücksichtigen (angelehnt an von Stokar et al. 2018):

- **Positive Netzwerkeffekte:** Plattformen sind durch positive Netzwerkeffekte gekennzeichnet: Je grösser das Netzwerk auf der Plattform, desto höher ist der Nutzen für die Nutzenden (Bundesrat 2017). Für ein(e) Car-Sharing-Plattform/Angebot, über welche(s) Privatpersonen ihren PW vermieten, gilt, je mehr Teilnehmende desto wahrscheinlicher ist es, eine erfolgreiche Vermietung zu erzielen. Deshalb steigt mit jedem Nutzenden der Plattform (Anbieter und Vermieter des Autos) der Nutzen und Erfolg der Plattform. Durch positive Netzwerkeffekte kann eine «Winner-takes-it-all»-Situation entstehen, in welcher Plattformbetreibende eine beherrschende Marktstellung – Monopolstellung – einnehmen und sogenannte Lock-in-Effekte eintreten. Lock-in-Effekte umschreiben ein Abhängigkeitsverhältnis vom Nutzenden zum Plattformbetreiber. Genauer bedeutet dies, dass der Wechsel zu einer anderen Plattform mit hohen Kosten verbunden ist. Dies kann z.B. eintreten, wenn Plattformen personenbezogene Daten sammeln, welche von den Nutzenden nicht auf eine neue Plattform transferiert werden können (Stampfl 2016, Suter et al. 2020). Momentane Geschäftsmodelle sind aber eher weit von einer Monopolstellung entfernt.
- **Zweiseitige Märkte:** In Zusammenhang mit der Plattformökonomie spricht die ökonomische Literatur von zweiseitigen Märkten (Bundesrat 2017). Auf zweiseitigen Märkten verbindet eine Plattform zwei unterschiedliche Märkte, welche durch positive Netzwerkeffekte gekennzeichnet sind. Dabei profitieren Personen auf einem Markt von der Grösse des Netzwerkes auf dem anderen. Dies erhöht den Wettbewerbsdruck, steigert den Nutzen für die Nachfrager und das Marktpotenzial für erfolgreiche Anbieter.
- **Positive Skaleneffekte:** Die neuen Geschäftsmodelle zeichnen sich v.a. durch Anfangsinvestitionen für den Aufbau der Plattform und das Marketing aus (Eichhorst und Spermann 2015). Die Kosten für zusätzliche Nutzende der Plattform sind hingegen nahezu Null (Rifkin 2014).

Die Plattformbetreibenden profitieren deshalb von positiven Skalenerträgen (Economies of Scale) bei zunehmender Anzahl von Nutzenden, welche an Nutzende weitergegeben werden können.

- **Informationsasymmetrien:** Informationsunvollkommenheiten wie asymmetrische Verteilung der Informationen führen zu Marktversagen, welche die Funktionsfähigkeit eines Marktes stark beeinträchtigen können und allenfalls durch Regulierungen behoben werden müssen (von Stokar et al. 2018).
 - Aus Sicht der **Plattformbetreiber** (Unternehmen) ergeben sich aus den Informationsasymmetrien zusätzliche Möglichkeiten für die Positionierung und die Unternehmensstrategie: Die Summe aller Mobilitätsdaten kombiniert mit sozioökonomischen Informationen kann für Unternehmen per se ein Asset mit hohem Wert darstellen, welches auch anderweitig genutzt werden kann (z.B. Weiterverkauf von Daten an Unternehmen auch ausserhalb des Verkehrs) (von Stokar et al. 2018).
 - Aus Sicht der **Nutzenden** spielt Vertrauen insbesondere bei P2P-Geschäftsmodellen eine zentrale Rolle, z.B. bei der Vermietung des eigenen PWs (Haucap 2015). Plattformen umfassen Bewertungssysteme mit öffentlich zugänglichen Bewertungen der – mit Fokus auf P2P Car-Sharing – Vermietenden und Mietenden. Bewertungssysteme führen zu mehr Transparenz und bauen Informationsasymmetrien ab (Suter et al. 2020). Zudem schaffen sie für beide Seiten einen Anreiz, die Erwartungen des Gegenübers zu erfüllen (Bundesrat 2017). Voraussetzung ist, dass die Nutzenden vertrauen, dass es sich um echte Bewertungen handelt.
- **Tiefe Transaktionskosten:** Die neuen Geschäftsmodelle erlauben Nutzenden, sich einfach und mit geringem Aufwand ein passendes Mobilitätsangebot zu buchen und Anbietenden ihr Angebot zu vermitteln (Deloitte und ZHAW 2016). Der Zugang zu Mobilitätsleistungen wird dabei stark vereinfacht und die Transaktionskosten sinken. Insbesondere auf MaaS-Plattformen – wie z.B. Yumuv - können Nutzende verschiedene Verkehrsmittel mit geringem Aufwand kombinieren.
- **Verstärkter Wettbewerb:** Neue Geschäftsmodelle können den Wettbewerb für bisherige Anbieter verstärken (Bundesrat 2017). Plattformen profitierten von den oben genannten Vorteilen wie z.B. tiefen Fixkosten oder Transaktionskosten. Deshalb stellen neue Plattformen wie Share Now eine Konkurrenz für bestehende Anbieter, wie z.B. Herzt, dar. MaaS-Plattformen, über die Dienstleistungen gebucht und bezahlt werden können, könnten insbesondere für den ÖV eine zunehmende Konkurrenz darstellen, wenn die Tarifautonomie – welche momentan alleinig bei den Transportunternehmen bzw. Verbänden liegt – flexibilisiert würde. Dann hätten auch neue Plattform-Anbieter die Möglichkeit, Tickets ohne Einschränkungen zu verkaufen. Der intensivere Wettbewerb durch den Markteintritt neuer Anbieter setzt die

Preise unter Druck (Eichhorst und Spermann 2015). So zeigen z.B. Eichhorst und Spermann (2015), dass der Markteintritt von Uber zu einem Nachfragerückgang im Taxigewerbe geführt hat und die Preise für Nutzende somit tiefer ausfallen.

Auf dem Schweizer Mobilitätsmarkt sind bereits einige neue Geschäftsmodelle entstanden, welche zwar an Bedeutung gewinnen, sich aber bisher noch nicht durchsetzen konnten. Diese Geschäftsmodelle bieten die Vermittlung von Mobilitätsleistungen für verschiedene Verkehrsmittel und sind entweder als P2P- oder B2C-Modell organisiert. Die Schweiz bietet zwar gute Grundbedingungen für die Gründung und Entstehung solcher Geschäftsmodelle, ist aber auch ein sehr kleiner Markt (von Stokar et al. 2018). Für die Skalierung sind die Geschäftsmodelle deshalb häufig auf eine Expansion ins Ausland angewiesen.

Konzessionierter und bestellter öffentlicher Verkehr und Digitalisierung in der Mobilität

In Bezug auf MaaS betonen Mulley und Nelson (2020) die Wichtigkeit der Konzessionsvergaben des öffentlichen Verkehrs und der staatlichen Regulierung. Die aktuellen Möglichkeiten im Bestellprozess des öffentlichen Verkehrs sind auf regelmässige Linienangebote begrenzt. Die Diffusion von MaaS-Geschäftsmodellen hängt auch von potenziellen Integrationsmöglichkeiten in den konzessionierten und staatlich finanzierten öffentlichen Verkehr ab (Beispiel: Yumuv). Durch eine verstärkte Anreizsetzung der Politik zu neuen und effizienteren Mobilitätsangeboten könnte MaaS somit eine stärkere Durchdringung erzielen (Mulley und Nelson 2020).

Status quo

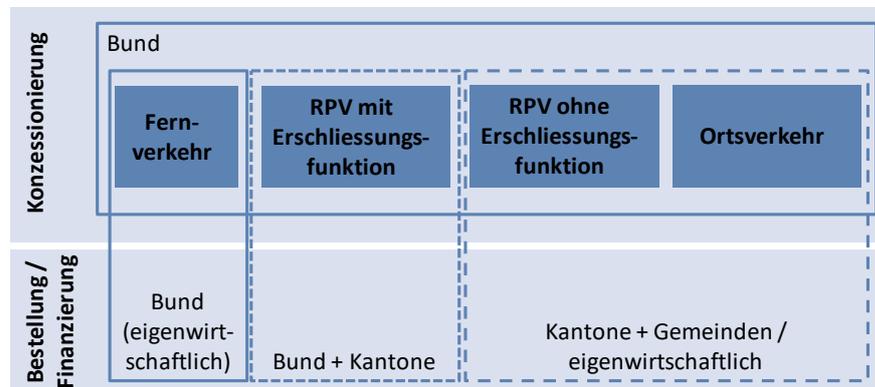
Gestützt auf Art. 81a BV sorgen Bund und Kantone für ein ausreichendes Angebot an öffentlichem Verkehr auf Schiene, Strasse, Wasser und mit Seilbahnen in allen Landesgegenden. Aus Art. 92 BV wird das Personenbeförderungsregal des Bundes abgeleitet. Das Personenbeförderungsgesetz (PBG) vom 20. März 2009 regelt die dem Regal unterstehende Personenbeförderung, d.h. die regelmässige und gewerbsmässige Personenbeförderung auf Eisenbahnen, auf der Strasse und auf dem Wasser sowie mit Seilbahnen, Aufzügen und anderen spurgeführten Transportmitteln. Der Bund hat das ausschliessliche Recht, Reisende mit regelmässigen, gewerbsmässigen Fahrten zu befördern und kann natürlichen und juristischen Personen für die regelmässige, gewerbsmässige Personenbeförderung²⁶ innerhalb der Schweiz eine Konzession erteilen (Personenbeförderungskonzession, PBK). Er überträgt damit das Recht des Bundes auf

²⁶ Eine Konzession ist erforderlich im Linienverkehr mit Erschliessungsfunktion und bei spurgeführten Fahrzeugen auch ohne Erschliessungsfunktion, im Bedarfsverkehr und für linienverkehrsähnliche Fahrten mit Erschliessungsfunktion sowie für Flughafenstransfers.

Private. Die Verordnung über die Personenbeförderung (VPB) vom 4. November 2009 regelt die Einzelheiten.²⁷

Mit der Konzession für die regelmässige Personenbeförderung sind die Transportunternehmen zur Aufstellung und Veröffentlichung von Fahrplänen gemäss Fahrplanverordnung (FPV) verpflichtet. Die Bestellung und Finanzierung der geplanten ungedeckten Kosten von Verkehrsangeboten teilen sich Bund, Kantone und Gemeinden (Abbildung 23). Da die Kantone den regionalen Personenverkehr (RPV) und i.d.R. Ortsverkehr und RPV ohne Erschliessungsfunktion mitfinanzieren und das Fahrplanverfahren seitens Besteller im ÖV koordinieren, kommt ihnen eine zentrale Rolle zu.

Abbildung 23: Zuständigkeiten Konzessionierung und Bestellung/Finanzierung im ÖV



Grafik INFRAS.

Auswirkungen der Digitalisierung auf die Konzessionierung und Bestellung im ÖV (INFRAS et al. 2020):

- Mit der **Automatisierung** verringern sich die Kosten und verschmelzen die Angebotsformen, wenn der klassische Chauffeur wegfällt. Damit besteht die Chance, eine kostengünstigere Grundversorgung sicher zu stellen. Damit einhergeht aber auch das Risiko, dass etablierte Angebote durch Konzessionen geschützt werden, die durch kostengünstigere alternative Angebote ersetzt werden könnten. Je nachdem wie sich die Infrastrukturkosten aufgrund der Automatisierung entwickeln und in Abhängigkeit der Regulierung betreffend Nutzung der Infrastruktur (Erhebung fahrleistungsabhängiger Abgaben für alle Fahrzeugarten, Trassenentgelte) besteht aber auch das Risiko erhöhter Kosten im ÖV. Mit zunehmendem **Sharing** werden die Kosten des Fahrzeugs auf mehrere Nutzende verteilt und sinken daher tendenzi-

²⁷ Beispielsweise sind gewisse Angebote von der Pflicht ausgenommen: Fahrten mit nicht-spurgeführten Fahrzeugen mit einer Kapazität von weniger als 9 Personen (inkl. Fahrer/in).

ell v.a. auch im ÖIV. In der Wirkungsanalyse wurde angenommen, dass die Kosteneinsparungen im ÖV zur Reduktion der Preise verwendet werden und den Konsumenten zugutekommen. Wird hingegen eine Erhöhung des Kostendeckungsgrades im ÖV angestrebt und werden die öffentlichen Subventionen gesenkt, kommt dies zunächst dem öffentlichen Haushalt zugute.

- Die Bedeutung der **Sammlung, Verarbeitung und Analyse von grossen Datenmengen** nimmt weiter zu. Diese erlauben bessere Fahrgastinformationen, bedarfsgerechte Planungen und Einsatzformen sowie Effizienzsteigerungen und damit neue Geschäftsmodelle. Um multimodale Mobilitätsdienstleistungen anbieten zu können, müssen die Daten der verschiedenen Anbieter frei zur Verfügung stehen. Der Austausch von Fahrplandaten ist heute in der Fahrplanverordnung (FPV) geregelt. Unternehmen mit einer PBK unterliegen der FPV. Andere TU können sich dieser freiwillig unterstellen, sind aber nicht dazu verpflichtet. Der Austausch von Echtzeit-Daten im ÖV basiert auf der FPV. Das PBG unterscheidet zwischen konzessionierten bzw. bewilligten und nicht-konzessionierten bzw. -bewilligten Tätigkeiten betreffend der Datenbearbeitung nach dem Datenschutzgesetz. Fraglich ist, inwiefern dies die Entwicklung neuer Mobilitätsangebote beeinflusst. Mit zunehmenden Kundeninformationen und umfassenden Echtzeitdaten können flexible Bedarfssysteme ohne fixen Fahrplan und Route angeboten werden, die entsprechend flexiblere Rahmenbedingungen benötigen. Für einen Datenaustausch muss sichergestellt werden, dass Datenformate und Schnittstellen (z.B. API, Application Programming Interface) standardisiert sind.
- Mit zunehmender Flexibilisierung und aufgrund individueller Bedürfnisse können **bedarfsge- steuerte Gelegenheitsverkehre** (auf nicht vorab definierten Strecken) an Bedeutung gewinnen. Der regelmässige Linienerverkehr könnte an Bedeutung verlieren, v.a. in weniger dicht besiedelten Räumen. Die Informationsbedürfnisse der Nutzenden steigen.
- **Mobilitätsangebote mit geringer Kapazität** sind von der Konzessionspflicht ausgenommen, können aber ÖV-Angeboten konkurrenzieren. Umgekehrt besteht die Herausforderung, Innovationen nicht zu behindern und einen fairen Wettbewerb zwischen Mobilitätsanbietern zuzulassen, wenn entsprechende Innovationen umgesetzt werden sollen. PBK beziehen sich i.d.R. auf Linien (mit Ausnahme von Gebietskonzessionen) und auf Verkehrsmittel. Konzessionen umfassen daher nur einen Teil individueller Wegeketten. Es ergibt sich ein Bedürfnis nach flexibleren Flächen- oder Gebietskonzessionen. Zudem stellt sich die Frage, ob eine oder mehrere Konzessionen vergeben werden sollen. Im Gegensatz zu verkehrsmittelbezogenen Linienkonzessionen könnte das konzessionierte Angebot outputorientiert beschrieben werden (Erschliessungsqualitäten). Gebietskonzessionen zur Sicherstellung der Grundversorgung mit ÖV in einem vorab definierten Marktgebiet könnten geprüft werden.

- Durch den **Markteintritt neuer Anbieter** (z.B. professionelle Sharing-Anbieter) steigt die Heterogenität der Anbieter. Akteure schliessen sich zusammen oder bilden Allianzen. Kooperationen gewinnen an Bedeutung. Die Steuerung des Systems wird komplexer.

5. Herleitung der Szenarien

Dieses Kapitel beschreibt die Herleitung und Ausgestaltung der Szenarien für den Personenverkehr (Kap. 5.1), den Güterverkehr (Kap. 5.2) und die Infrastruktur (Kap. 5.3).

Für den Personen- und Güterverkehr werden nach einem kurzen Überblick die zentralen Grundlagen und Stellschrauben des Szenarios 0 für das Jahr 2060 erläutert. Das Szenario 0 basiert auf dem NPVM bzw. der AMG mit dem Horizont 2060 und stellt damit eine Fortschreibung des Basisjahres dar (keine technologischen Veränderungen) unter Berücksichtigung aktueller Prognosen zur sozioökonomischen Entwicklung (z.B. aktuelle Bevölkerungsprognosen des BFS). Eine Anpassung der Parameter und Stellgrößen wie in den Szenarien 1 bis 3 erfolgt nicht.

5.1. Szenarien im Personenverkehr

Anschliessend an die oben beschriebenen Entwicklungen leiten wir nun die konkret hinterlegten Annahmen und deren Quantifizierung her. Das Unterkapitel «Überblick» zeigt die spezifischen Annahmen für den Personenverkehr für die vier Szenarien (Kapitel 5.1.1). Danach folgt die Diskussion der einzelnen Szenarien mit quantitativen Abschätzungen zu den Annahmen zu den relevanten Stellschrauben (Kapitel 5.1.2 bis 5.1.5).

5.1.1. Überblick Szenarien Personenverkehr

Die zentralen Annahmen für die vier Szenarien im Personenverkehr sind in der Tabelle 14 aufgelistet. Dabei wird die Ausprägung der Achsen «Technologie: Automatisierung» und «Verhalten: Sharing und Kollaboration» qualitativ und quantitativ hergeleitet. Die Achse «Verhalten: Sharing und Kollaboration» grenzen wir für die Studie ein und analysieren im Wesentlichen zwei Trends: Car-Sharing und Ride-Sharing/Car-Pooling für den Personenverkehr. Sharing im Bereich der Mikromobilität wird in der vorliegenden Studie betreffend die verkehrlichen Wirkungen nicht modelliert. Die entsprechenden Parameter für den Fuss- und Veloverkehr im Verkehrsmodell NPVM blieben unverändert, d.h. Nachfrageeffekte für den Fuss- und Veloverkehr resultieren daher lediglich aus Anpassungen im MIV und ÖV.

Tabelle 14: Zentrale Annahmen der Szenarien im Personenverkehr im Überblick

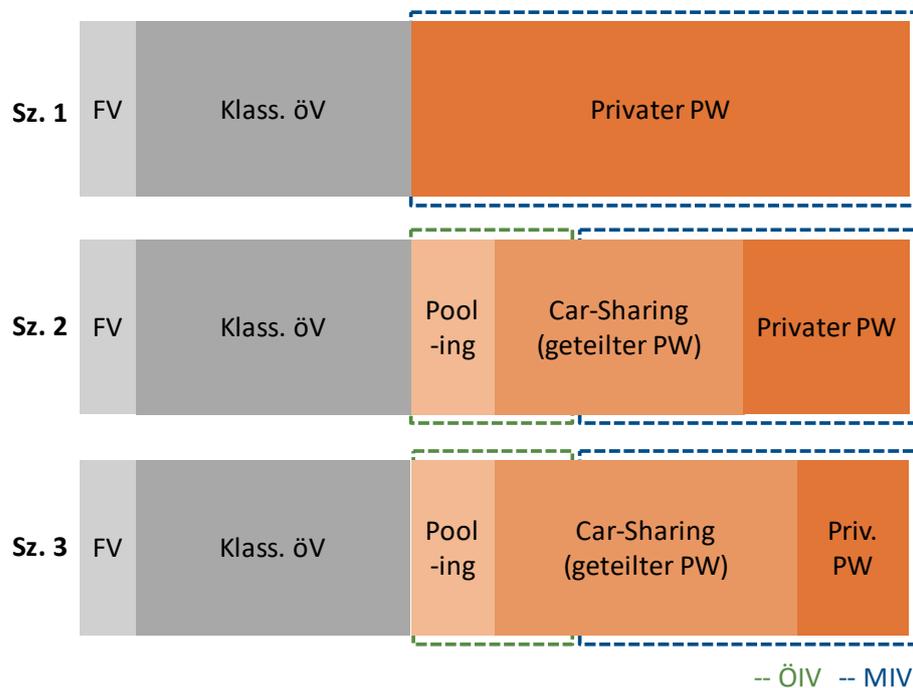
	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
				
Achsen/Trends	Referenz	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Automatisierung	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)
Car-Sharing	PW werden v.a. privat besessen	PW werden v.a. privat besessen	Car-Sharing gewinnt an Bedeutung: 2 private PW werden durch 1 PW ersetzt (-50 %)	Car-Sharing gewinnt an Bedeutung: 3 private PW werden durch 1 PW ersetzt (-67 %)
Ride-Sharing/Car-Pooling (neue Angebotsform ÖIV)	Fahrten werden kaum geteilt	Fahrten werden kaum geteilt	1/3 der Fahrten im MIV sind neu gepoolt (→ ÖIV)	1/3 der Fahrten im MIV sind neu gepoolt (→ ÖIV)

MIV: Motorisierter Individualverkehr, ÖIV: Öffentlicher Individualverkehr, ÖV: Öffentlicher Verkehr, PW: Personenwagen.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um die Effekte der neuen Angebotsform ÖIV in den Szenarien 2 und 3 abbilden zu können, sind die Annahmen zum Ride-Sharing/Car-Pooling sowie Car-Sharing zentral. Der ÖIV wird als Angebotsform in den Verkehrsmodellen des UVEK nicht abgebildet. Es waren daher Annahmen zum MIV zu treffen, die diese Entwicklungen mitberücksichtigen. Wie bereits erläutert, verstehen wir den Begriff des Car-Sharing sehr breit, d.h. es handelt sich hierbei um die Nutzung von Fahrzeugen, die nicht privat besessen und genutzt, sondern (teilweise sequentiell) geteilt werden. Im ÖIV finden die Fahrten nicht in einem privat besessenen Fahrzeug statt. Gleichzeitig gehen wir davon aus, dass nicht alle Fahrten geteilt werden. Für den ÖIV resultieren daher Fahrten, die geteilt werden (Ride-Pooling) sowie auch Fahrten, die nicht geteilt werden (Car-Sharing). Wie sich die Anzahl Fahrten schematisch auf die verschiedenen Verkehrsmittel aufteilen, ist in der folgenden Abbildung je Szenario dargestellt. Dieses grobe Mengengerüst dient als Grundlage für die Abschätzung der Effekte der Digitalisierung auf die Stellschrauben des UVEK-Verkehrsmodells NPVM bezogen auf den MIV (einschliesslich ÖIV). Nicht in der Abbildung dargestellt ist, dass in Szenario 1 und 3 80 % bis 100 % der PWs hoch- oder vollautomatisiert sind.

Abbildung 24: Schematische Aufteilung der Fahrten nach Verkehrsmittel je Szenario



FV: Fuss- und Veloverkehr (keine Unterteilung in geteilte und private Velo).

Szenario 1: Die zurückgelegten Fahrten im privaten PW entsprechen der Referenz von 2017 und enthalten einen vernachlässigbaren Anteil von Ride-Sharing/Car-Pooling und Car-Sharing (Stand heute). Die Fahrten finden grundsätzlich in einem privaten PW statt.

Grafik INFRAS/DLR.

Die drei Eckszenarien können im Personenverkehr grob wie folgt skizziert werden:

- **Automatisierung:** Das Szenario «Automatisierung» geht von einer hohen Durchdringung hoch- oder vollautomatisierter Fahrzeuge im Strassen- und Schienenverkehr aus (80 % bis 100 %). Die Präferenzen der Haushalte für Fahrzeugbesitz sind hoch, weswegen Fahrzeuge kaum geteilt werden. Das gleiche gilt auch für das Teilen von Fahrten.
- **Sharing:** Der Fahrzeugbesitz verliert an Bedeutung (-50 % PWs) und das Teilen von Fahrten setzt sich immer mehr durch (1/3 der Fahrten). Der technologische Fortschritt hin zu fahrerlosen Fahrzeugen entwickeln sich nur langsam oder die Akzeptanz und Rahmenbedingungen verhindern eine starke Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen.
- **Servicewelt:** Die Automatisierung und Sharing entwickeln sich gleichzeitig und beeinflussen sich gegenseitig. Die Mehrheit der Fahrzeuge sind automatisiert (80 bis 100 %), der PW-Besitz verliert an Bedeutung (-67 % der PWs) und das Teilen von Fahrten erfährt einen Aufschwung (1/3 der Fahrten gepoolt). Es entsteht eine Mobilitäts-Servicewelt.

Die detaillierte Skizzierung der drei Szenarien und die Auswirkungen auf die Stellschrauben für die Modellanalysen werden in den folgenden Kapiteln je Szenario dargelegt.

5.1.2. Szenario 0 (Referenz)

Zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen im Personenverkehr wurde das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) genutzt (vgl. Kap. 2.2.2). Zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung war das NPVM für das Basisjahr 2017 etabliert (ARE 2020a). Eine Testprognose wurde für das Jahr 2040 durchgeführt. Die Prognosen bzw. Verkehrsperspektiven 2050 waren in Arbeit und standen daher nicht zur Verfügung. Eine Fortschreibung für das Jahr 2060 als Szenario 0 war daher zu entwickeln. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich nicht um eine Prognose für das Jahr 2060 handelt, sondern um eine methodische Vergleichsbasis und – aufgrund der parallelen Erarbeitung – auch nicht mit den laufenden Verkehrsperspektiven 2050 direkt abgestimmt wurde (vgl. hierzu Kap. 6.1).

Für das Jahr 2060 erstellte das ARE für das Szenario 0 eine vereinfachte Fortschreibung gestützt auf dem Basiszustand 2017 (d.h. Modellparameter zum Verkehrsverhalten, den Aussenverkehren, Angebotsnetzen etc. entsprechen dem Basiszustand 2017) unter Berücksichtigung der aktuellen Bevölkerungsszenarien des BFS für die Kantone 2050 (BFS 2020a, mittleres Referenzszenario), welche das ARE bis 2060 hochgerechnet hat. Das Vorgehen zur Hochrechnung der Strukturdaten ist im NPVM-Schlussbericht dokumentiert (ARE 2020a, Abschnitt 5.3.1).

Die Stellschrauben im NPVM sind sehr detailliert (z.B. differenziert nach Nachfragesegmenten, nach Gemeinden oder nach Strassentypen), so dass im Folgenden zwar einzelne Modellparameter bzw. Stellschrauben des Szenario 0, aber nicht alle quantitativen Grundlagen dargestellt werden.²⁸ Zudem geben wir teilweise Bandbreiten der Veränderungen an. Weisen wir Veränderungen aus, beziehen sich diese i.d.R. auf die Veränderung des jeweiligen Wertes eines Parameters ggü. dem Referenzjahr 2060. Für weitergehende Grundlagen verweisen wir auf den NPVM-Schlussbericht (ARE 2020a) bzw. den VISUM-Versionen des Modells, die i.d.R. publiziert sind.²⁹

Mobilitätsrate (MR)

Die spezifische Verkehrsaufkommensrate (SVA) bzw. die Mobilitätsrate ist eine entscheidende Eingangsgrösse für das Modell. Sie gibt an, wie viele Wege einer bestimmten Quelle-Ziel-Gruppe (QZG) im Mittel von einer Person der zugehörigen Verhaltenshomogenen Gruppe (VHG) pro betrachtete Zeiteinheit (im NPVM Werktage) zurückgelegt werden. Die nach QZG,

²⁸ Die detaillierten Modellzustände als VISUM-Versionen können beim ARE angefragt werden.

²⁹ Vgl. hierzu <https://forsbase.unil.ch/project/study-public-overview/16671/0/>.

nach VHG und zusätzlich nach Raumtyp (städtisch, intermediär, ländlich) differenzierte Berechnung der SVA bzw. MR für das NPVM erfolgt anhand des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) 2015 (vgl. ARE 2020a).

Die Mobilitätsraten im Szenario 0 entsprechend dem Basiszustand 2017 und sind im NPVM-Schlussbericht zusammenfassend dargestellt (ARE 2020a, Anhang 7.7, S. 318–323). Für die Szenarien 1–3 wurden bei einzelnen VHG relative Veränderungen der MR berücksichtigt.

Value of Time

Der VoT gibt die Zahlungsbereitschaft für Reisezeitveränderungen an. Im NPVM wird dieser nach der Quelle-Ziel-Gruppe sowie des Raumtyps (ländlich, intermediär, städtisch) differenziert. Im Szenario 0 erfolgt die Reisezeitbewertung für 2060 basierend auf dem Basiszustand 2017, d.h. es werden keine Veränderungen berücksichtigt. Im NPVM wird zur Darstellung der Auswahlwahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittelalternativen eine Bewertungsfunktion benutzt. Im NPVM-Modell wird die Logit-Funktion verwendet bzw. für ausgewählte Kenngrößen eine Box-Tukey-transformierte Logit-Funktion (vgl. Kap. 2.1.1 in ARE 2020a). Für den MIV erhielten wir als Grundlage die Parameterwerte der Bewertungsfunktion differenziert nach Raumtyp (vgl. Anhang A1, Tabelle 66).

Im ÖV wurde der VoT weder gegenüber dem Basiszustand noch in den Szenarien 1–3 angepasst. Hierzu ist anzumerken, dass Veränderungen des Value of Time durch eine vermehrte Nutzung von Smartphones im ÖV nicht in der vorliegenden Studie berücksichtigt wurde, da dies nicht eine Folge der Digitalisierung in der Mobilität, sondern generell in der Gesellschaft darstellt und auch grundsätzlich hinterfragt werden könnte (vgl. hierzu auch Abschnitte 4.4.1.1.1 bzw. 4.4.1.2.5).

Kosten (MIV, ÖV)

Die Kosten im MIV beziehen sich auf die variablen Kosten des Fahrzeugbetriebs, die nach Antriebstechnologie (Benzin, Diesel, Elektro, Hybrid) und Grössenklasse (Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse) differenziert sind. Das NPVM nutzt generell diese variablen relativen Kosten zwischen MIV und ÖV als Entscheidungsparameter (und keine Vollkosten). Je nach Flottensammensetzung der einzelnen Gemeinde resultiert ein spezifischer Kostensatz pro Gemeinde. Die Kostensätze werden in einem separaten Modul zum NPVM hergeleitet, welches uns das ARE zur Verfügung stellte. Der mittlere KM-Kostensatz im NPVM für den PW beträgt 27.1 Rp. Die zu Grunde liegende ausdifferenzierte Kostentabelle sowie die verwendeten Quellen und getroffenen Annahmen sind in der Übersicht in Anhang 7.9 des NPVM-Schlussberichts (ARE 2020a) dargestellt. In Abstimmung mit dem ARE wurden die Kostensätze für die Szenarien 1–3 unter Berücksichtigung veränderter Jahresfahrleistungen (Berücksichtigung Sharing-Effekt) und

relativen Veränderung des Kostensatzes (Berücksichtigung Automatisierungs-Effekt) hergeleitet.

Im ÖV werden als Mobilitätswerkzeuge die ÖV-Abos berücksichtigt, die Grundlage für die Tarife bilden (Tabelle 15). Im ÖV ist die heutige Tarifstruktur (Generalabonnement (GA), Verbundabonnement, Halbtax (HT), Vollpreis) abgebildet. Es werden fünf Tarifkategorien unterschieden: GA, Verbundabo bis 12 km, Verbundabo ab 12 km, HT, Vollpreis. Es wurde in den Szenarien 1–3 angenommen, dass die Reduktion der Kosten der Reduktion der Preise für distanzabhängige Tarife entspricht und für Abos keine Veränderung resultiert. Gegenstand des Projektes war es nicht, veränderte Tarifstrukturen abzubilden und daraus resultierende Wirkungen aufzuzeigen.

Tabelle 15: ÖV Tarifstruktur

Spalte 1	Spalte 2
Generalabonnement (GA)	3 CHF/Fahrt
Verbundabo	bis 12 km Fixpreis 3 CHF/Fahrt
Verbundabo	ab 12 km Mittelwert HT- und Vollpreis
Halbtax (HT)	Distanz- und Tarifabhängig
Vollpreis	Distanz- und Tarifabhängig

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE 2020a.

Besetzungsgrade (BG)

Im NPVM wird die durchschnittliche Besetzung von PW im MIV an durchschnittlichen Werkzeugen (DWV) differenziert nach Fahrtzweck und Distanzklasse erfasst (Tabelle 16). Für das Szenario 0 wurden diese übernommen, d.h. nicht verändert. Diese Werte bildeten Basis für die relative Veränderung in den Szenarien 1–3.

Tabelle 16: Besetzungsgrade im NPVM (Basiszustand 2017 = Szenario 0 im 2060)

	Fahrtzweck	Besetzungsgrad					Mittelwert	
		< 5	5 - 10	10 - 25	25 - 50	> 50		
Arbeit, einfach (Angestellte)	A(A)	1.05					1.12	1.06
Arbeit, qualifiziert (Selbständig, Kader)	A(SK)	1.08						
Bildung, Schule	B(S)	1.31						
Bildung, Universität	B(U)	1.11						
Einkauf, kurzfristig	E(k)	1.29	1.32	1.38	1.35		1.31	
Einkauf, langfristig	E(l)	1.37	1.50	1.55	1.70		1.47	
Nutzfahrt (Dienstlich/Geschäftlich)	N	1.15						
Begleitung Kinder	Bg(K)	1.99		2.10	2.11		2.01	
Freizeit, kurz (<= 10 km)	F(k)	1.42	1.48				1.44	
Freizeit, lang (> 10 km)	F(l)			1.58	1.63	1.83	1.63	
Arbeit (nicht heimatgebunden)	A	1.21					1.28	1.22
Sonstiges (nicht heimatgebunden)	S	1.51	1.60		1.73	1.65	1.57	
Mittelwert über alle Zwecke								1.34

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE 2020a.

Infrastrukturkapazitäten

Die Infrastrukturkapazitäten im NPVM wurden im Szenario 0 für das Jahr 2060 ggü. dem Basiszustand 2017 unverändert übernommen (Tabelle 67 im Anhang A1). Diese Werte bildeten die Vergleichsbasis für die relative Veränderung in den Szenarien 1–3. Aufgrund wachsender Bevölkerung bei gleichbleibenden Infrastrukturkapazitäten zwischen 2017 und 2060 resultieren Nachfrageeffekte (v.a. verstärkte Überlastung auf den Strassen was zu höheren MIV-Reisezeiten und somit höhere ÖV-Nachfrage führt), die im Weiteren nicht analysiert werden. Das Szenario 0 ist also keine Prognose. Im Vordergrund der Studie stehen die Veränderungen in den drei Eckszenarien im Vergleich zum Szenario 0 für das Jahr 2060.

ÖV-Anbindungszeit

Im Rahmen von Sensitivitätsberechnungen wurde die ÖV-Anbindungszeit ggü. dem Basiszustand verändert (vgl. Kap. 5.1.7). Die Anbindungszeit im ÖV ist ein Produkt aus Distanz zur Haltestelle und durchschnittlicher Geschwindigkeit (vgl. ARE 2020a, S. 70–71).

5.1.3. Szenario 1: Automatisierung im Personenverkehr

5.1.3.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

Im Eckszenario 1 wird angenommen, dass sowohl der Strassen- als auch Schienenpersonenverkehr vollständig bzw. zu einem sehr hohen Grad, d.h. 80 bis 100 %, hoch- bzw. vollautomatisiert (Level 4 + 5 bzw. GoA 4) ist. Die Automatisierung im MIV führt zu einem Komfortgewinn, da der Fahrer bzw. die Fahrerin einen Teil der Zeit produktiv nutzen können. Der heutige Vorteil des ÖV diesbezüglich gegenüber dem MIV verringert sich somit. Gleichzeitig kann die Automatisierung im ÖV auf Strasse und Schiene zu Produktivitätssteigerungen und Kostensenkungen (Personalkosten) führen, wobei die Investitionskosten in die Fahrzeuge aufgrund höherer Anschaffungskosten (zusätzliche Ausstattung mit Sensorik etc.) steigen.

Mit der Automatisierung im Strassenpersonenverkehr sind verschiedene verkehrliche Effekte verbunden, die einerseits die Gesamtnachfrage (Mobilitätsrate) und andererseits den Modal Split beeinflussen. Im motorisierten Individualverkehr (MIV) können neue Nutzergruppen (junge und mobilitätseingeschränkte Personen) zu einer Erhöhung der Gesamtnachfrage und Verlagerung vom ÖV auf den MIV führen. Gleichzeitig sind vermehrt Leerfahrten möglich, die in einem zusätzlichen Anstieg der Nachfrage (Fahrleistung) resultieren. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Besetzung der Fahrzeuge im MIV. Die Präferenz für Sharing ist in diesem Szenario – per Definition – sehr gering.

Die Quantifizierung dieser Effekte wird im Folgenden je Stellschraube und bezogen auf das Prognosejahr 2060 beschrieben. Die Entwicklung der jeweiligen Stellschrauben über die Zeit erläutern wir nicht.

5.1.3.2. Effekte auf die Stellschrauben

Mobilitätsrate

- Die Automatisierung der Strassenfahrzeuge führt zu neuen Nutzergruppen, die den MIV nutzen können und dadurch neue Fahrten unternehmen, die vorher nicht stattfanden (induzierter Verkehr). Hierbei ist v.a. das Alter und der Besitz von Mobilitätswerkzeugen relevant: Eine Zunahme wird für junge und insbesondere auch für älter Personen erwartet, die keinen Führerausweis haben und bisher selbst nicht Auto fahren (Truong et al. 2017).
- Zur Abschätzung der Veränderung der Mobilitätsrate (bzw. des Spezifischen Verkehrsaufkommens, SVA³⁰) wurden die Mobilitätsraten der entsprechenden Altersklasse der verhaltenshomogenen Gruppen wie folgt angepasst³¹:

Tabelle 17: Veränderung der Mobilitätsrate im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0

Altersklasse	Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0
≤ 17	+3.0 %
18–24	keine Veränderung angenommen
25–44	
45–64	
65–74	+5.0 %
≥ 75	+18.5 %
≥ 65	+10.0 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Truong et al. 2017.

Value of Time (MIV, ÖV)

- Die Automatisierung führt dazu, dass die Zeit im Fahrzeug produktiver genutzt werden kann und sich dadurch der VoT im MIV reduziert. Die Fahrt in einem automatisierten Fahrzeug ist in Bezug auf den VoT vergleichbar mit dem ÖV. Basierend auf der Literatur und Einschätzung von ExpertInnen setzen wir die maximale Reduktion des VoT durch die Automatisierung auf

³⁰ Für die korrekte Berechnung des Gesamtverkehrsvolumens sind die spezifischen Verkehrsaufkommensraten (SVA) bzw. Mobilitätsraten die entscheidende Eingangsgrösse. Diese geben an, wie viele Wege einer bestimmten Quelle-Ziel-Gruppe (QZG) im Mittel von einer Person der zugehörigen verhaltenshomogenen Gruppe (VHG) pro betrachtete Zeiteinheit (im NPVM Werkzeuge) zurückgelegt werden. Die nach QZG, nach VHG und zusätzlich nach Raumtyp differenzierte Berechnung der SVA für das NPVM erfolgt anhand des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (MZMV 2015). Im Zuge der Kalibration des Nachfragemodells wurden die berechneten Raten leicht angepasst, um die Verteilung der Fahrtzwecke den Verhältnissen des MZMV anzugleichen. Die im NPVM verwendeten SVA sind in Tabelle 75 (Anhang 7.4) des Schlussberichts (ARE 2019b) aufgeführt.

³¹ Grundsätzlich sind auch Änderungen in der Altersgruppe von 18–64 Jahren möglich, z.B. Personen ohne Führerausweis, die neu ein Auto nutzen können. Wir gehen jedoch davon aus, dass diese Fälle vernachlässigbar sind.

40 % (vgl. Tabelle 18) (Kolarova et al. 2019, Kolarova et al. 2020, Correia et al. 2019). Speziell für die Schweiz existieren zwei Studien mit Resultaten (Hörl et al. 2019) und Annahmen (Axhausen et al. 2020) zur Reduktion des VoT für private, automatisierte Fahrzeuge. Da die Resultate von Hörl et al. (2019) nicht den plausiblen Erkenntnissen der internationalen Literatur entsprechen, verwenden wir diese Resultate nicht für die Annahmen zu den Stellschrauben (vgl. Diskussion in Kapitel 4.4.1.1.1). Auch die Annahmen von Axhausen et al. (2020) verwenden wir nicht als primäre Quelle, weil es sich dabei um Annahmen und nicht Resultate handelt. Axhausen et al. (2020) nehmen jedoch eine Reduktion um 50 % des VoT an für private, automatisierte Fahrzeuge, was in der gleichen Größenordnung liegt, wie unsere Annahmen.

- Aus der Literatur folgt, dass der Effekt der Automatisierung auf den VoT sensitiv bezüglich zurückgelegter Distanz und Wegezwecke ist (Kolarova et al. 2019, Kolarova et al. 2020, Hörl et al. 2019).
 - Distanzklasse: Im NPVM des UVEK wird eine Box-Tukey-Transformation verwendet zur Berechnung der VoT (vgl. Kap. 5.1.2). Diese Transformation umfasst bereits eine Sensitivität bezüglich der Distanzklasse. Weil es schwierig ist, diesen Effekt gegenüber dem Effekt der Automatisierung abzuwägen, berücksichtigen wir keine Veränderung in Bezug auf die Distanzklasse.
 - Fahrtzweck: Datenanalysen von Kolarova et al. (2019) zeigen deutliche Unterschiede in den VoT-Änderungen nach Fahrtzweck aufgrund der Automatisierung. So zeigen sich für Fahrten zum Einkauf oder in der Freizeit keinen Effekt. Grund ist, dass Personen weniger davon profitieren, die Zeit für andere Aktivitäten zu nutzen als z.B. bei Pendlerfahrten. Unsere abgeleiteten Annahmen wurden von o.g. Expertin validiert. Wir nehmen an, dass die Reduktion der VoT für Pendlerfahren - Arbeit und Ausbildung - am höchsten sind, weil es wahrscheinlicher ist, dass sie von der Nutzung der Reisezeit für andere Aktivitäten profitieren (eigene Annahme angelehnt an Kolarova et al. 2019).

Tabelle 18: Veränderung des VoT im MIV im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0

Fahrtzweck	Veränderung des VoT ggü. Szenario 0
Arbeit	-40 %
Ausbildung	-40 %
Einkauf	0 %
Freizeit	0 %
geschäftliche Tätigkeit & Dienstfahrt	-30 %
Service- & Begleitung	-30 %
Sonstiges	0 %
total (aufkommensgewichtet)	-14 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Kolarova et al. 2019, Kolarova et al. 2020, Correia et al. 2019.

- Im **ÖV** gehen wir in allen drei Szenarien davon aus, dass keine Veränderung stattfindet, weil keine Änderung der Zeitnutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen besteht.

Kosten (MIV, ÖV)

- Aufgrund der Automatisierung und Vernetzung werden die Kosten für die Anschaffung von Fahrzeugen im **MIV** im Vergleich zur Referenz steigen (z.B. aufgrund eingebauter Sensorik und Kameras) (vgl. z.B. Milakis et al. 2017, Bösch et al. 2018, Buffat et al. 2018, Bruns et al. 2020). Es wird davon ausgegangen, dass die jährlichen Betriebskosten (Unterhalt, Wartung etc.) automatisierter Fahrzeuge sich nicht anders als konventionelle Fahrzeuge entwickeln (Huang et al. 2019). Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge erlaubt u.a. Ferndiagnosen, was die allenfalls höheren Kosten im Unterhalt der Sensorik kompensieren kann (Nowak et al. 2016).
- Für die Abschätzung der Effekte gehen wir von einer Erhöhung der MIV-Kosten pro Fahrzeugkilometer des Basiszustands im NPVM gemäss Bruns et al. (2020) um rund +4 % aus. Die Struktur der Flottenzusammensetzung je Gemeinde bleibt unverändert, da wir in der vorliegenden Arbeit und im Szenario 1 auf die Effekte der Automatisierung fokussieren. Die durchschnittlichen Jahresfahrleistungen der im NPVM zugrunde gelegten Fahrzeugkategorien werden ebenfalls beibehalten. Auch der Effekt einer zunehmenden Elektrifizierung wird nicht berücksichtigt.
- Für den **ÖV** wird – in allen drei Szenarien 1–3 – davon ausgegangen, dass die heutigen Tarifstrukturen (v.a. Pauschalfahrausweise) beibehalten werden. Es werden vier bzw. fünf Tarifgruppen (Generalabonnement (GA), Verbundabo bis/ab 12 km, Halbtax (HT), Vollpreis) erfasst.
- Dies stellt eine vereinfachte Annahme aufgrund der heutigen Struktur der Annahmen im NPVM dar. Mit zunehmender Datenverfügbarkeit gehen wir davon aus, dass das Prinzip

«pay-as-you-use» zunehmend Anwendung finden wird und Pauschalfahrausweise v.a. in einer Mobilitäts-Servicewelt hinterfragt werden könnten.

- Durch die Automatisierung im ÖV (Strasse, Schiene) sinken v.a. aufgrund des Wegfalls von Personalkosten (Lokführerin, Chauffeur) die Kosten. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern dieser Effekt auf die Preise wirkt. Im vorliegenden Fall gehen wir in allen drei Szenarien 1–3 davon aus, dass die Veränderung der Kosten gleich der Veränderung der Preise ist, d.h. die Kostenreduktionen werden an die KundInnen vollständig weitergegeben. Dies führt zu einer Reduktion der Preise im ÖV.³²
- Inwiefern die Abgeltungen der öffentlichen Hand sinken könnten und der Kostendeckungsgrad im ÖV tendenziell steigt, wurde nicht berücksichtigt und die verkehrlichen Wirkungen daher nicht ausgewiesen. Dieser Aspekt ist aber in Bezug auf die Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen aufzugreifen
- Die Preis- bzw. Kosteneffekte der Automatisierung im ÖV variieren je nach Bezugsgrösse (Fahrzeugkilometer, Personenkilometer). Für die vorliegenden Abschätzungen gehen wir basierend auf der nationalen Literatur von einer Reduktion der distanzabhängigen Preiskomponenten (relevant bei Verbundabo ab 12 km, HT und Vollpreis von durchschnittlich rund 10 % aus (Bösch et al. 2018; Bruns, de Haan et al. 2018a; Sinner und Weidmann 2019, Axhausen et al. 2019).

Besetzungsgrade

- In vollautomatisierten Fahrzeugen – **MIV** – muss kein Fahrer mehr im Fahrzeug sitzen. Durch das Bringen und Abholen von Personen können deshalb Leerfahrten entstehen. Dies hängt insbesondere auch davon ab, ob diese privat besessen oder geteilt werden. Zum Beispiel können automatisierte Fahrzeuge Mitglieder eines Haushaltes nacheinander zur Arbeit/Schule bringen, wobei dazwischen Leerfahrten entstehen. Durch die Leerfahrten sinkt der durchschnittliche Besetzungsgrad der Fahrzeuge im städtischen Raum um 8 % und im ländlichen Raum um 15 % (Hörl et al. 2019). Hörl et al. (2019) verwenden diese Annahmen für kommerzielle Dienstleistungen und stützen sich auf bestehender Literatur ab (Fagnant et al. 2015, Bösch et al. 2016). Für Privatfahrzeuge schliessen sie Leerfahrten aus, weil weitreichende Annahmen nötig wären, welche über den Rahmen ihrer Studie hinausreichen. Meyer et al. (2017) und Soteropoulos et al. (2019) nehmen an, dass der Anteil an Leerfahrten für private AV 5 % bis 12 % bzw. 10 % beträgt. Wir verwenden basierend auf Hörl et al. (2019)

³² Aufgrund der Tarifhoheit der Transportunternehmen im (konzessionierten) ÖV, den öffentlichen Angebotsbestellungen bzw. Konzessionierung im Fernverkehr und den öffentlichen Subventionen ist die Tarifhöhe v.a. eine politische Frage. Für die vorliegende Analyse gehen wir davon aus, dass auch künftig im Sinne der Grundversorgung öffentliche Verkehre öffentlich bestellt und finanziert werden.

und Meyer et al. (2017) – welche die bestmöglichen verfügbaren Werte sind für die Schweiz – folgende Annahmen für Leerfahrten durch Umwege, Rückkehr zur Basis etc.:

- Differenziert nach Distanzklasse nehmen wir an, dass der Anteil an Leerfahrten 8 % für den städtischen Raum (Distanz einer Fahrt < 10km) und 15 % für den ländlichen Raum (Distanz einer Fahrt > 10km) ist.
- Da in der Literatur nicht nach Fahrtzweck unterschieden wird, nehmen wir für alle Fahrtzwecke einen durchschnittlichen Wert von 12 % und somit eine Reduktion der Besetzungsgrade um 12 % an.
- Zusätzlich zu den Leerfahrten durch Umwege, Rückkehr, etc. entstehen im **MIV** auch leere Fahrten durch Wartung, Reinigung und Reparatur. Wie hoch der Anteil dieser Leerfahrten ist, hängt u.a. von der Dichte des Tankstellennetzes bzw. der Ladestationen und Verfügbarkeit von Reparaturwerkstätten ab. Wir orientieren uns für die Leerfahrten-Anteile an den in der Literatur vorhandenen Werten (Hörl et al. 2019 für kommerzielle Dienstleistungen³³, Soteropoulos et al. 2019). Der Anteil beträgt 5 %. Es existiert in der Literatur keine Angabe dazu, dass sich dieser Wert nach Distanzklasse oder Fahrtzweck unterscheidet.
- Insgesamt entstehen aufgrund unserer Annahmen durch die Automatisierung im MIV Leerfahrten, welche zu einer Reduktion der Besetzungsgrade zwischen 13 % bis 20 % (8 % bis 15 % für Leerfahrten aufgrund Umwege etc. plus 5 % Leerfahrten durch Wartung etc.) führen.
- Im **ÖV** gibt es keine relevanten Effekte der Automatisierung auf die Besetzungsgrade.³⁴

Tabelle 19: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0

Distanzklasse	Veränderung der Besetzungsgrade ggü. dem Szenario 0
< 5km	-13 %
5-10 km	-13 %
10-25 km	-20 %
25-50km	-20 %
> 50 km	-20 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Meyer et al. 2017, Hörl et al. (2019), Soteropoulos et al. (2019).

³³ Die Zahlen von Hörl et al. (2019) stammen zwar von bisherigen Car-Sharing-Dienstleistungen, sind aber für die Schweiz die bestmögliche Annäherung.

³⁴ In der vorliegenden Studie gehen wir davon aus, dass sich die Gefässgrößen und die Besetzungsgrade im (klassischen) ÖV aufgrund der Automatisierung nicht verändern. Die aktuellen Pilotversuche automatisierter Fahrzeuge im kollektiven Verkehr werden zwar i.d.R. mit kleineren Fahrzeugen durchgeführt. Wir gehen hierbei davon aus, dass dies auf die infrastrukturellen Voraussetzungen sowie regulatorischen Rahmenbedingungen (Konzessionspflicht erst ab 9 Personen) zurückzuführen ist.

5.1.4. Szenario 2: Sharing im Personenverkehr

5.1.4.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

In diesem Szenario hat Automatisierung kaum eine Bedeutung, weil es technisch nicht machbar ist oder gesellschaftlich nicht akzeptiert wird. Der Gedanke der Kollaboration und des Teilens (Sharing) hat sich in der Mobilität durchgesetzt und ist weit verbreitet. App-basierte Vermittlungsplattformen erleichtern die Vermittlung von Fahrten und Fahrzeugen. Besitz verliert an Bedeutung. Die Grenzen zwischen ÖV und MIV verschwimmen (vgl. auch Kap. 2.1 sowie 3.2.2). Ergänzt wird das Angebot des klassischen ÖV durch neue bedarfsgerechte, kollektive – d.h. gebündelte – Verkehre (ÖIV). Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling Angebote fassen wir zusammen und definieren wir als öffentlichen Individualverkehr (ÖIV). Im ÖIV werden Fahrten bedarfsgerecht gebündelt und sind daher kollektiv. Modellbedingt wird der ÖIV für die Modellierung mit dem NPVM dem MIV zugeordnet. Der ÖIV führt sowohl zu einer Reduktion im privaten, individuellen MIV als auch klassischen ÖV. Anbieter können sowohl kommerziell als auch nicht-kommerziell orientiert sein. Wir gehen davon aus, dass der ÖIV überwiegend kommerziell durch neue Mobilitätsanbieter (wie z.B. mybuxi) aber auch bestehenden Transportunternehmen (wie z.B. Pikmi in Zürich) angeboten wird. Inwiefern solche Angebote durch die öffentliche Hand als Grundversorgung bestellt werden, wurde vorliegend nicht vertieft untersucht. Fahrzeuge und Fahrten werden häufiger geteilt (Car-Sharing, Car-Pooling, Ride-Sharing und Ride-Pooling), und bestehende Ressourcen werden effizienter genutzt (vgl. Kap. 3.2). Wir gehen davon aus, dass ein Drittel der Fahrten im MIV gepoolt ist (Car-Pooling, Ride-Sharing) und der PW-Besitz an Bedeutung verliert (2 private PW werden durch 1 privaten PW ersetzt). Die neuen Angebote sind im Vergleich zum Besitz eines Fahrzeuges günstiger, wodurch die Ausgaben für die Mobilität sinken. Neue Angebotsformen (Bedarfsverkehre) im kommerziellen Bereich v.a. mit Personenwagen und Vans können den konventionellen öffentlichen Verkehr konkurrenzieren.

Wie sich die einzelnen Stellschrauben dadurch verändern wird im folgenden Abschnitt erläutert. Wie bereits in der Literaturanalyse beschrieben ist die Datenlage zu den Auswirkungen des Sharing sehr lückenhaft. Viele Studien führen «Stated Preference Befragungen» durch, um die Effekte zu schätzen. Änderungen durch Sharings sind für Befragte schwierig vorstellbar, weil es noch wenige Angebote dazu gibt. Ergänzend zu den «Stated Preference Befragungen» existieren in der Literatur Erfahrungen von Car-Sharing-Angeboten (nicht automatisiert) und (un-)gepoolten Transportation Network Companies (z.B. Uber oder Lyft). In beiden Fällen ist die Extrapolation jedoch schwierig. Die Abschätzung wurden deshalb mit der Begleitgruppe diskutiert und die Annahmen gemeinsam beschlossen.

5.1.4.2. Effekte auf die Stellschrauben

Mobilitätsrate

- Aufgrund von Sharing-Angeboten stehen Personen vielfältigere Mobilitätswerkzeuge zur Verfügung bzw. haben sie deutlich verbesserten Zugang zu diesen. Diese kann einerseits zu modalen Verlagerungen führen (z.B. PW statt ÖV, E-Bike-Nutzung statt Fussverkehr) und andererseits zu einer Erhöhung der Mobilität, d.h. einem Anstieg der Mobilitätsrate.
- Sowohl in der nationalen als auch internationalen Literatur wird davon ausgegangen, dass durch Formen des Sharings (v.a. Car-Sharing) Verkehr induziert wird, der ansonsten nicht stattgefunden hätte. Dies betrifft v.a. Haushalte, die keinen PW besitzen. Car- und Ride-Sharing-Angebote werden tendenziell von jüngeren Personen mit geringem Einkommen genutzt. Die Verhaltenshomogenen Gruppen (VHG) im NPVM differenzieren sowohl nach der Altersgruppe als auch dem Besitz von Mobilitätswerkzeugen (mit/ohne PW mit/ohne ÖV-Abo). Eine Differenzierung nach Einkommensklassen im NPVM erfolgt nicht.
- Für die Abschätzung der Entwicklung der Mobilitätsrate von Personengruppen ohne PW (mit und ohne GA oder Verbundabo) im Szenario 2 wird basierend auf Lutzenberger et al. 2018 (+5 % induzierter Verkehr bei Free-Floating Car-Sharing) sowie Hülsmann et al. (2018) (rund 90 % der Nutzenden von Car-Sharing sind 49 Jahre und jünger) eine Veränderung von durchschnittlich 5 % für die jüngeren Altersgruppen bis 44 Jahre zugrunde gelegt.

Tabelle 20: Veränderung der Mobilitätsrate im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 für Personen ohne PW

Altersklasse	Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0
≤ 17	
18–24	+5 %
25–44	
45–64	
65–74	keine Veränderung angenommen
≥ 75	
≥ 65	

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Lutzenberger et al. 2018, Hülsmann et al. 2018.

Value of Time (MIV, ÖIV, ÖV)

- Für die Abschätzung des Effekts der stärkeren Verbreitung des Sharings auf den VoT unterscheiden wir zwischen dem VoT für Fahrten in privat besessenen und genutzten Fahrzeugen, in Car-Sharing-Fahrzeugen (nicht privat besessen) und bei geteilten Fahrten (Car-/Ride-Pooling). Für die genaue Zusammensetzung der Gesamtfahrleistung verweisen wir auf Kapitel

5.1.1. In der Summe resultiert für den MIV (inkl. ÖIV) eine Reduktion um 3 % des VoT im Vergleich zur Referenz. Diese Reduktion resultiert durch Änderungen des VoT von geteilten Fahrten und Car-Sharing-Fahrzeugen:

- Ciari und Axhausen (2012) untersuchen die Auswirkungen von Car-Sharing auf den VoT (). Aus dieser Studie resultiert für Car-Sharing-Angebote (Teil des **MIV**) ein tieferer VoT als für private Fahrzeuge. Ein Grund dafür ist, dass eher Haushalte mit geringeren Einkommen (geringe Opportunitätskosten) solche Angebote nachfragen (Ciari und Axhausen 2012). Im Durchschnitt über alle Haushalte ist somit der VoT geringer für Car-Sharing-Angebote. In der Literatur resultiert eine Reduktion von 50 % für Car-Sharing. Wir erwarten jedoch, dass der VoT von Car-Sharing-Angeboten ähnlich wie bei privaten Fahrzeugen ist. Deshalb nehmen wir eine Reduktion des VoT von lediglich rund 15 % für Car-Sharing an.
- Angelehnt an Ciari und Axhausen (2012) nehmen wir für Car-Pooling/Ride-Sharing (**ÖIV**) eine Zunahme des VoT um 25 % an. Ein möglicher Grund für die Zunahme des VoT ist, dass die Fahrt mit unbekanntenen Personen geteilt wird.
- Es gibt keine Evidenz zur Sensitivität des Effekts nach Fahrtzweck oder Distanzklasse, deshalb haben wir den Effekt nicht danach variiert.
- Im **ÖV** gehen wir in allen drei Szenarien davon aus, dass keine Veränderung des VoT stattfindet, weil keine Änderung der Zeitnutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen besteht.

Kosten (MIV, ÖV)

- Im Szenario «Sharing» wird entsprechend der zentralen Annahmen im **MIV** davon ausgegangen, dass zwei PW durch einen PW ersetzt werden. Aufgrund von Car-Sharing und Ride-Sharing bzw. Ride-Pooling mit kommerziellen Flottenfahrzeugen werden die Jahresfahrleistungen der PW entsprechend erhöht. Hierbei ist implizit berücksichtigt, dass bei kommerziellen Flottenfahrzeugen deutlich mehr Fahrleistungen erbracht werden und demzufolge die Kostenreduktion höher wäre. Allerdings ist bei diesen Angeboten ein Fahrer notwendig, weswegen wir auf eine weitere Erhöhung der Jahresfahrleistung und damit Reduktion der Kosten verzichtet haben. Wir gehen davon aus, dass die Fahrleistungen durchschnittlich verdoppelt werden, was zu einer Reduktion der Kosten ggü. dem Szenario 0 im NPVM führt. Es wurde zudem angenommen, dass in städtischen und intermediären Räumen die Kosten zusätzlich um 1 % reduziert werden können, da anzunehmen ist, dass die Auslastung in diesen Räumen etwas höher ist. Daraus resultiert eine durchschnittliche Reduktion der Kosten MIV gemäss dem MIV-Kosten-Tool des NPVM um 11 %.
- Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass eine höhere Auslastung der Fahrzeuge (Zunahme des durchschnittlichen Besetzungsgrades) tendenziell zu niedrigeren Kosten (-5 %) führt.

Aufgrund der Annahme, dass v.a. in urbanen Räumen die Fahrzeuge besser ausgelastet werden können (höherer Pooling-Faktor) und dadurch der Besetzungsgrad steigt, werden die Kosten in städtischen und intermediären Gebieten zusätzlich gesenkt werden können. Unter der Annahme, dass der ÖIV einen Anteil an den Fahrten von rund einem Drittel hat und rund 50 % dieser Fahrten auch effektiv geteilt werden und daher ein Besetzungsgrad von mehr als 2 (inkl. Fahrer bzw. Fahrerin) haben, resultiert eine zusätzliche Kostenreduktion um 1 % bezogen auf die Kosten pro Fahrzeugkilometer in städtischen und intermediären Räumen.

- Ist das Teilen (statt Besitzen) beispielsweise aus ökologischen Gründen weit verbreitet, wird gemäss unseren Annahmen auch der **ÖV** attraktiver. Im Modell werden in diesem Sinn vereinfachend niedrigere Kosten pro Pkm angenommen.
- Für den öffentlichen Verkehr werden – analog dem Szenario 1 – eine Veränderung der distanzabhängigen Preiskomponente in drei der fünf Tarifgruppen (Generalabonnement (GA), Verbundabo bis/ab 12 km, Halbtax (HT), Vollpreis) berücksichtigt. Der pauschale Preis pro Fahrt von 3 CHF wird unverändert gelassen. Inwieweit im Jahr 2060 Pauschalerausweise und v.a. mit Blick auf Szenario 3 noch relevant sind, ist eine grundsätzliche Frage, die im Rahmen der vorliegenden Arbeiten betreffend die Veränderung zentraler Stellschrauben nicht diskutiert wird. Aufgrund fehlender Literatur sind wir von einer Reduktion der Kosten- bzw. Preise um 5 % der distanzabhängigen Preiskomponenten (relevant bei Verbundabo ab 12 km, HT und Vollpreis) ausgegangen.

Besetzungsgrade

- Durch Ride-Pooling/-Sharing steigt die Anzahl Personen pro PW um 22 % (Mühlethaler et al. 2011, Hörl et al. 2019, ITF 2020). Wir orientieren uns dabei am Minimalwert der vorhandenen Literatur. Zusätzlich dazu entstehen Umwege durch die gemeinsame Nutzung der Fahrzeuge und somit Leerfahrten. Wir schätzen den Anteil der ÖIV Fahrten, die ein Besetzungsgrad von 1 haben (Leerfahrten mit einem/r FahrerIn), gemäss Literatur auf 5 % (Soteropoulos et al. 2019).
- In der Literatur finden sich keine relevanten Effekte von Sharing auf die Besetzungsgrade im **ÖV** und **MIV**. Wir nehmen im MIV an, dass die Fahrten mit Car-Sharing im Durchschnitt gleich hoch besetzt sind wie private Fahrzeuge.
- Da der ÖIV im NPVM des UVEK ein Teil des MIV ist, ergibt sich insgesamt folgende Erhöhung der Besetzungsgrade nach Fahrtzweck und Distanzklasse:

Tabelle 21: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf den Fahrtzweck

Fahrtzweck	Veränderung der Besetzungsgrade ggü. dem Szenario 0
Arbeit	7 %
Bildung	6 %
Einkauf	6 %
Nutzfahrt	7 %
Freizeit	14 %
Sonstiges	6 %

Beispiel Herleitung Effekt Arbeit: Wir nehmen an, dass im Szenario 2 ein Drittel der Fahrten gepoolt sind (ÖIV, vgl. Tabelle 14). Der Besetzungsgrad für Fahrten zur/von der Arbeit beträgt in der Referenz 2060 1.28 (MIV und ÖIV). Dieser steigt gemäss Literatur für den ÖIV um 22 %. Zusätzlich dazu entstehen im ÖIV 5 % Leerfahrten (Besetzungsgrad von 1). Daraus resultiert ein Effekt von 7 % für den Fahrtzweck Arbeit für den MIV inkl. ÖIV.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR angelehnt an Mühlethaler et al. 2011, Hörl et al. 2019, ITF 2020, Soteropoulos et al. 2019.

Tabelle 22: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf die Distanzklasse

Distanzklasse	Veränderung der Besetzungsgrade ggü. dem Szenario 0
< 5km	14 %
5-10 km	14 %
10-25 km	6 %
25-50km	6 %
> 50 km	6 %

Beispiel Herleitung Effekt: analog zu Tabelle 21.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR angelehnt an Mühlethaler et al. 2011, Hörl et al. 2019, ITF 2020, Soteropoulos et al. 2019.

5.1.5. Szenario 3: Servicewelt («Mobility as a Service»)

5.1.5.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

Im Zentrum der «Servicewelt» stehen App-basierte Plattformen, welche ganzheitliche, intermodale Mobilitätsdienstleistungen («Mobility as a Service») vermitteln. Diese Plattformen ermöglichen verschiedene Verkehrsmittel einfach zu kombinieren.

Die Durchdringung automatisierter Verkehrsmittel in einer Mobilitäts-Servicewelt ist hoch (80 bis 100 %). Gleichzeitig haben Kollaboration und Sharing eine sehr hohe Bedeutung. Wir gehen davon aus, dass ein Drittel der Fahrten im MIV gepoolt ist (Car-Pooling, Ride-Sharing) und der PW-Besitz an Bedeutung verliert (3 private PW werden durch 1 privaten PW ersetzt).

Bedarfsorientierte Mobilität führt zu Nachfrageänderungen im MIV und klassischen ÖV; die Grenzen verschwimmen. Im strassengebundenen kollektiven, gebündelten Verkehr sind die

«Gefässgrößen» tendenziell kleiner. Die Effizienz im ÖV steigt. Der regelmässige, Fahrplangebundene Linienverkehr zu Randzeiten und in weniger dicht besiedelten Gebieten verliert an Bedeutung. Rufbusse und andere Ride-Pooling Angebote gewinnen an Bedeutung.

Welche quantitativen Annahmen für die Stellschrauben daraus resultieren wird folgend dargelegt. Wie in Tabelle 14 beschrieben ist der Effekt in Szenario 3 eine Kombination der Effekte von Szenario 1 und 2.

5.1.5.2. Effekte auf die Stellschrauben

Mobilitätsrate

- In einer Mobilitäts-Servicewelt mit automatisierten Fahrzeugen steigen die Mobilitätsraten von Personen ohne PW aufgrund neuer Nutzergruppen sowohl im MIV (analog Szenario 1) als auch bei den neuen Sharing-Angeboten (analog Szenario 2). Für die vorliegenden Abschätzungen wird davon ausgegangen, dass beide Effekte additional sind und sich die Mobilitätsrate in Abhängigkeit der Altersgruppe ggü. dem Szenario 0 verändert.
- Im Ergebnis dieser Annahmen ergeben sich die in Tabelle 23 dargestellten Veränderungsrate ggü. dem Szenario 0.

Tabelle 23: Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0 im Szenario 3 von Personen ohne PW

Altersklasse	Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0
≤ 17	+8.0 %
18–24	+5.0 %
25–44	+5.0 %
45–64	keine Veränderung
65–74	+5.0 %
≥ 75	+18.5 %
≥ 65	+10.0 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Lutzenberger et al. 2018, Hülsmann et al. 2018, Truong et al. 2017.

Value of Time (MIV, ÖIV, ÖV)

- Zur Abschätzung des Effekts von Maas auf den VoT sind folgende Auswirkungen zu berücksichtigen:
 - Konventionelle Fahrzeuge sind automatisiert. Wir berücksichtigen dafür den Effekt der Automatisierung von maximal -40 % der VoT wie in Szenario 1. Von Szenario 1 übernehmen wir auch die Variation nach Fahrtzweck.
 - Für Car-Sharing und Car-/Ride-Pooling ist zusätzlich zu Szenario 2 nun auch der Effekt der Automatisierung zu berücksichtigen. In der Literatur existieren nur zwei Studien von

Krueger et al. (2016) und Zhong et al. (2020), welche die Kombination beider Effekte analysiert. Zhong et al. (2020) fokussieren auf den Effekt von automatisierten, gepoolten Fahrzeugen und finden eine kleinere Reduktion des VoT für Pendlerfahrten in geteilten, automatisierten Fahrzeugen als für private automatisierte Fahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Auch Krueger et al. (2016) zeigen auf, dass der VoT für geteilte Fahrzeuge/Fahrten in automatisierten Fahrzeugen zu einer Reduktion des VoT führt, jedoch nicht so stark wie bei einem privaten automatisierten Fahrzeug. Die Effekte von Szenario 1 und 2 – Automatisierung und Sharing – sind somit nicht additional. Der Effekt der Automatisierung auf den VoT wird durch das Teilen der Fahrt/Fahrzeuges abgeschwächt. Dies z.B., weil die Nutzung der Reisezeit für andere Aktivitäten negativ beeinträchtigt werden kann, wenn andere Personen das Fahrzeug zur gleichen Zeit nutzen. Für die Reduktion des VoT im **ÖIV** verwenden wir deshalb pauschal den Mittelwert der Effekte von Szenario 1 und 2 (0 % bis -40 % für Szenario 1, -3 % für Szenario 2).

- Die Kombination der oben beschriebenen Effekte resultiert zu einer Reduktion des VoT zwischen 1 % und 21 % (vgl. Tabelle 24):

Tabelle 24: Veränderung des VoT im Szenario 3 ggü. dem Szenario 0

Fahrtzweck	Veränderung des VoT ggü. dem Szenario 0
Arbeit	-21 %
Ausbildung	-21 %
Einkauf	-1 %
Freizeit	-1 %
geschäftliche Tätigkeit & Dienstfahrt	-16 %
Service- & Begleitung	-16 %
Sonstiges	-1 %
total (aufkommensgewichtet)	-9 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Krueger et al. (2016), Zhong et al. (2020).

- Im **ÖV** gehen wir in allen drei Szenarien davon aus, dass keine Veränderung des VoT stattfindet, weil keine Änderung der Zeitznutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen besteht.

Kosten (MIV, ÖV)

- Im MIV werden im Szenario 3 sowohl der Effekt der Automatisierung als auch des Sharing berücksichtigt. Aufgrund der Automatisierung und Vernetzung werden die Kosten für die Anschaffung von Fahrzeugen im **MIV** analog dem Szenario 1 steigen. Für die Abschätzung der Effekte gehen wir von einer Erhöhung der MIV-Kosten pro Fahrzeugkilometer gemäss Szenario

rio 0 im NPVM um rund +4 % aus (vgl. Bruns et al. 2020). Die Struktur der Flottenzusammensetzung je Gemeinde bleibt weiterhin unverändert. Die durchschnittlichen Jahresfahrleistungen der im NPVM zugrunde gelegten Fahrzeugkategorien werden ebenfalls beibehalten. Auch der Effekt einer zunehmenden Elektrifizierung wird nicht berücksichtigt.

- Ergänzend dazu werden die Effekte des Sharing eingerechnet. Im Szenario «Servicewelt» wird entsprechend der zentralen Annahmen im **MIV** davon ausgegangen, dass drei PW durch einen PW ersetzt werden. Wir gehen davon aus, dass die Fahrleistungen durchschnittlich verdreifacht werden, was zu einer Reduktion der Kosten ggü. dem Szenario 0 führt. Daraus resultiert für diesen Effekt eine durchschnittliche Reduktion der Kosten des MIV gemäss des MIV-Kosten-Tools des NPVM um 15 %. Diese Reduktion wird durch die höheren Kosten der Automatisierung teilweise kompensiert. Beide Effekte zusammen ergeben eine durchschnittliche Reduktion der MIV-Kosten um 12 %.
- Darüber hinaus gehen wir wie im Szenario 2 davon aus, dass eine höhere Auslastung der Fahrzeuge – analog im ÖV – tendenziell zu niedrigeren Kosten (-5 %) führt. Unter der Annahme, dass der ÖIV einen Anteil von rund einem Drittel hat und rund 50 % dieser Fahrten effektiv geteilt werden, resultiert eine zusätzliche Kostenreduktion um 1 % bezogen auf die Kosten pro Fahrzeugkilometer in städtischen Gemeinden.
- Für den **öffentlichen Verkehr** werden – analog den Szenarien 1 und 2 – eine Veränderung der distanzabhängige Preiskomponente in drei der fünf Tarifgruppen (Generalabonnement (GA), Verbundabo bis/ab 12 km, Halbtax (HT), Vollpreis) berücksichtigt. Der pauschale Preis pro Fahrt von 3 CHF wird ebenfalls unverändert gelassen.
- In einer Mobilitäts-Servicewelt können die Angebote bedarfsgerechter und flexibler gestaltet werden. Aufgrund der Vernetzung der verschiedenen Verkehrsträger und -mittel und der Etablierung digitaler Plattformen stehen Daten des Nutzungsverhaltens zur Verfügung, die die Ausgestaltung der Mobilitätsangebote vereinfachen. Aufgrund fehlender Literatur sind wir von einer Reduktion der Kosten- bzw. Preise um 20 % der distanzabhängigen Preiskomponenten (relevant bei Verbundabo ab 12 km, HT und Vollpreis) ausgegangen.

Besetzungsgrade

- Für den **MIV** berücksichtigen wir den Effekt der Automatisierung von zwischen -13 % bis -17 % der Besetzungsgrade wie in Szenario 1 (vgl. Kapitel 5.1.3.2, u.a. Tabelle 19). Wir nehmen im MIV an, dass die Fahrten mit Car-Sharing im Durchschnitt gleich hoch besetzt sind wie private Fahrzeuge.
- Für den **ÖIV** gehen wir von einer Erhöhung des Besetzungsgrades um 56 % aus (angelehnt an Bruns, Rothenfluh et al. 2018). Die Durchdringung von Car-Pooling/Ride-Sharing erfährt

durch die Verfügbarkeit von automatisierten Fahrzeugen einen Schub. Zur Sensitivität des Effekts nach Fahrtzweck existiert keine Evidenz.

- Nach Fahrtzweck unterscheidet sich die total resultierende Reduktion nicht und beträgt 8 % für den MIV inkl. ÖIV. Nach Distanzklasse ergibt sich für den MIV inkl. ÖIV insgesamt folgende Erhöhung der Besetzungsgrade:

Tabelle 25: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 3 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf die Distanzklasse

Distanzklasse	Veränderung der Besetzungsgrade ggü. dem Szenario 0
< 5km	10 %
5-10 km	10 %
10-25 km	5 %
25-50km	5 %
> 50 km	5 %

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR angelehnt an Mühlethaler et al. 2011, Hörl et al. 2019, ITF 2020, Soteropoulos et al. 2019.

5.1.6. Zusammenfassender Überblick Szenarien: Personenverkehr

Die folgende Tabelle zeigt die Grundaussprägungen des Szenarios 0 und der Eckszenarien und verdeutlicht die unterstellten und oben beschriebenen Änderungen der zentralen Stellschrauben je Szenario.

Tabelle 26: Entwicklung zentraler Stellschrauben der Szenarien 1-3 im Vergleich zur Referenz 2060 im Personenverkehr im Überblick

Zentrale Stellschrauben	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Mobilitätsrate (Wege pro Person und Tag)	++	+	+++
Besetzungsgrade MIV	--	++	+
Value of Time bzw. Bewertung der Reisezeit (MIV)	---	-	--
Kosten MIV*	+	-	-
Kosten bzw. Preise ÖV	--	-	---

MIV: Motorisierter Individualverkehr (inkl. ÖIV), NPVM: Nationales Personenverkehrsmodell, ÖV: Öffentlicher Verkehr
Veränderung ggü. Szenario 0:

0 bleibt gleich

+ steigt leicht / ++ steigt mittel / +++ steigt stark

- sinkt leicht / - sinkt mittel / --- sinkt stark

* Kosten pro Fahrzeugkilometer eines Fahrzeugs im MIV (inkl. ÖIV), d.h. ohne Berücksichtigung des Besetzungsgrades, als Input für das Nationale Personenverkehrsmodell

Tabelle INFRAS/DLR.

5.1.7. Ergänzende Sensitivitätsrechnungen im Personenverkehr

Im Rahmen von Sensitivitätsrechnungen werden zentrale, mit hohen Unsicherheiten behaftete Parameter identifiziert. Die Sensitivitäten entsprechen jeweils einer Variation («Subszenario») eines der drei Szenarien. Insgesamt werden fünf Sensitivitäten erarbeitet und analysiert. Somit resultieren nebst dem Szenario 0 insgesamt acht Ergebnisfälle (3 Szenarien, 5 Sensitivitäten).

Zur Herleitung der Stellschrauben für die Verkehrsmodelle des UVEK (AMG und NPVM) wurden Unsicherheitsbereiche identifiziert. Zudem wurde im Rahmen der Festlegung der Inputgrößen für das NPVM einzelne Aspekte zunächst nicht berücksichtigt. Diese bilden Grundlagen der Festlegung der «Subszenarien». Im Rahmen der Abstimmung mit der Begleitgruppe und dem ARE wurde festgelegt, für die Sensitivitäten auf den Personenverkehr zu fokussieren.

Der Fokus der Sensitivitätsanalysen liegt auf dem VoT und der Kapazitätsentwicklung der Strasseninfrastruktur, da diese beiden die grössten Unsicherheiten aufweisen. Neue Angebotsformen, die in Szenario 2 an Bedeutung gewinnen, können den Zu- und Abgang zum ÖV erleichtern. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, wurde eine Sensitivität betreffend verkürzter Zu- und Abgangszeiten im ÖV berücksichtigt. Im Ergebnis wurden insgesamt folgende fünf Sensitivitäten mit dem NPVM berechnet:

1. Weitere Reduzierung der VoT in Szenario 1
2. Weitere Reduzierung des VoT in Szenario 3
3. Geringere Kapazitätssteigerung in Szenario 1
4. Geringere Kapazitätssteigerung in Szenario 3 (gleiche Änderung wie in Szenario 1)
5. Verkürzte Zu-/Abgangszeiten ÖV in Szenario 2

Folgende Tabelle fasst die Themen bzw. anzupassenden Parameter im Rahmen der Sensitivitätsrechnungen für den Personenverkehr zusammen. Die anderen Parameter entsprechen den Festlegungen im jeweiligen Szenario (ceteris paribus).

Tabelle 27: Gewählte Themen bzw. Parameter der Sensitivitätsanalysen

SenSz.	Thema/Parameter	Annahme im Szenario (Veränderung ggü. Referenz)	Begründung/Anpassung	Annahme Sensitivität (Veränderung ggü. Szenario 0)
1 1	Value of Time	-0 % bis -40 % (je nach Fahrtzweck)	Reduktion des VoT durch Automatisierung wird teilweise noch höher eingeschätzt	Erhöhte Reduktion, -0 % bis -70 % (je nach Fahrtzweck)
2 3	Value of Time	-1 % bis -21 % (je nach Fahrtzweck)	Erhöhung oder Reduktion VoT durch Sharing fraglich, ARE befürwortet höhere Reduktion (Durchschnitt VoT der Sz. 1 und 2 fraglich)	-3 % bis -43 % (je nach Fahrtzweck) (Annahme Effekt Automatisierung & Sharing ist additional)
3 1 4 3	Kapazitäten Strasse im NPVM	bis zu +76 % (je nach Streckenkategorie)	Kapazitätswirkungen sind eher hochgeschätzt; für Sensitivitätsrechnung Kapazitätserhöhung nur halb so hoch	Reduktion um 50 % der in den Szenarien 1 und 3 angenommenen Kapazitätswirkungen
5 2	Zu-/Abgangszeiten ÖV	0 % (keine Veränderung ggü. Referenz angenommen)	Deutliche Reduktion der Zeiten ggü. Referenz 2060 (Ziel ARE: Erhöhung Anteil ÖV, da Reduktion pkm im ÖV im Sz. 2 ggü. Szenario 0 ³⁵)	Annahme einer pauschalen Reduktion um 50 %

Tabelle INFRAS/DLR/ARE.

Im Ergebnis liegen zu

- Szenario 1: zwei Sensitivitäten (Nr. 1 und 3);
- Szenario 2: eine Sensitivität (Nr. 5) sowie

³⁵ Im NPVM werden keine kollektiven On-Demand-Angebote (ÖIV) ohne fixe oder mit «virtuellen» Haltepunkte abgebildet, sondern beim MIV subsumiert. Insofern ist eine Reduktion des ÖV-Anteils zu erwarten. Fahrplanbasierte, Linienverkehre (klass. ÖV) werden auch weiterhin Haltestellen haben, deren Erreichbarkeit ist ein politischer Entscheid. Vor diesem Hintergrund ist die Reduktion der Zu-/Abgangs- und Wartezeiten gut zu begründen.

- Szenario 3: zwei Sensitivitäten (Nr. 2 und 4) vor.

5.2. Szenarien im Güterverkehr

5.2.1. Überblick Szenarien Güterverkehr

Analog zum Personenverkehr werden im Güterverkehr die vier Szenarien anhand der beiden Achsen unterschieden. Die zentralen Annahmen in Bezug auf die beiden Achsen sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

Tabelle 28: Zentrale Annahmen der Szenarien im Güterverkehr im Überblick

	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
				
	Referenz	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Automatisierung	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)	Automatisierung spielt praktisch keine Rolle	80–100 % der Fahrzeuge sind hoch- oder vollautomatisiert (Level 4+5 bzw. GoA 4)
Sharing und Kollaboration	Sharing und Kollaboration spielen eine untergeordnete Rolle		Sharing und Kollaborationen gewinnen an Bedeutung	

Tabelle INFRAS/DLR.

Die drei Eckszenarien können im Güterverkehr wie folgt skizziert werden:

- **Automatisierung:** Das Szenario «Automatisierung» geht von einer hohen Durchdringung hoch- oder vollautomatisierter Fahrzeuge im Strassen- und Schienenverkehr aus (80 % bis 100 %). Die Präferenz und Akzeptanz der Unternehmen zur gemeinsamen Nutzung von Ressourcen sind gering.
- **Sharing:** Sharing und Kollaboration gewinnen stark an Bedeutung. Unternehmen erkennen die Vorteile in der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen und die technologischen Grundlagen dazu - digitale Plattformen - sind vorhanden. Der technologische Fortschritt hin zu fahrerlosen Fahrzeugen entwickeln sich nur langsam oder die Akzeptanz und Rahmenbedingungen verhindern eine starke Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen.
- **Servicewelt:** Die Automatisierung und Sharing entwickeln sich gleichzeitig. Die Mehrheit der Fahrzeuge sind automatisiert (80 bis 100 %) und die gemeinsame Nutzung von Ressourcen gewinnt an Bedeutung. Es entsteht eine Mobilitäts-Servicewelt.

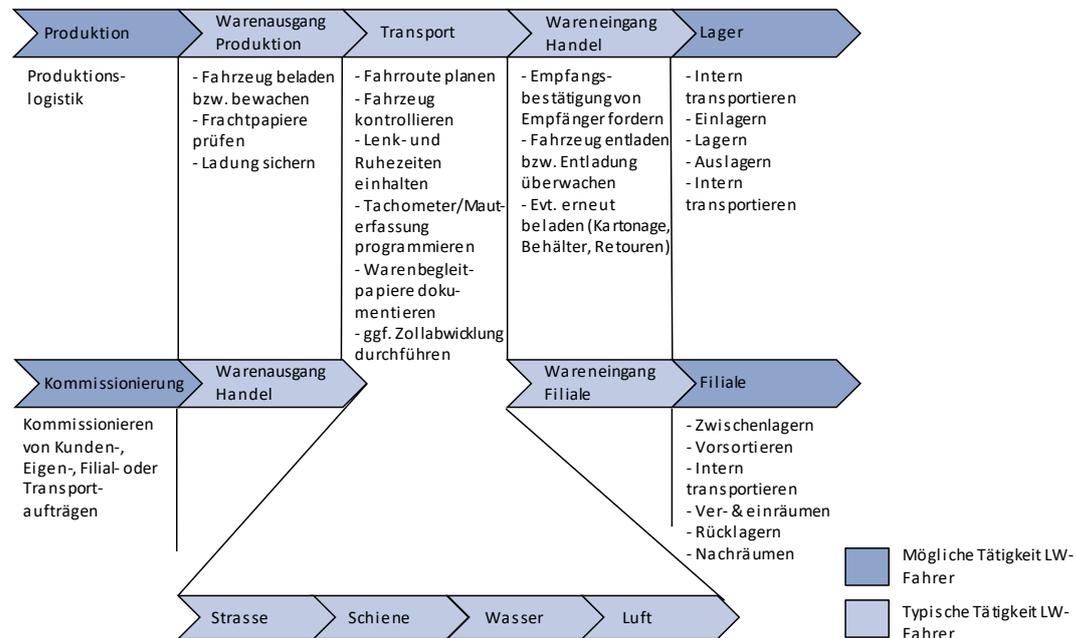
Zur Abschätzung der direkten und indirekten, verkehrlichen Wirkungen wurden die zentralen Stellschrauben basierend auf der Aggregierten Methode Güterverkehr des UVEK (AMG) definiert.

5.2.2. Szenario 0 (Referenz)

Im Szenario 0 gehen wir von der Fortschreibung der heutigen Güterverkehrswelt ohne disruptive Veränderungen aus.

Im Güterverkehr und der Logistik werden traditionell drei Hauptprozesse unterschieden: Transport, Umschlag und Lagerung (TUL-Prozesse). Für die Logistikmarktstudie Schweiz werden darüber hinaus auch weitere Dienstleistungen bzw. Dienstleistungskomponenten (sog. Value-Added Services) dazugezählt (Stölzle et al. 2017). Das Beispiel einer Logistikkette in Abbildung 25 zeigt auf, dass ein Fahrer eines Lastwagens verschiedene Aufgaben vor, während und nach dem Transport der Waren übernimmt.

Abbildung 25: Beispiel einer Logistikkette



LW: Lastwagen

Grafik INFRAS/DLR. Quelle: INFRAS/DLR angelehnt an Flämig 2015, S. 391.

Kostensätze

Im Szenario 0 sind folgende Gesamtkostensätze für die einzelnen Verkehrsträger und Segmente zugrunde gelegt (Tabelle 29). Für die vorliegende Untersuchungen werden die Kostensätze für die Binnenschifffahrt und Rohrfernleitungen konstant gelassen, d.h. in den Szenarien 1–3 nicht angepasst.

Tabelle 29: Gesamtkostensätze AMG Referenz 2060 (CHF je ntkm)

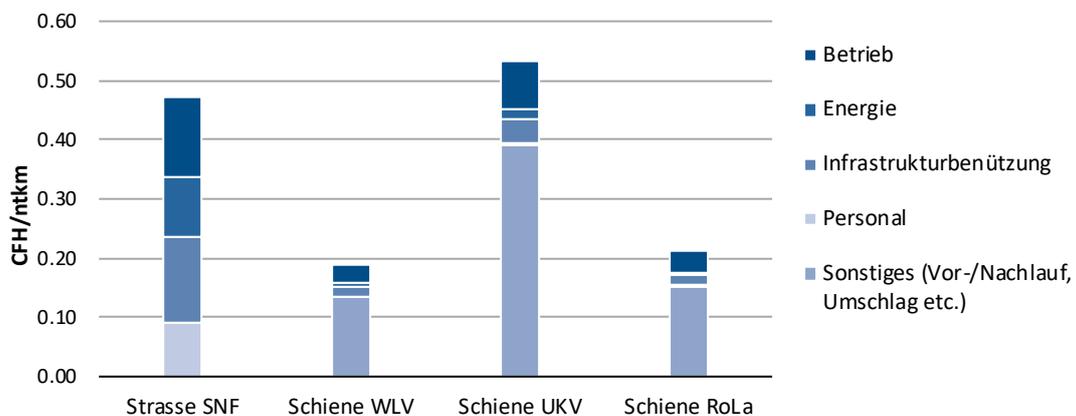
Verkehrsträger	Segment	Referenz 2060
Schiene	Wagenladungsverkehr (WLV)	0.19 CHF/ntkm
	Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr (UKV)	0.53 CHF/ntkm
	Rollende Landstrasse (ROLA)	0.21 CHF/ntkm
Strasse	Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	0.47 CHF/ntkm
	Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	0.23 CHF/ntkm
<i>Binnenschifffahrt</i>		<i>0.04 CHF/ntkm</i>
<i>Rohrfernleitungen</i>		<i>0.01 CHF/ntkm</i>

LNF: Leichte Nutzfahrzeuge (Lieferwagen), ntkm: Nettotonnenkilometer, ROLA: Rollende Landstrasse, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen, Sattelzüge).

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG, eigene Schätzungen.

Die Kostenstrukturen für die in der AMG relevanten Marktsegmente (SNF, WLV, UKV, ROLA) in Bezug auf die Szenarien sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Kosten werden in folgende Kategorien unterteilt: Betrieb, Energie, Infrastrukturbenützung, Personal und Sonstiges (vgl. ARE 2019a).

Abbildung 26: Kostenstrukturen AMG, Referenz 2060 (CHF je tkm)



Grafik INFRAS/DLR. Quelle: AMG, eigene Schätzungen.

Die durchschnittliche Beladung liegt differenziert nach Fahrzeugart (Lastwagen, Lastwagen mit Anhänger, Sattelzug), Entfernungsklasse (insgesamt 10 Klassen) sowie Warengruppe bzw. Logistikklasse vor. Anpassungen sind also sehr differenziert möglich.

In den jeweiligen Marktsegmenten des Güterverkehrs sind unterschiedliche Logistikprozesse mit unterschiedlichen Abläufen und Anforderungen relevant. Basierend auf der Beschaffenheit der transportierten Güter bzw. Produkteigenschaften kann eine Grobeinteilung der Logistikprozesse vorgenommen werden (Maggi et al. 2005). Basierend auf dem Verkehrsmodell des UVEK (AMG) werden zehn Warengruppen und vier Logistikklassen unterschieden (Tabelle 30, Tabelle 31).

Tabelle 30: Bedeutung der Warengruppen für den Strassentransport und Zuordnung zu Logistikklassen, 2060 (Referenz)

Warengruppe	NST/R	Logistikklasse	Transportaufkommen (Mio. t)		Transportleistung (Mio. tkm)	
			Absolut	Anteil	Absolut	Anteil
1	Land-, Forstwirtschaft	Speditionsgut	34	8 %	1'933	10 %
2	Nahrungsmittel	Speditionsgut	50	11 %	3'469	18 %
3	Energieträger	Öl	8	2 %	338	2 %
4	Steine, Erden	Massengut	106	24 %	2'948	15 %
5	Baustoffe, Glas	Massengut	60	13 %	2'040	10 %
6	Chemie, Kunststoff	Chemie	13	3 %	976	5 %
7	Metall	Massengut	12	3 %	787	4 %
8	Sekundärrohstoffe	Massengut	58	13 %	1'840	9 %
9	Halb-, Fertigwaren	Speditionsgut	21	5 %	1'400	7 %
10	Stück-, Sammelgüter	Speditionsgut	85	19 %	3'712	19 %
Total			447	100 %	19'444	100 %

NST/R: Nomenclature uniforme de marchandises pour les statistiques de transport, révisée.
Strassentransport mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG.

Tabelle 31: Bedeutung der Warengruppen für den Schienentransport und Zuordnung zu Logistikklassen, 2060 (Referenz)

Warengruppe	NST/R	Logistikkategorie	Transportaufkommen (Mio. t)		Transportleistung (Mio. tkm)	
			Absolut	Anteil	Absolut	Anteil
1	Land-, Forstwirtschaft	Speditionsgut	1.3	1 %	127	3 %
2	Nahrungsmittel	Speditionsgut	4.7	4 %	575	12 %
3	Energieträger	Öl	5.6	5 %	651	13 %
4	Steine, Erden	Massengut	5.3	5 %	516	10 %
5	Baustoffe, Glas	Massengut	3.0	3 %	305	6 %
6	Chemie, Kunststoff	Chemie	2.7	2 %	268	5 %
7	Metall	Massengut	3.2	3 %	523	11 %
8	Sekundärrohstoffe	Massengut	2.4	2 %	247	5 %
9	Halb-, Fertigwaren	Speditionsgut	2.3	2 %	261	5 %
10	Stück-, Sammelgüter	Speditionsgut	87.3	74 %	1'498	30 %
Total 2060			117.7	100 %	4'970	100 %

NST/R: Nomenclature uniforme de marchandises pour les statistiques de transport, révisée.
Schienentransport im WLV, UKV und auf der RoLa.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG.

5.2.3. Szenario 1: Automatisierung im Güterverkehr

5.2.3.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

Analog dem Personenverkehr wird im Szenario 1 für den Güterverkehr angenommen, dass sowohl der Strassen- als auch der Schienengüterverkehr vollständig bzw. zu einem sehr hohen Grad, d.h. 80 bis 100 %, hoch- bzw. vollautomatisiert (Level 4 + 5 bzw. GoA 4) sind.

Im Güterverkehr ist zwischen dem inner- und ausserbetrieblichen Verkehr zu differenzieren. Bereits in den 1950er-Jahren wurden in der innerbetrieblichen Logistik fahrerlose und teilweise autonome Transportsysteme entwickelt (Flämig et al. 2015). In geschlossenen Systemen wie beispielsweise dem HHLA Container Terminal Altenwerder (CTA) werden heute Automated Guided Vehicles (AGV) für den Transport von Containern eingesetzt, die durch ein IT-System gesteuert werden (HHLA 2020³⁶). Auch innerbetriebliche AGV für den fahrerlosen Transport von genormten Euro-Paletten (EPAL) beispielsweise zur Unterstützung im Lager und bei der Kommissionierung sind etabliert.

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt insbesondere auf dem ausserbetrieblichen Gütertransport, d.h. auf öffentlichen Strassen und Plätzen. Ausserbetrieblich sind verschiedene Anwendungsfälle des automatisierten Gütertransports denkbar. Flämig (2015) unterscheidet beispielsweise fünf Fälle: Autobahn-Pilot, Vehicle-on-Demand, Follow-me Fahrzeuge, Valet-Parken

³⁶ <https://hlla.de/unternehmen/tochterunternehmen/container-terminal-altenwerder-cta/so-funktioniert-cta>.

und Valet Delivery. Für den Güterverkehr werden typischer Weise folgende Stufen bzw. Anwendungsfälle der Automatisierung definiert (vgl. z.B. Altenburg et al. 2018, Flämig et al. 2020):

1. Automatisierter Gütertransport auf Autobahnen,
2. Automatisierter Gütertransport von Lager zu Lager,
3. Automatisierter Gütertransport auf der (ersten) und letzten Meile.

Wir gehen nachfolgend davon aus, dass der Güterverkehr auf Strasse und Schiene von der ersten bis zur letzten Meile hoch- bzw. vollautomatisiert erfolgen kann.

5.2.3.2. Effekte auf die Stellschrauben

Kosten (Strasse, Schiene)

- Die Auswirkungen der Automatisierung auf die Kostensätze und -strukturen erfolgt anhand der vorhandenen Grundlagen für Strasse und Schiene des Szenario 0. Hierfür wurden Annahmen zur Veränderung der jeweiligen Kostenkategorie (Personal, Betrieb, Energie, Infrastrukturbenützung, Sonstiges v.a. Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.) basierend auf der Literaturanalyse getroffen, die im Folgenden erläutert und in Tabelle 32 zusammengefasst sind.
- Mit der Automatisierung fallen insbesondere die **Kosten für Personal** (Fahrerin bzw. Lokführerin) weg. Das Ausmass der Reduktion der Personalkosten wird v.a. im Strassenverkehr sehr unterschiedlich eingeschätzt (Del Duce et al. 2020). Fahrer lenken nicht nur das Fahrzeug, sondern übernehmen auch vielfältige weitere Aufgaben (Hofer et al. 2018). Wir gehen davon aus, dass auch weiterhin Personal für logistische Prozesse, wie das Be- und Entladen von Fahrzeugen oder das Zustellen an KundInnen im Fahrzeug (v.a. im Stückgutverkehr), benötigt wird und sich die Personalkosten im Strassenverkehr um 50 % reduzieren (keine vollständige Elimination). Im Schienenverkehr gehen wir systembedingt (schienegebunden) von einer höheren Reduktion der Personalkosten um 75 % aus. Generell bestehen jedoch grosse Unsicherheiten, ob v.a. im Strassenverkehr Fahrer das Be- und Entladen und weitere Hilfsfunktionen übernehmen und zu welchem Anteil daher die Personalkosten des Fahrers bzw. der Fahrerin eingespart werden können.
- Im Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass die Automatisierung weder zu einer Veränderung der **Betriebskosten** für Strasse noch Schiene führt. Es wird angenommen, dass die Mehrkosten (z.B. höhere Herstellungskosten der Fahrzeuge aufgrund zusätzlicher Ausrüstung) aufgrund von Skaleneffekten langfristig nicht ins Gewicht fallen (ITF 2017, Janssen et al. 2015) bzw. durch Kostensenkungspotenzialen kompensiert werden können. Mit der Digitalisierung und Vernetzung der Fahrzeuge können die Kosten des Unterhalts (z.B. Ferndiag-

nose) gesenkt werden. Die Tourenplanung kann durch den Wegfall von Regelungen für Arbeitszeiten optimiert werden, wodurch ein erhöhter (stetiger) Einsatz der Fahrzeuge und damit Reduktion der Kosten ermöglicht wird.

- Aufgrund der Digitalisierung und dadurch effizienteren bzw. energieschonenden, vorausschauenden Fahrens (Verbesserung Fahrdynamik) sowie Platoonings (Kolonnenfahrten) im Strassenverkehr können der Verbrauch und damit die **Energiekosten** reduziert werden. Sowohl für die Strasse als auch Schiene wird eine Reduktion der Energiekosten um rund 10 % angenommen (smartrail 4.0 2019). Hierbei stellt sich die Frage, ob die angenommenen Energiereduktionen auch tatsächlich realisiert werden können. Pilottests zum Platooning zeigen, dass unter sehr rigiden Bedingungen zur Auflösung des Platoonings die Treibstoffkosten um 3–4 % reduziert werden können (MAN et al. 2019). In der Literatur werden daher Spannbreiten z.B. von -5 bis -10 % in Abhängigkeit des Abstands, der Geschwindigkeit etc. angegeben (Tsugawa et al. 2016).
- Die **Kostensätze für die Infrastrukturbenutzung** wurden konstant gelassen. Denkbar wäre, eine Erhöhung der Kostensätze aufgrund zusätzlichem Infrastrukturbedarf und höheren Infrastrukturkosten zu berücksichtigen. In Analogie zum Personenverkehr und aufgrund fehlender Quantifizierungen (vgl. Kap. 5.3.2) haben wir für die Abschätzung der verkehrlichen Effekte auf Basis der Verkehrsmodelle des UVEK darauf verzichtet.
- Im Schienenverkehr (WLV, UKV und ROLA) hat der Kostenblock «**Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)**» den mit Abstand grössten Anteil am Gesamtkostensatz. Im Strassenverkehr ist dieser nicht relevant (vgl. Kap. 5.2.2). Wir gehen davon aus, dass Produktivitätssteigerungen insbesondere im UKV durch automatisierten Umschlag sowie generell für die Schiene (z.B. automatische Kupplung bei Rollmaterial) erzielt werden können. Im Szenario 1 wird angenommen, dass die sonstigen Kosten im WLV und für die ROLA um 15 % bzw. im UKV um 20 % reduziert werden können.

Tabelle 32: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0

Kostenkategorie	Strasse (SNF)	WLV	UKV	ROLA
Betrieb	0 %	0 %	0 %	0 %
Energie	-10 %	-10 %	-10 %	-10 %
Infrastrukturbenutzung	0 %	0 %	0 %	0 %
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	0 %	-15 %	-20 %	-15 %
Personal	-50 %	-75 %	-75 %	-75 %
Gesamtkostensatz	-12 %	-12 %	-16 %	-12 %

ROLA: Rollende Landstrasse, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge, UKV: Unbegleiteter Kombierter Verkehr, WLV: Wagenladungsverkehr.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG, eigene Schätzungen.

- Grundsätzlich ist es schwierig, Effizienzsteigerungen aufgrund der Automatisierung von ohnehin stattfindenden technologischen Entwicklungen abzugrenzen, da zur Einhaltung von Emissionsvorschriften und zur Reduktion der Treibstoffkosten in den letzten Jahren der Treibstoffverbrauch gesunken ist und alternative Antriebe an Bedeutung gewinnen werden. Die Elektrifizierung bzw. alternative Antriebstechnologien sind jedoch nicht Gegenstand der Untersuchung und daher nicht zu berücksichtigen.
- Die Automatisierung auf der Schiene findet heute im Güterverkehr bereits statt. Daher ist fraglich, inwiefern gewisse Veränderungen betreffend Automatisierung und das Fahren von Zügen ohne Lokführer bereits teilweise im Szenario 0 berücksichtigt sind. Vorliegend gehen wir davon aus, dass dies nicht der Fall ist und die Referenz keine Züge ohne Lokführer im GV berücksichtigt, d.h. es verkehren im Szenario 0 alle Güterzüge mit einem Lokführer.

Geschwindigkeiten

- Da für das Verkehrsmodell des UVEK (AMG) keine Infrastrukturkapazitäten im Modell hinterlegt sind und eine Umlegung der Güterverkehrsströme im NPVM erfolgt, werden die Geschwindigkeiten auf Strasse und Schiene aufgrund der Automatisierung angepasst, um die Kapazitätswirkungen indirekt zu berücksichtigen.
- Für die Strasse wurde gestützt auf den Kapazitätswirkungen und in Abstimmung mit den Annahmen betreffend dem Personenverkehrsmodell NPVM eine Veränderung von rund +8 % der Geschwindigkeit aufgrund der Automatisierung im Strassenverkehr abgeleitet (Friedrich 2015, Krause et al. 2017).
- Durch die Automatisierung auf der Schiene können die Zugfolgezeiten gekürzt und Verspätungsminuten (-5 %) reduziert werden. Aufgrund durchgehender Trassierung sinken die Transportzeiten im GV (Smartrail 4.0 2019). Die Erhöhung der Streckenkapazität kann bis zu 20 % betragen. Die Automatisierung von verschiedenen Prozessen und Funktionen (z.B. automatische Kupplung, Bremsprobe) führt zur Reduktion von Transport- und Umschlagszeiten (-10 %) und damit zu einer Erhöhung von Geschwindigkeiten (Weidmann et al. 2017). Für das Szenario 1 wurde für die Schiene eine Erhöhung der Geschwindigkeit um +5 % (26.3 km/h) angenommen. Hierbei wird angenommen, dass aufgrund des Mischverkehrs (PV/GV) das Potenzial zur Erhöhung der Geschwindigkeiten im GV nicht gleich hoch wie im Strassenverkehr ist.

Auslastung und Leerfahrten Strasse

- Mit voll- und hochautomatisierten Fahrzeugen sind theoretisch Leerfahrten möglich. Der Effekt im Güterverkehr ist jedoch unklar. Aktuelle Studien weisen hierzu keine Effekte aus

(Hofer et al. 2018; Perret et al. 2020) bzw. war der Güterverkehr und/oder durch Automatisierung induzierte Leerfahrten nicht Gegenstand aktueller Studien (z.B. Hörl et al. 2019; Bruns et al. 2020; Axhausen et al. 2020). Es wird zudem angenommen, dass Leerfahrten auch mit automatisierten Fahrzeugen aus wirtschaftlichen Überlegungen der Unternehmen, wenn immer möglich vermieden werden. Deshalb nehmen wir keine Erhöhung der Leerfahrten ggü. dem Szenario 0 (Referenz) an.³⁷

- Verändern sich Transportkosten, sind Auswirkungen auf die Sendungsgrößen der einzelnen Verlager (Unternehmen) denkbar (Aboukacem und Combes 2020, vgl. hierzu auch Kap. 4.4.2). Im vorliegenden Projekt gehen wir davon aus, dass die Senkung der Transportkosten zu häufigeren Sendungen einzelner Unternehmen führen können, aber die Expeditionen und Transportunternehmen dennoch, wenn immer möglich, Teilladungsverkehre bündeln und dies bezogen auf die Verkehrsströme und Fahrzeuggrößen daher keinen Einfluss hat. Unabhängig davon können mit der AMG keine Effekte nach Fahrzeugsegmenten (Shift von schweren zu leichten Nutzfahrzeugen) abgebildet werden.
- Die Automatisierung führt zu höherem Einsatz der LW und damit besseren Auslastung über 24h (keine Beschränkungen durch Lenk-/ Ruhezeiten), aber nicht pro Fahrt (Keese et al. 2018). Die durchschnittliche Beladung/Auslastung wird daher im Szenario 1 konstant gelassen.

Wechselwirkungen zum Personenverkehr:

- Automatisierung kann zeitliche eine Entzerrung von Personen- und Güterverkehr ermöglichen, z.B. in Städten (Flämig et al. 2015).
- Automatisierung Schiene und Strasse: Die Mischnutzung durch Züge bzw. Fahrzeuges des Personen- bzw. Güterverkehrs und damit das Problem unterschiedlicher Geschwindigkeiten und entsprechender Kapazitätseffekte bleiben weiterhin bestehen.

5.2.4. Szenario 2: Sharing im Güterverkehr

5.2.4.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen gewinnt an Bedeutung und führt zu Kosten- und Zeiteinsparungen. Der Anteil des intermodalen Verkehrs steigt. Es werden Plattformen zur Vermittlung von Transportdienstleistungen genutzt (Matching-Plattformen), um Leerfahrten zu vermeiden bzw. die Auslastung zu erhöhen. Neue Logistikhubs entstehen, die anbieterneutral

³⁷ Diese Annahmen ist mit Unsicherheiten behaftet, da nicht ganz ausgeschlossen werden kann, dass – beispielsweise aufgrund der Disposition – leere Fahrzeuge verkehren.

genutzt werden. Aufgrund neuer Logistikhubs wird das Hub-and-Spoke-Netzwerk stärker ausgeprägt sein. Die Flexibilität im System steigt, da freie Transportkapazitäten auf dem Markt angeboten werden. In der Folge sinken die Betriebskosten.

5.2.4.2. Effekte auf die Stellschrauben

Kosten (Strasse, Schiene)

- Durch den hohen Grad des Sharings bzw. der Kollaboration können **Kosten für Personal** (Fahrer bzw. Fahrerin) reduziert werden. Wir gehen von einer Reduktion um 25 % für die Strasse aus. Dies ist eine getroffene Annahme unter der Prämisse, dass das Personal im Sharing-Szenario effizienter eingesetzt werden kann und Leerzeiten reduziert werden.
- Im Szenario 2 wird davon ausgegangen, dass durch eine hohe Kollaboration und dadurch besseren Auslastung der Ressourcen und höheren Prozesseffizienz die **Betriebskosten** sowohl für Strasse als auch Schiene um 25 % sinken. Beispielsweise können leere Kapazitäten auf Plattformen angeboten und dadurch die bestehenden Kapazitäten und Ressourcen höher ausgelastet werden. Dies führt wiederum zu Kostensenkungen.
- Im Szenario 2 werden keine Veränderung der **Energiekosten** erwartet.
- Die **Kostensätze für die Infrastrukturbenutzung** wurden konstant gelassen (vgl. hierzu die Erläuterungen im Szenario 1 im Güterverkehr, Kap. 5.2.3)
- Betreffen des Kostenblocks «**Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)**» im Schienenverkehr gehen wir davon aus, dass Produktivitätssteigerungen insbesondere im UKV durch eine hohe Kollaboration und dadurch besseren Auslastung der Ressourcen und höheren Prozesseffizienz zu gleich hohen Kostensenkungen wie im Szenario 1 führen.

Tabelle 33: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0

Kostenkategorie	Strasse (SNF)	WLV	UKV	ROLA
Betrieb	-25 %	-25 %	-25 %	-25 %
Energie	0 %	0 %	0 %	0 %
Infrastrukturbenutzung	0 %	0 %	0 %	0 %
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	0 %	-15 %	-20 %	-15 %
Personal	-25 %	0 %	0 %	0 %
Gesamtkostensatz	-12 %	-15 %	-18 %	-15 %

ROLA: Rollende Landstrasse, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge, UKV: Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr, WLV: Wagenladungsverkehr.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG, eigene Schätzungen.

Geschwindigkeiten

- Da für die AMG keine Infrastrukturkapazitäten im Modell hinterlegt sind und eine Umlegung der Güterverkehrsströme im NPVM erfolgt, werden die Geschwindigkeiten auf Strasse und Schiene angepasst, auch wenn diese eigentlich endogen sind.
- Im Szenario 2 wird angenommen, dass aufgrund des Sharing die Intermodalität v.a. auch auf der Schiene zunimmt und durch weiter zunehmende Standardisierung von Transportbehältern und Abläufen die Effizienz von Prozessen erhöht und dadurch die Durchschnittsgeschwindigkeit erhöht werden kann (+5 %). Dies ist insbesondere auch für den Vor- und Nachlauf im Kombinierten Verkehr relevant. Für den Strassenverkehr werden keine Veränderungen im Szenario 2 erwartet.

Auslastung und Leerfahrten Strasse

- Die Auslastung steigt tendenziell, wobei v.a. im Stückgutbereich das Volumen und weniger das Gewicht begrenzender Faktor ist. Eine Auslastungserhöhung erfolgt v.a. bei Speditionsgütern durch die bessere Vernetzung. Ursache sind zusätzliche Bündelungseffekte insbesondere in der Feinverteilung und verbunden mit neuen Logistikhubs. Bei Massengütern, Öl und Chemie ist die Auslastung (Gewicht) bereits sehr hoch und das Potenzial durch Vernetzung gering bzw. kaum vorhanden. Aufgrund dieser Überlegungen wurde im Szenario 2 eine Auslastungserhöhung für die Speditionsgüter um +10 % angenommen (eigene Annahme).
- Es wird weiter angenommen, dass die Reduktion der Leerfahrten bei dezentral gesteuerten, fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) im Innenbereich (Werkverkehr) um 8 % auch auf den ausserbetrieblichen Güterverkehr übertragen werden kann (Flämig 2015). Eine Differenzierung der Leerfahrten nach Distanzklassen erfolgt nicht. Insgesamt wird eine Reduktion des Anteils der Leerfahrten im Strassengüterverkehr von 5 % angenommen.

Schnittstellen zum PV

Im Bereich des Sharing gab und gibt es Beispiele für eine Kombination des Gütertransports mit dem Personenverkehr. Beispiele sind:

- Pakettransport mit Personenverkehrszügen,
- Pakettransport in Tram (innerstädtisch) oder
- Kleinere Sendungen werden in PW mittransportiert (z.B. myboxi)

Es ist davon auszugehen, dass die Relevanz und daher die Wirkungen in diesem Bereich eher gering sind bzw. werden bereits heute Pakete mit Personenverkehrszügen transportiert.

5.2.5. Szenario 3: Servicewelt

5.2.5.1. Übergeordnete Beschreibung der Effekte

Die Automatisierung im Güterverkehr ist hoch, gleichzeitig ist der Sharing-Gedanke weit verbreitet bzw. Kooperation, Kollaboration und Intermodalität haben eine sehr hohe Bedeutung. Ein intelligentes Transportsystem führt zu Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen. Dem durch die Automatisierung gestiegene Anteil der Leerfahrten steht eine Reduktion der Fahrten aufgrund der gemeinsamen Nutzung von Betriebsmitteln entgegen.

5.2.5.2. Effekte in einer Mobilitäts-Servicewelt

Kosten (Strasse, Schiene)

- Die **Kosten für Personal** im Strassenverkehr können sowohl durch Automatisierung als auch Sharing und Kollaboration reduziert werden. Die Kostenreduktionen aus den Szenarien 1 und 2 werden als additiv angenommen (insgesamt -75 %, sowohl für die Strasse als auch die Schiene).
- Im Szenario 3 wird wie im Szenario 2 davon ausgegangen, dass eine hohe Kollaboration und dadurch bessere Auslastung der Ressourcen und höhere Prozesseffizienz zu einer Reduktion der **Betriebskosten** sowohl für die Strasse als auch die Schiene in gleicher Höhe (-25 %) führen. Beispielsweise können leere Kapazitäten auf Plattformen angeboten und dadurch die bestehenden Kapazitäten und Ressourcen höher ausgelastet werden. Dies führt wiederum zu Kostensenkungen.
- Im Szenario 3 wird eine Veränderung der **Energiekosten** analog dem Szenario 1 erwartet. Sowohl auf Strasse als auch Schiene wird diese mit -10 % angenommen.
- Die **Kostensätze für die Infrastrukturbenutzung** wurden konstant gelassen (vgl. hierzu die Erläuterungen im Szenario 1 im Güterverkehr, Kap. 5.2.3)
- Betreffend des Kostenblocks «**Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)**» im Schienenverkehr gehen wir davon aus, dass die Kostenreduktionen aus den Szenarien 1 und 2 additiv sind (-30 % im WLK und für die ROLA bzw. -40 % für den UKV).

Tabelle 34: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 3

Kostenkategorie	Strasse (SNF)	WLV	UKV	ROLA
Betrieb	-25 %	-25 %	-25 %	-25 %
Energie	-10 %	-10 %	-10 %	-10 %
Infrastrukturbenützung	0 %	0 %	0 %	0 %
Sonstiges (Vor-/Nachlauf, Umschlag etc.)	0 %	-30 %	-40 %	-30 %
Personal	-75 %	-75 %	-75 %	-75 %
Gesamtkostensatz	-24 %	-27 %	-34 %	-27 %

ROLA: Rollende Landstrasse, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge, UKV: Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr, WLV: Wagenladungsverkehr.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: AMG, eigene Schätzungen.

Geschwindigkeiten

- Die Geschwindigkeit auf der Strasse kann – analog zum Szenario 1 – durch die Automatisierung um 8 % von 50 auf 54 km/h erhöht werden (Friedrich 2015, Krause et al. 2017). Analog zu Szenario 2 verändert sich die Geschwindigkeit durch die verstärkte Kollaboration nicht.
- Für den Schienenverkehr wird basierend auf den Annahmen in Szenario 1 und Szenario 2 eine Erhöhung um +10 % (auf 27.5 km/h) angenommen.

Auslastung und Leerfahrten Strasse

- Die Automatisierung hat an sich keine direkten Auslastungswirkungen, kann aber in Verbindung mit der Vernetzung und dem Sharing (digitale Spedition, Shared Logistics Resources) zu Auslastungsänderungen führen. In einer «Servicewelt» führt eine stärkere Bündelung v.a. in Städten zur Erhöhung der Auslastung (Hofer et al. 2018). Weitere Standardisierungen von Ladebehältern hat ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Auslastung in einer «Servicewelt». In der Feinverteilung bzw. auf der ersten und letzten Meile (Distanzklassen bis 20 km) sind Auslastungserhöhungen von +5 % zugrunde gelegt. Zusätzlich werden Auslastungserhöhungen nach Art der Logistikkategorie berücksichtigt. Die Auslastung von Speditionsgütern steigt analog Szenario 2 um +10 %. Für die anderen Klassen (Öl, Massengut, Chemie) wird eine minimale Erhöhung der Auslastung um +2 % angenommen.
- Für die Veränderung des Anteils von Leerfahrten in einer vernetzten, kollaborierenden «Servicewelt» wird in Anlehnung an Thaller et al. 2015 und unter Berücksichtigung der angenommenen Entwicklung im Vergleich zur heutigen Situation eine Reduktion um 15 % angenommen).

5.2.6. Zusammenfassender Überblick Szenarien: Güterverkehr

Die folgende Tabelle zeigt die Grundaussprägungen und Entwicklungstrends in den Eckszenarien im Vergleich zur Referenz (Szenario 0) und verdeutlicht die unterstellten und oben beschriebenen Änderungen der zentralen Stellschrauben je Szenario.

Tabelle 35: Zentrale Stellschrauben der Szenarien im Güterverkehr im Überblick

Zentrale Stellschrauben	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
				
	Referenz	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Kosten	analog AMG	-	-	--
Geschwindigkeiten		+	+	++
Auslastung LW		0	+	++
Leerfahrten		0	-	--

AMG: Aggregierte Methode Güterverkehr

0 bleibt gleich

+ steigt leicht / ++ steigt mittel / +++ steigt stark

- sinkt leicht / - sinkt mittel / --- sinkt stark

Tabelle INFRAS/DLR.

5.3. Infrastruktur je Szenario (Personen- und Güterverkehr)

5.3.1. Kapazitäten

Fliessender (bzw. rollender) Verkehr

Die Automatisierung kann in Abhängigkeit der Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen und je nach Abständen zwischen den Verkehrsmitteln zu einer Erhöhung der Kapazität der bestehenden Strassen- und Schieneninfrastruktur führen (oder auch nicht, wenn die Abstände von automatisierten Fahrzeugen sehr gross gewählt werden). Gemäss Simulationen der Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf Bundesfernstrassen (Bundesstrassen und Autobahnen) wurde angenommen, dass bei einem Nutzungsgrad vollautomatisierter Fahrzeuge von rund 80 % (im Jahr 2065) eine Erhöhung der Kapazität um rund 20 % resultiert (VDA 2017). Wird die Kapazität erhöht, können Stau und damit einhergehende negative Effekte (Umwelkosten) abnehmen und die Qualität erhöht werden. Diese Effekte können jedoch wiederum Verkehr induzieren (Rebound-Effekt).

In der vorliegenden Studie gehen wir auf Basis der Literatur von Kapazitätserhöhungen aufgrund der angenommenen sehr hohen Durchdringung (80–100 %) hoch- und vollautomatisierter Fahrzeuge auf der Strasse (sowohl im Personen- als auch Güterverkehr) aus. Obwohl Mischverkehr (von konventionellen und automatisierten Fahrzeugen) vielfältige Herausforderungen aufwerfen könnte, konzentriert sich diese Studie nicht auf diese Auswirkungen. Ziel dieser Studie war es, die Ecken einer vollständigen Automatisierung auszuleuchten.

Die Veränderung des Angebots der Infrastrukturkapazitäten hat sowohl auf den Personen- als auch Güterverkehr Einfluss. Die zugrundeliegenden Annahmen betreffend des Kapazitätseffekts der Infrastruktur durch Automatisierung wurden im NPVM angepasst (Tabelle 36). Für den Güterverkehr sind diese Effekte teilweise aufgrund der Annahmen zur Veränderung der Geschwindigkeiten berücksichtigt (vgl. Kap. 5.2). Anpassungen im NPVM sind für die Strasse möglich. Kapazitätserhöhungen auf der Schiene können mit dem NPVM nicht abgebildet werden, da keine Umlegung im Verkehrsmodell erfolgt.

Die Veränderung der im NPVM zugrunde gelegten Infrastrukturkapazität der Strasse nach Streckentypen aufgrund der Automatisierung sind in Tabelle 36 zusammenfassend dargestellt. Basis bilden die im NPVM typischen Kapazitäten differenziert nach Streckentypen und Anzahl der Fahrspuren (vgl. Anhang A1, Tabelle 67).

Bei der Festlegung der Veränderungen aufgrund der Automatisierung in Szenario 1 sind wir von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Generell orientieren wir uns an den Werten von Friedrich (2015), da diese genauen und nachvollziehbaren Annahmen und Herleitungen enthalten und sich in den Grössenordnungen der Mehrheit der anderen Arbeiten befinden.
- Für Autobahnen (inkl. Ausland) wird eine Erhöhung um den Faktor 1.76 zugrunde gelegt (Friedrich 2015). Es wird dabei davon ausgegangen, dass der Anteil der Lastwagen am gesamten Aufkommen auf den jeweiligen Strecken für Deutschland auf die Schweiz übertragbar ist.
- Es werden für Anschlussstellen (und auch für Fähren, Autozüge/ Autoverlade-Zug) keine Veränderungen angenommen, da Autobahnauf- und -abfahrten, Brücken, Kreisverkehre etc. gemäss Janssen et al. (2015) nicht für Platooning ausgelegt sind und auf Anschlussstellen durch Automatisierung gemäss Perret et al. (2020) nur wenig Optimierung erzielt werden kann. Da die Kapazität an den Anschlussstellen nicht verändert wurde und damit kein Vergleichsfall vorliegt, kann die Wirkung bzw. der Einfluss dieser Annahme nicht quantifiziert werden. Grundsätzlich führen die Bottlenecks an den Anschlussstellen zu Reisezeitverlusten. Würden nun auch die Anschlussstellen mit zusätzlicher Kapazität ausgestattet, ist davon auszugehen, dass diese Annahme zu einer Attraktivierung der Routenwahl unter Einbezug der Nationalstrassen führen würde.

- Auf Auto- und Hauptverkehrsstrassen ausserorts (inkl. Ausland) werden als Überlandfahrten betrachtet und weisen im Vergleich zu Autobahnen leicht geringere Kapazitätserhöhungen auf. Als Annahme wurde ein Faktor zwischen 1.76 (Autobahnen) und 1.4 (urbane Streckentypen) von durchschnittlich 1.65 gewählt.
- Basierend auf Friedrich (2015) wird ein Faktor von 1.4 für urbane Strassentypen (HVS und übrige Strassen innerorts) angenommen.

Wir nehmen an, dass Szenario 2 keine Effekte auf die Kapazität der bestehenden Infrastruktur hat. Für das Szenario 3 hinterlegen wir deshalb die gleichen Annahmen wie für Szenario 1.

Tabelle 36: Zentrale Stellschraube des NPVM im Bereich Strasseninfrastrukturkapazität und deren Veränderung in den Szenarien 1–3

Faktor zur Anpassung der Kapazität im NPVM nach Strassentypen	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
				
Autobahn		1.76	1	1.76
Autostrasse		1.65	1	1.65
Hauptverkehrsstrasse ausserorts		1.65	1	1.65
Hauptverkehrsstrasse innerorts		1.4	1	1.4
Übrige Strasse ausserorts		1.65	1	1.65
Übrige Strasse innerorts	Werte gemäss NPVM Referenz (vgl. Anhang A1, Tabelle 67)	1.4	1	1.4
Anschlussstellen		1	1	1
Autobahn Ausland		1.76	1	1.76
Hauptverkehrsstrasse Ausland		1.65	1	1.65
übrige Strasse Ausland		1.4	1	1.4
Fähre, Autozug, Autoverlad Zug		1	1	1

Tabelle INFRAS/DLR.

Ruhender Strassenverkehr

In den Verkehrsmodellen des UVEK wird der ruhende Strassenverkehr nicht abgebildet. Insofern liegen keine quantitativen Annahmen betreffend der Wirkungen vor. Diese werden im Folgenden qualitativ skizziert; weitere Ausführungen finden sich in den Abschnitten 4.4.3.4.1 und 4.4.3.4.2.

Bei einer vollständigen Automatisierung im Strassenverkehr bedarf es weniger Kapazitäten für den ruhenden Verkehr (Abstell-/Parkplätze) v.a. in dichtbesiedelten Räumen, da diese autonom z.B. in peripher gelegene Parkhäuser gefahren werden können (Gloor et al. 2020). Dies kann wiederum zu zunehmendem Parkverkehr (Anstieg Fahrleistung) im Strassenverkehr führen (verkehrlicher Effekt). Hörl et al. (2019) gehen davon aus, dass durch Automatisierung 12–20 % des Strassenraums in stark überlasteten Gebieten frei werden, da 80–90 % der Parkplätze abgebaut werden.

Nimmt durch Sharing und Kollaboration zudem die Grösse der Fahrzeugflotte deutlich ab, kann Infrastruktur, die heute zum Abstellen von Fahrzeugen (Park- und Rastplätze) genutzt wird, anderweitig genutzt werden. Durch Sharing und bedarfsgesteuerte Verkehre im Personenverkehr werden jedoch weitere Umstiegsflächen benötigt (Fischer et al. 2018).

5.3.2. Annahmen zu Kostenentwicklungen

Damit hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge auf Strasse und Schiene verkehren und untereinander sowie allenfalls mit der Infrastruktur kommunizieren können, bedarf es entsprechender (physischer) Infrastruktur sowie Informations- und Kommunikationssysteme. ITF (2017) unterscheidet beispielsweise zwischen «harter» und «weicher» Infrastruktur.

Ausrüstung der Infrastruktur für automatisiertes Fahren

Für eine Abschätzung der Kostenwirkungen betreffend (physischer) Strasseninfrastruktur liegen für die Schweiz keine Schätzungen vor. Für die Schiene kann auf den Konzeptbericht zu smartrail 4.0 (2019) zurückgegriffen werden. Das Projekt wurde jedoch sistiert. In diesem wurde davon ausgegangen, dass die Komplexität der Bahninfrastruktur durch den automatisierten Betrieb (und einer Zentralisierung von Funktionen) reduziert und daher die Kosten reduziert werden können. Die Zusatzkosten, die über den 1:1 Substanzerhalt der bestehenden Anlagen hinausgeht, werden auf 1.6 Mrd. Franken geschätzt, wobei hierbei auch die Ausrüstung der Fahrzeuge enthalten ist. Diesen stehen Nutzen in gleicher Grössenordnung gegenüber. Aufgrund der Unsicherheit der Entwicklung des künftigen Zugsicherungssystem (vgl. Kap. 4.4.3.2) und damit der Entwicklung von ATO können keine Kosten quantifiziert werden.

Bei der Strasseninfrastruktur können einerseits die Strasse an sich und andererseits Nebenanlagen unterschieden werden. Bei der Strasse handelt es sich um den Strassenkörper, Anlagen zum Schutz und für die Sicherheit wie z.B. Beleuchtung, Leitplanken, entsprechende Markierungen sowie verkehrstechnische Anlagen wie Signale und die Verkehrsleittechnik. Im Hinblick auf eine intelligente Strasseninfrastruktur für voll- und hochautomatisiertes Fahren stellt sich die Frage, welche Anforderungen die Strasseninfrastruktur künftig erfüllen muss. Automatisierung im Strassenverkehr kann durchgängige Spurmarkierungen, allenfalls separate Fahrspuren, Anpassungen an Brücken, Autobahnauf- und abfahrten, Kreisverkehren etc. notwendig machen (Janssen et al. 2015, Lex et al. 2017). Für das Verkehrsmanagement und die Überwachung sind Remote Control Centers und Rückfalloptionen zu berücksichtigen (ITF 2017). Durch den Einsatz neuer Anlagen (z.B. Virtual Traffic Lights) sind aber auch Kostenreduktionen denkbar (Zhang et al. 2018). Eine Quantifizierung für die Schweiz liegt uns nicht vor.

Kernfrage in diesem Zusammenhang ist, ob die Betreiberin der Strasseninfrastruktur den Verkehr auf dieser aktiv steuern wird oder ob die Steuerung primär zwischen den Fahrzeugen (V2V) stattfinden wird.

Informations- und Kommunikationssysteme sowie Datenmanagement

In einem automatisierten, vernetzten Strassenverkehr wird eine Vielzahl unterschiedlicher Daten erzeugt, erfasst, verarbeitet, ausgetauscht und gespeichert. Ein intelligentes Verkehrssystem ist dabei auf vergangenheitsbezogene Daten, Echtzeitinformationen sowie Prognosen angewiesen. Dies betrifft strasseninfrastrukturbezogene Informationen (Bestand, Zustand, Baustellen etc.), fahrzeugbezogene (Typ, Auslastung, etc.) und allenfalls personenbezogene Daten, mobilitätsbezogene Informationen z.B. zu Standort oder Routen sowie umweltbezogene Daten (Wetter etc.). Auch andere Definitionen von Datenarten oder -kategorien sind denkbar. Der VDA (2015) unterscheidet z.B. folgende Datenkategorien: Daten aufgrund gesetzlicher Regelung, Daten aufgrund technischer Prozesse sowie moderne Datendienste aufgrund vertraglicher Regelungen. Zentrale Frage ist, wer für das Informations-/Datenmanagement verantwortlich ist bzw. wer hat das Recht (die Hoheit), Daten zu erfassen, zu verarbeiten, zu tauschen/zu verbreiten und zu speichern. Auch die Datenqualität und die Verantwortung darüber ist wichtig.

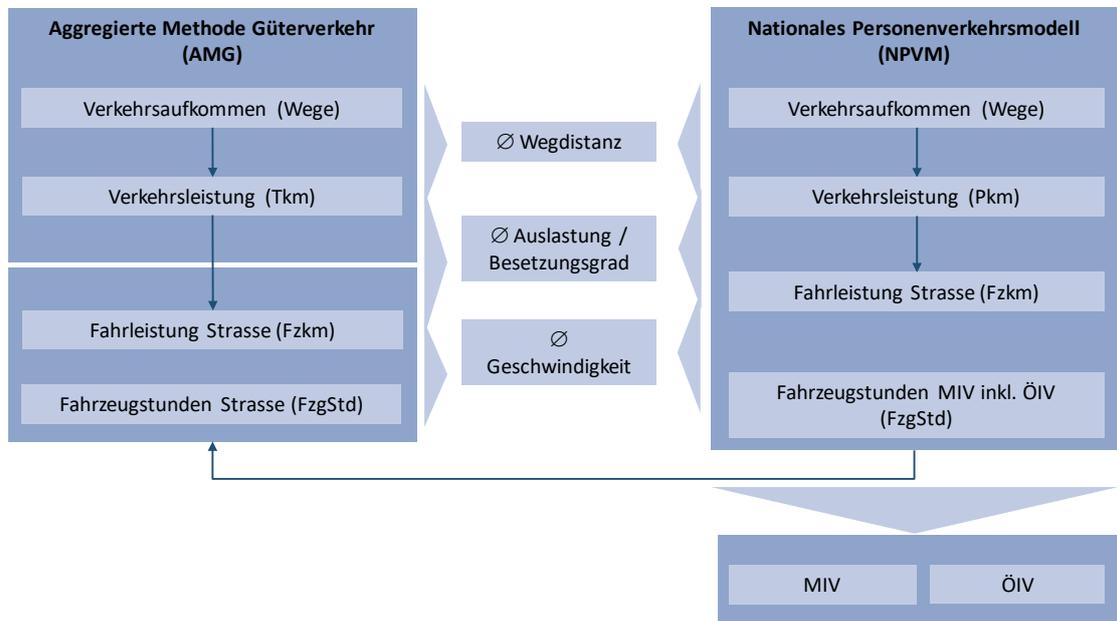
Es ist davon auszugehen, dass die Kommunikationsinfrastrukturen bis 2060 alle Anforderungen und Bedürfnisse der betrachteten Szenarien erfüllen können und die Kosten dafür in einer Gesamtbetrachtung eher gering ausfallen werden. Für die vorliegende Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Mobilfunksysteme die Anforderung eines vollautomatisierten Strassen- als auch Schienenverkehrs im Jahr 2060 erfüllen können. Entsprechend werden hierfür keine (zusätzlichen) Kosten berücksichtigt.

6. Verkehrliche Wirkungen

6.1. Vorbemerkungen

Die verkehrlichen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität werden mittels der Ergebnisse der Verkehrsmodelle des UVEK abgeschätzt. Im Ergebnis liegen uns Verkehrsaufkommen, -leistung sowie Fahrleistungen und zusätzlich auch die Fahrzeugstunden vor (Abbildung 27). Basierend auf den NPVM-Ergebnissen werden nachfolgend Verkehrsaufkommen und -leistung für den ÖIV vereinfacht abgeschätzt.

Abbildung 27: Übersicht zu den Indikatoren der Verkehrsmodelle des UVEK zur Beurteilung der verkehrlichen Wirkungen



Grafik INFRAS.

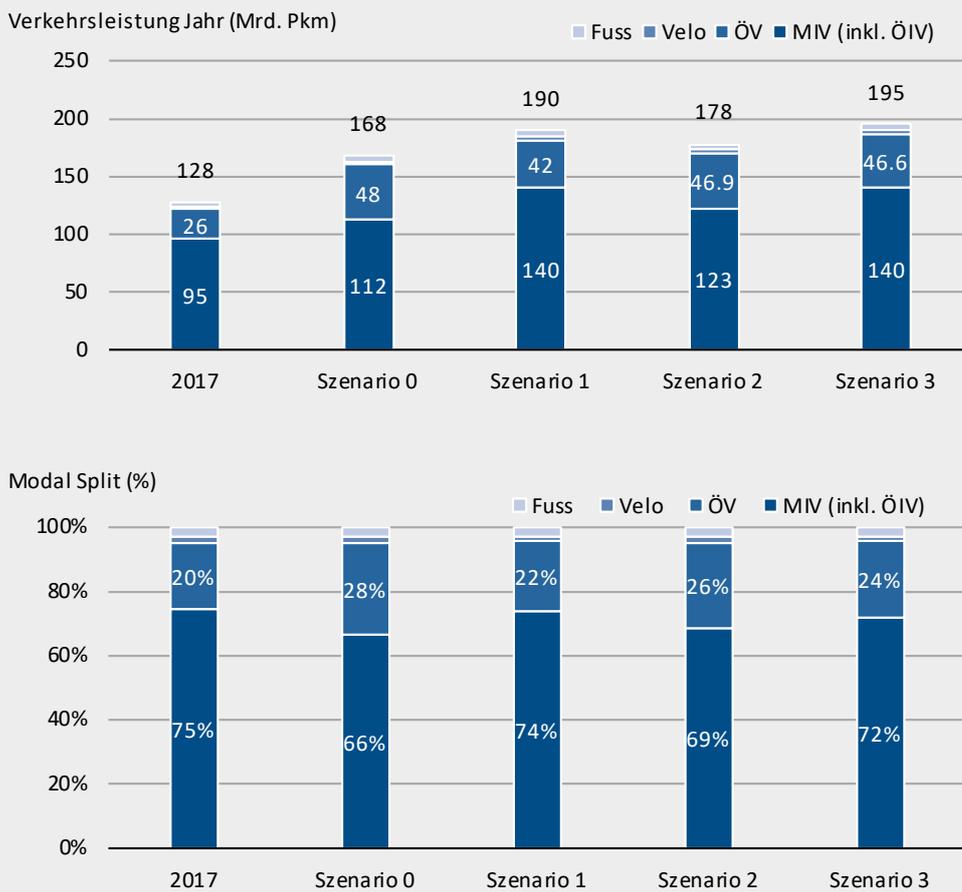
Die Ergebnisse des NPVM für den Personenverkehr sind in Kap. 6.2 und die Ergebnisse der AMG sowie des NPVM betreffend der Fahrleistungen und Fahrzeugstunden für den Güterverkehr in Kap. 6.3 zusammengefasst.

👉 Wir legen den Fokus auf die Veränderungen der Eckszenarien 1–3 ggü. dem Szenario 0. Um eine Vergleichsbasis zu schaffen, hat das ARE daher das Szenario 0 erstellt, in dem das Netz (Infrastruktur- und Angebotszustände) dem von 2017 entspricht, die Bevölkerung aber entsprechend der BFS-Prognose für 2060 (+27 %) angepasst wird. Dies führt zu höheren Anteilen des ÖIV im Jahr 2060 ggü. dem Jahr 2017, da die Strasse deutlich überlastet

ist. Lediglich in den Szenarien 1 und 3 werden pauschale Veränderungen der Kapazität der Strasse aufgrund der Automatisierung ggü. dem Szenario 0 variiert (d.h. erhöht).

Das Verkehrsaufkommen im Personenverkehr steigt zwischen 2017 und 2060 um rund 26 %, was der Zunahme der Bevölkerung im selben Zeitraum entspricht. Die Verkehrsleistung nimmt zwischen 2017 und 2060 (Szenario 0) um rund 32 % zu, d.h. die durchschnittlichen Wegelängen steigen. Der Modal-Split im ÖV steigt um rund 8 Prozentpunkte auf 28 % zulasten des Verkehrsleistungsanteils des MIV (inkl. ÖIV) (Abbildung 28).

Abbildung 28: Verkehrsleistung und Modal Split im Personenverkehr 2017 und im Szenario 0-3 im 2060



MIV: Motorisierter Individualverkehr, ÖIV: öffentlicher Individualverkehr, ÖV: Öffentlicher Verkehr.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

6.2. Personenverkehr

6.2.1. Übersicht zu den verkehrlichen Wirkungen

Die verkehrlichen Wirkungen werden zuerst übergeordnet je Szenario zusammengefasst. Grundlage dafür sind die Annahmen zu den Achsen der Szenarien und den Stellschrauben (vgl. Kap. 5.1.1, Tabelle 14 und Kap. 5.1.6, Tabelle 26). Danach präsentieren wir die Ergebnisse entlang der verschiedenen Indikatoren, d.h. Veränderungen von Verkehrsaufkommen, -leistung im Personenverkehr sowie Fahrleistungen und Fahrzeugstunden im MIV ggü. dem Szenario 0.

 Ride-Pooling und Ride-Sharing/Car-Pooling Angebote fassen wir zusammen und definieren wir als öffentlichen Individualverkehr (ÖIV). Im ÖIV werden Fahrten bedarfsgerecht gebündelt und sind daher kollektiv. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die neue Angebotsform ÖIV im NPVM nicht abgebildet ist. Diese Angebotsform wurde im Rahmen der Entwicklung der zentralen Stellschrauben zum MIV implizit mitberücksichtigt (vgl. Kap. 3.2.2). Die Ergebnisse der Modellierung werden zunächst für den ÖV und MIV (inkl. ÖIV) präsentiert (Kap. 6.2.2–6.2.5). Basierend auf den Modellergebnissen des NPVM haben wir mögliche verkehrliche Entwicklungen für den privaten, individuell genutzten MIV und der neuen, bedarfsgesteuerten Angebotsform ÖIV grob geschätzt. Diese Ergebnisse fassen wir in Kap. 6.2.6 zusammen.

Die folgenden Boxen umfassen für jedes Szenario – «Automatisierung», «Sharing» und «Servicewelt» – die wichtigsten Annahmen zu den Achsen und Stellschrauben für das Jahr 2060. Zudem diskutieren wir je Szenario die wichtigsten verkehrlichen Wirkungen. Die verkehrlichen Wirkungen sind als Veränderung gegenüber der Referenz (Szenario 0) im Jahr 2060 zu verstehen.

Tabelle 37: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 1 «Automatisierung»

<p>Szenario 1 Automatisierung</p> 	<p>Grundelemente Automatisierung. Im Szenario «Automatisierung» ist der Strassen- und Schienenpersonenverkehr zu einem sehr hohen Grad automatisiert. Die Präferenz für Sharing ist hingegen gering. Die Automatisierung führt zu folgenden Veränderungen gegenüber der Referenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ In automatisierten PW kann die Fahrzeit produktiver genutzt werden als in konventionellen PW, d.h. der Value of Time im MIV sinkt. ▪ Die Automatisierung von PW ermöglicht neuen Nutzergruppen (älteren Personen, Kindern und Jugendlichen), den MIV allein zu nutzen. ▪ Da in vollautomatisierten Fahrzeugen kein(e) FahrerIn mehr notwendig ist, können z.B. durch das Bringen und Abholen von Personen Leerfahrten entstehen bzw. sind keine Begleitfahrten notwendig. Dadurch sinkt der durchschnittliche Besetzungsgrad der Fahrzeuge im MIV. ▪ Die Fahrzeugkosten im MIV steigen aufgrund der höheren Anschaffungskosten für automatisierte Fahrzeuge um rund 4 %. ▪ Durch die Automatisierung kann die Strassenkapazität um 50 % erhöht werden, die Durchschnittsgeschwindigkeiten steigen und die Belastung der Netze sinkt. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Die Nachfrage von neuen Nutzergruppen resultiert in einem höheren Verkehrsaufkommen (+2 %). Aufgrund der erhöhten Produktivität der MIV-Nutzenden erhöht sich der Modal Split des MIV. Die erhöhten Kosten vom MIV dämpfen die Mehrnachfrage im MIV hingegen nur leicht. Das gestiegene Aufkommen und die gestiegenen durchschnittlichen Wegedistanzen (+15 %) aufgrund der produktiveren Nutzung der Reisezeit im MIV führen zu einer höheren Verkehrsleistung (+25 % Pkm). Die geringeren durchschnittlichen Besetzungsgrade sowie längere Wegdistanzen im MIV führen zu einer hohen Zunahme der Fahrleistung (+50 % Fzkm) im Vergleich zur Verkehrsleistung (+25 % Pkm) des MIV. Der ÖV verliert an Bedeutung, weil das Angebot der autonomen Fahrzeuge im Verhältnis zum ÖV attraktiver wird (-13 % Pkm). Die generalisierten Kosten des MIV nehmen insgesamt ab, weil der VoT im MIV sinkt. Die Bedeutung des ÖIV bleibt aufgrund der geringen Präferenz für Sharing sehr gering wie im Szenario 0.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle 38: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 2 «Sharing»

<p>Szenario 2 Sharing</p> 	<p>Grundelemente Sharing. Im Szenario «Sharing» hat sich der Gedanke der Kollaboration und des Teilens in der Mobilität durchgesetzt und ist weit verbreitet. Die Automatisierung hat hingegen kaum eine Bedeutung, weil es technisch nicht machbar ist oder gesellschaftlich nicht akzeptiert wird. Folgende Veränderungen gegenüber der Referenz ergeben sich daraus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Das klassische ÖV-Angebot und der private MIV werden ergänzt durch neue kollektive Verkehre (ÖIV). Nutzergruppen ohne eigenen PW (18–44 Jahre) erhalten besseren Zugang zu geteilten Fahrzeugen und Fahrten. ▪ Aufgrund des Sharing reduziert sich der Value of Time im MIV leicht. ▪ Durch das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen steigt der Besetzungsgrad, wodurch bestehende Ressourcen effizienter genutzt werden. ▪ Die Kosten im MIV inkl. neuer Angebotsformen sowie im ÖV sinken. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Das gesamte Verkehrsaufkommen steigt um 1 % aufgrund neuer Nutzergruppen im MIV (inkl. ÖIV). Zusätzlich niedrigere Kosten und ein gesunkener VoT im MIV (inkl. ÖIV) resultieren in einer höheren Verkehrsleistung (+6 %). Die Durchschnittsdistanz steigt im MIV (inkl. ÖIV). Aufgrund dessen steigt der Anteil des MIV inkl. ÖIV zu Lasten des ÖV. Die höheren Besetzungsgrade im MIV führen zu einer geringeren Anzahl eingesetzter Fahrzeuge und dementsprechend auch einer sinkenden Fahrleistung. Die Frage ist, welcher der Effekte überwiegt. Aus dem Modell resultiert eine geringere Zunahme der Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (+1 % Fzkm) als Verkehrsleistung MIV (inkl. ÖIV) (+9.6 % Pkm). Dies bedeutet, dass die Reduktion der Fahrleistung durch die höhere Auslastung kompensiert wird. Die Zunahme der Fahrleistung des MIV (inkl. ÖIV) ist durch eine starke Zunahme der neuen Angebotsform ÖIV zu begründen (der private, individuelle MIV selbst nimmt gleichzeitig um 26.9 % ab). Der ÖIV macht im Jahr 2060 rund 30 % der Fahrleistung des MIV inkl. ÖIV aus.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle 39: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 3 «Servicewelt»

<p>Szenario 3 Servicewelt</p> 	<p>Grundelemente Servicewelt. Im Zentrum der «Servicewelt» stehen App-basierte Plattformen, welche ganzheitliche, intermodale Mobilitätsdienstleistungen («Mobility as a Service») vermitteln. Die Durchdringung automatisierter Verkehrsmittel in einer Mobilitäts-Servicewelt ist hoch. Gleichzeitig haben Sharing und Kollaboration eine sehr hohe Bedeutung. Die Effizienz im ÖV steigt. Der regelmässige, fahrplangebundene Linienverkehr zu Randzeiten und in weniger dicht besiedelten Gebieten verliert an Bedeutung. Die «Servicewelt» zeigt folgende Ausprägungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Automatisierung von PWs und das Teilen von Fahrten ermöglichen neuen Nutzergruppen (v.a. älteren Personen, Kindern und Jugendlichen), den MIV zu nutzen. ▪ Wie im Szenario «Automatisierung» kann die Zeit im PW produktiver genutzt werden. Die Produktivitätssteigerung wird jedoch leicht abgeschwächt durch allfällige Mitnutzende des Fahrzeugs. Die Effekte der Automatisierung und des Sharing auf den VoT (Bewertung der Reisezeit) sind somit nicht additiv. ▪ Die Kosten im MIV (inkl. ÖIV) steigen durch die erhöhten Anschaffungskosten automatisierter Fahrzeuge. Dieser Anstieg wird jedoch durch das Teilen von Fahrzeugen als auch Fahrten (günstigere neue Mobilitätsangebote) kompensiert. ▪ Auch im ÖV sinken die Kosten durch höhere durchschnittliche Besetzungsgrade (Linien mit tiefen Besetzungsgraden werden nicht mehr fahrplangebunden offeriert) und eine Reduktion der Fahrerkosten. ▪ Im MIV (inkl. ÖIV) steigt die Auslastung insgesamt an, d.h. die Abnahme des Besetzungsgrads aufgrund von Leerfahrten wird durch das Teilen von Fahrten/Fahrzeugen kompensiert. ▪ Durch die Automatisierung kann die Strassenkapazität um 50 % erhöht werden, die Durchschnittsgeschwindigkeiten steigen. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Das Verkehrsaufkommen nimmt aufgrund neuer Nutzergruppen um 3 % zu. Durch die geringeren Kosten der Nutzung des MIV (inkl. ÖIV), der produktiveren Nutzung der Fahrzeit und neue Nutzergruppen steigt das Verkehrsaufkommen des MIV (inkl. ÖIV) (+8.4 %) und zusätzlich aufgrund längerer Distanzen auch die Verkehrsleistung (+25.2 %). Der höhere Besetzungsgrad der Fahrzeuge resultiert in einem geringeren Anstieg der Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (+18 % Fzkm) im Vergleich zur Verkehrsleistung MIV (inkl. ÖIV). Die Fahrleistungszunahme des MIV (inkl. ÖIV) ist auf eine Zunahme vom konv. MIV (+0.2 %) und einer starken Zunahme des ÖIV zurückzuführen, der 2060 in dem Szenario 22 % der Fahrleistung des MIV plus ÖIV ausmacht.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

In den obigen Boxen fassen wir die Grundelemente und Ergebnisse je Szenario zusammen. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisindikatoren und die prozentualen Veränderungen der Grössen für die Szenarien 1, 2 und 3 gegenüber der Referenz (Szenario 0). Die weiteren Kapitel zum Personenverkehr zeigen die Ergebnisse der drei Szenarien und des Szenario 0 je Indikator im Vergleich und Detail.

Tabelle 40: Veränderungen im Personenverkehr gegenüber der Referenz 2060

	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Verkehrsaufkommen (Wege)	2.1 %	1.0 %	3.0 %
MIV (inkl. ÖIV)	8.6 %	3.7 %	8.4 %
<i>davon MIV privat/individuell bzw. exkl. ÖIV</i>	8.6 %	-30.9 %	-27.7 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total</i>	-	33 %	33 %
ÖV	-7.5 %	-1.7 %	-0.3 %
Veloverkehr	-8.1 %	-2.9 %	-7.9 %
Fussverkehr	0.0 %	-0.4 %	0.0 %
Verkehrsleistung (pkm)	13 %	6 %	16 %
MIV (inkl. ÖIV)	25.1 %	9.6 %	25.2 %
<i>davon MIV privat/individuell (gleiche Weglänge)</i>	25.1 %	-26.9 %	-16.5 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total (gleiche Weglänge)</i>	-	33 %	33 %
ÖV	-12.9 %	-2.2 %	-2.8 %
Veloverkehr	-8.1 %	-2.9 %	-7.3 %
Fussverkehr	-1.7 %	-0.8 %	-0.1 %
Durchschnittliche Wegedistanz (km)	+10 %	+4 %	+12 %
MIV (inkl. ÖIV)	15 %	6 %	15 %
ÖV	-6 %	-1 %	-3 %
Veloverkehr	0 %	0 %	1 %
Fussverkehr	-2 %	0 %	0 %
Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV) (fzkm)	50 %	1 %	18 %
<i>Anteil ÖIV an MIV total (gleiche Weglänge)</i>	-	29 %	22 %
Durchschnittlicher Besetzungsgrad MIV privat/individuell	-17 %	0 %	-17 %
Durchschnittlicher Besetzungsgrad MIV öffentlich/kollektiv	-	+25 %	+51 %
Fahrzeugstunden MIV (h)	39 %	-1 %	6 %
Durchschnittsgeschwindigkeit MIV (inkl. ÖIV)	+8 %	+2 %	+12 %

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Das Verkehrsaufkommen nimmt aufgrund des verbesserten Zugangs zur Mobilität bzw. Mobilitätswerkzeugen in allen drei Szenarien ggü. dem Szenario 0 zu. Die Erhöhung der Mobilitätsraten führt zu induziertem Verkehr (Neuverkehr). Dies ergibt sich aus zwei Effekten:

- Der Anstieg in den Szenarien 1 und 3 ist auf die Automatisierung (Zugang von älteren Personen sowie Kindern und Jugendlichen zum MIV einschliesslich ÖIV) zurückzuführen.
- In den Szenarien 2 und 3 erhöht sich die Mobilitätsrate aufgrund des Zugangs zu geteilten PW (Sharing).

Aufgrund dessen ist der Anstieg des Verkehrsaufkommens gegenüber der Referenz (Szenario 0) im Szenario 3 «Servicewelt», in dem sowohl der Effekt der Automatisierung als auch des Sharing relevant ist, am höchsten.

Entsprechend steigt auch die Verkehrsleistung in den drei Szenarien unterschiedlich. Der Anstieg der Verkehrsleistung liegt über dem des Verkehrsaufkommens, d.h. es werden tendenziell längere Wege zurückgelegt. Die durchschnittliche Weglänge nimmt aufgrund des gesunkenen VoT im MIV (inkl. ÖIV) und den gesunkenen Kosten im MIV (inkl. ÖIV) in allen Szenarien zu, während diese im ÖV abnimmt. Daraus ist zu schliessen, dass modale Verlagerungen vom ÖV auf den MIV (inkl. ÖIV) v.a. bei längeren Fahrten stattfinden.

Der Modal Split verändert sich im Vergleich zur Referenz in allen drei Szenarien zugunsten des MIV, wobei in den Modellergebnissen auch neue Angebotsformen des ÖIV beim MIV subsummiert sind. Entsprechend steigen die Fahrleistungen im MIV (inkl. ÖIV) sowie die Fahrzeugstunden, wobei der Anstieg der Fahrzeugstunden geringer ist im Vergleich zu den Fahrleistungen. In den Szenarien 1 und 3 reduzieren sich das Verkehrsaufkommen und damit der Modal Split im Veloverkehr deutlich aufgrund der Automatisierung und der damit einhergehenden Attraktivierung des MIV.

In **Szenario «Automatisierung»** ist der Anstieg der Fahrleistungen im MIV ggü. dem Szenario 0 am höchsten. Aufgrund des Zugangs zum MIV von neuen Personengruppen, der Reduktion der Besetzungsgrade als auch der Erhöhung der durchschnittlichen Weglänge, steigen die Fahrleistungen im MIV (inkl. ÖIV) mit +50 % deutlich. Der Anstieg der Fahrzeugstunden um knapp 40 % ist ebenfalls hoch, aber dennoch niedriger als die Zunahme der Fahrleistungen. D.h. aufgrund der Kapazitätserhöhungen auf der Strasse durch die Automatisierung kann die durchschnittliche Geschwindigkeit erhöht werden.

Im Gegensatz dazu resultieren in **Szenario «Sharing»** – trotz induziertem Verkehr im MIV und der Erhöhung der durchschnittlichen Weglänge – aufgrund der Erhöhung der Besetzungsgrade (einschliesslich neuer Angebotsform ÖIV) kaum zusätzliche Fahrleistungen (+1 %). Die Fahrzeugstunden können um 1 % reduziert werden, d.h. die durchschnittliche Geschwindigkeit steigt im Vergleich zur Referenz (Szenario 0).

Trotz deutlicher Erhöhung der Verkehrsleistung im MIV (inkl. ÖIV) in **Szenario 3 «Servicewelt»** (+16 %), ist der Anstieg der Fahrleistungen bzw. Fahrzeugstunden im Vergleich zu Szenario 1 geringer (+18 % bzw. +6 %). Die Erhöhung der Besetzungsgrade aufgrund geteilter Fahrten

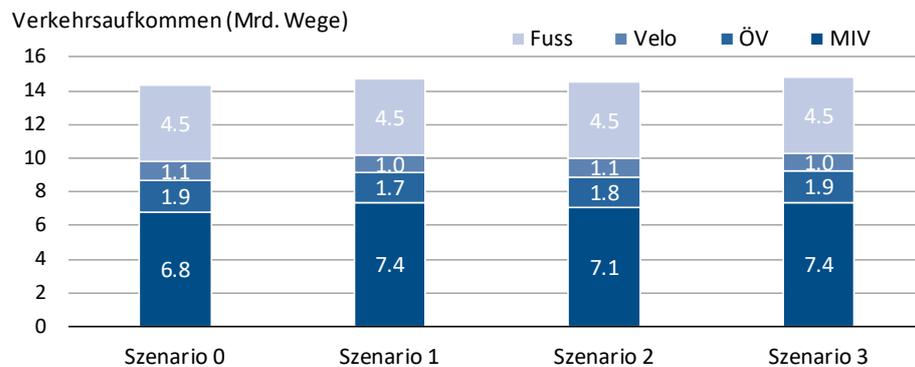
hat demnach einen positiven Effekt. Wie in Szenario «Automatisierung» kann die durchschnittliche Geschwindigkeit aufgrund der Kapazitätserhöhungen auf der Strasse durch die Automatisierung erhöht werden.

6.2.2. Veränderung des Aufkommens

Veränderung des Verkehrsaufkommens insgesamt und des Modal Split

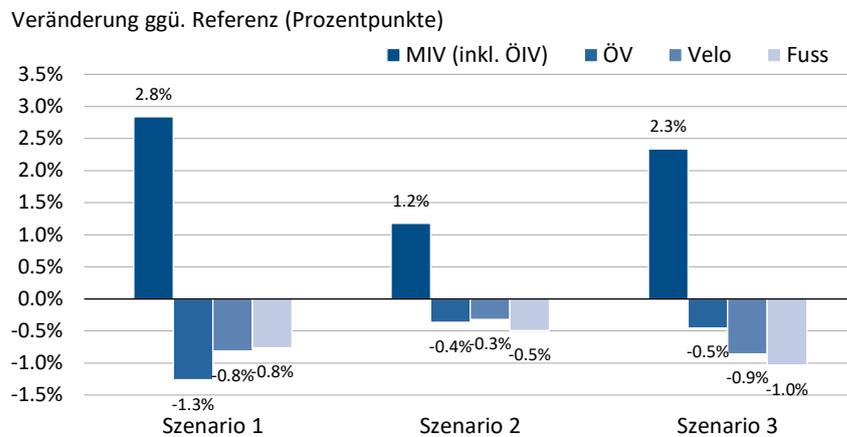
Aufgrund der angenommenen Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0 erhöht sich das gesamte Verkehrsaufkommen (Anzahl Wege) in allen drei Digitalisierungs-Szenarien gegenüber dem Szenario 0 (Referenz) im 2060. Am stärksten ist der Anstieg in den Szenarien 1 «Automatisierung» (+2 %) und 3 «Servicewelt» (+3 %). Während das Aufkommen im MIV (inkl. ÖIV) steigt, nimmt dieses im ÖV und Veloverkehr ab. Für den Fussverkehr resultiert ein konstantes Wegeaufkommen.

Abbildung 29: Verkehrsaufkommen im Personenverkehr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

In den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» erhöht sich der Anteil des MIV um zwei Prozentpunkte auf 50 %. In Szenario «Sharing» würde der Anteil MIV bei 49 % zu liegen kommen. Die Anteile beim ÖV, Velo- und Fussverkehr bleiben für alle drei Szenarien nahezu konstant. Der Öffentliche Verkehr verliert in Szenario 1 rund einen Prozentpunkt und liegt bei 12 % des Verkehrsaufkommens.

Abbildung 30: Modal Split nach Verkehrsaufkommen Personenverkehr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Veränderung des Wegeaufkommens nach Fahrtzweck

Die relative Veränderung des Wegeaufkommens in den Szenarien ggü. dem Szenario 0 ist in Tabelle 41 zusammengefasst. Aufgrund des verbesserten Zugangs gewisser Personengruppen zum MIV (ältere Personen, Kinder und Jugendliche) ist der Anstieg des Aufkommens bei den Fahrtzwecken Bildung, Einkauf und Freizeit am stärksten.

Tabelle 41: Veränderung des Wegeaufkommens nach Fahrtzwecken ggü. dem Szenario 0 im 2060 (%)

QZG	Fahrtzweck	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
W_A(A), A(A)_W	Arbeit (Angestellte)	0 %	1 %	1 %
W_A(SK), A(SK)_W	Arbeit (Selbständig, Kader)	0 %	0 %	0 %
W_B(S), B(S)_W	Bildung (Schule)	3 %	5 %	8 %
W_B(U), B(U)_W	Bildung (Universität)	0 %	1 %	1 %
W_E(k), E(k)_W	Einkauf (kurzfristig)	4 %	1 %	5 %
W_E(l), E(l)_W	Einkauf (langfristig)	3 %	1 %	3 %
W_N, N_W	Nutzfahrt	0 %	0 %	0 %
W_Bg(K), Bg(K)_W	Begleitung (Kind)	0 %	1 %	1 %
W_F(k), F(k)_W	Freizeit (kurz)	3 %	1 %	5 %
W_F(l), F(l)_W	Freizeit (lang)	2 %	1 %	3 %
A_S, S_A, A_E(k)F(k), E(k)F(k)_A	Sonstige arbeitsbezogene Wege	0 %	1 %	1 %
E(k)F(k)_E(k)F(k), S_S	Sonstiges	2 %	1 %	3 %

QZG: Quelle-Ziel-Gruppe.

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Bei der Differenzierung im Wegeaufkommen nach Fahrtzweck können wir zusätzlich nach Modi – Fussgängerverkehr (FGV), Velo, PW, ÖV – und Raumtyp – städtisch, intermediär, ländlich – unterscheiden. Unterscheiden wir das Wegeaufkommen nach Fahrtzweck im Vergleich zum Szenario 0 zusätzlich nach Raumtyp, erkennen wir keine relevanten Unterschiede. Bei der zusätzlichen Unterscheidung nach Modus hingegen schon, insbesondere in Szenario 1 und 3. Die relative Veränderung des Wegeaufkommens in den Szenarien ggü. dem Szenario 0 (Referenz) im Jahr 2060 nach Modi für ausgewählte Fahrtzwecke ist in Tabelle 42 zusammengefasst.

Tabelle 42: Veränderung des Wegeaufkommens nach Fahrtzwecken und Modus ggü. Referenz 2060 (%)

Fahrtzweck	FV	Velo	MIV (inkl. ÖIV)	ÖV	Alle
Szenario 1					
Arbeit (Angestellte)	-16 %	-25 %	25 %	-24 %	0 %
Arbeit (Selbständig, Kader)	-19 %	-33 %	20 %	-31 %	0 %
Bildung (Schule)	3 %	-2 %	60 %	-9 %	3 %
Bildung (Universität)	4 %	-1 %	68 %	-19 %	0 %
Freizeit (kurz)	3 %	3 %	2 %	11 %	3 %
Freizeit (lang)	2 %	0 %	-1 %	12 %	2 %
Szenario 2					
Arbeit (Angestellte)	-2 %	-4 %	4 %	-2 %	1 %
Arbeit (Selbständig, Kader)	-3 %	-6 %	4 %	-4 %	0 %
Bildung (Schule)	5 %	4 %	9 %	4 %	5 %
Bildung (Universität)	2 %	0 %	6 %	-1 %	1 %
Freizeit (kurz)	0 %	-2 %	4 %	-2 %	1 %
Freizeit (lang)	-10 %	-10 %	4 %	-4 %	1 %
Szenario 3					
Arbeit (Angestellte)	-12 %	-19 %	16 %	-11 %	1 %
Arbeit (Selbständig, Kader)	-15 %	-25 %	13 %	-17 %	0 %
Bildung (Schule)	7 %	3 %	35 %	4 %	8 %
Bildung (Universität)	3 %	-3 %	36 %	-8 %	1 %
Freizeit (kurz)	3 %	1 %	6 %	12 %	5 %
Freizeit (lang)	-12 %	-14 %	4 %	8 %	3 %

FV: Fussverkehr.

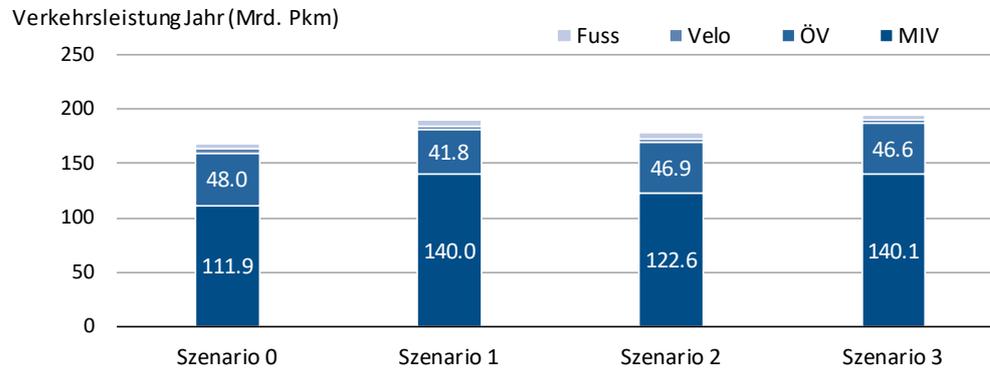
Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Die wichtigsten Unterschiede im Wegeaufkommen nach Fahrtzweck und Modus sind folgende:

- Der MIV (inkl. ÖIV) verzeichnet die stärkste Zunahme des Wegeaufkommens im Vergleich zum Szenario 0 für den Fahrtzweck **Bildung**. Die Zunahme ist am höchsten im Szenario 1, gefolgt von Szenario 3 und 2. Dies bedeutet, dass durch die Automatisierung der Mobilität der PW häufiger verwendet wird, um zu Bildungsinstitutionen zu gelangen, als im Szenario 0. Im Szenario «Automatisierung» werden gleichzeitig das Velo und der ÖV weniger genutzt für den Weg zu Schule oder Universität. Dies ist der Fall, weil durch AF jüngere Personen neu selbständig den PW als Verkehrsmittel nutzen können und die Zeit im PW produktiver genutzt werden kann im Vergleich zu konventionellen PW.
- Neben dem Weg zu Bildungsinstitutionen steigt auch die Nutzung des PW für den **Arbeitsweg** in den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» (im Vergleich zum Szenario 0). Die anderen Modi verlieren gleichzeitig an Bedeutung, wodurch es zu einer Verschiebung der Wege von emissionsarmen zu emissionsreicheren Modi kommt. Gründe dafür sind auch hier neue Nutzergruppen und die Produktivitätssteigerung.

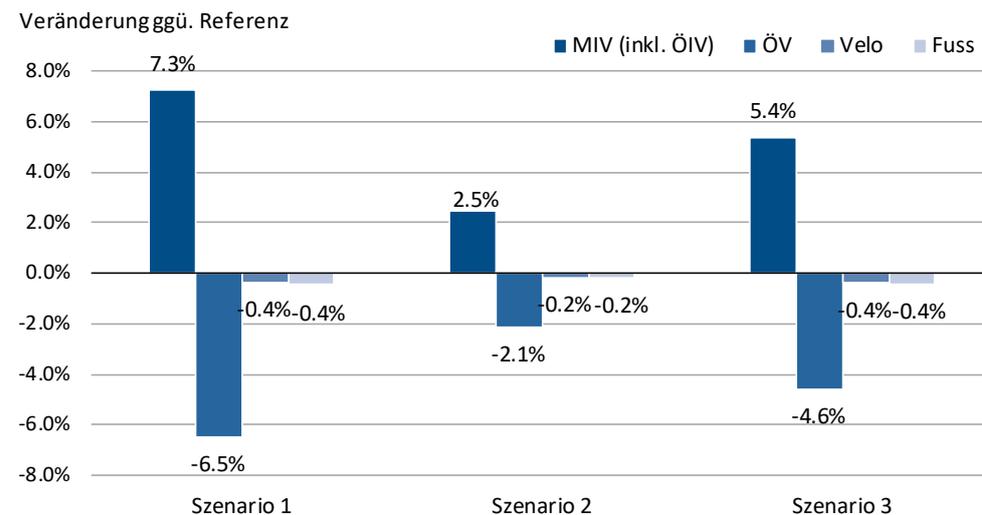
6.2.3. Veränderung der Verkehrsleistung

Der Anstieg der gesamten Verkehrsleistungen im Personenverkehr bei allen drei Eckszenarien ggü. dem Szenario 0 (Referenz) ist deutlich höher als die Veränderungen beim Verkehrsaufkommen, d.h. es werden längere Wege zurückgelegt. Die Zunahme der Verkehrsleistung findet v.a. im MIV (inkl. ÖIV) statt. In den Szenarien 1 und 3 erhöht sich die MIV-Verkehrsleistung um 25 % gegenüber der Referenz (Szenario 0). Die Reduktion der Value of Time kompensiert die Erhöhung der Fahrzeugkosten im MIV (inkl. ÖIV) deutlich. Die Reduktion der ÖV-Kosten kann diese Effekte im MIV nicht kompensieren, weswegen die Verkehrsleistung im ÖV sinkt und dieser Anteil an der gesamten Verkehrsleistung verliert. Die Verkehrsleistungen im Veloverkehr sinken in den Szenarien 1 und 3 aufgrund des Rückgangs im ÖV. Die geringsten Veränderungen ergeben sich für den Fussverkehr.

Abbildung 31: Verkehrsleistung Personenverkehr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Im Szenario 1 resultiert der höchste Anstieg des Anteils des MIV (inkl. ÖIV) mit 7 Prozentpunkten gegenüber der Referenz (Szenario 0). Auch für die Szenarien 2 und 3 erhöht sich der Wert. Diese Anteile gehen zu Lasten des öffentlichen Verkehrs. Die Anteile des Fuss- und Veloverkehrs an den Verkehrsleistungen des Personenverkehrs verändern sich in den Szenarien kaum.

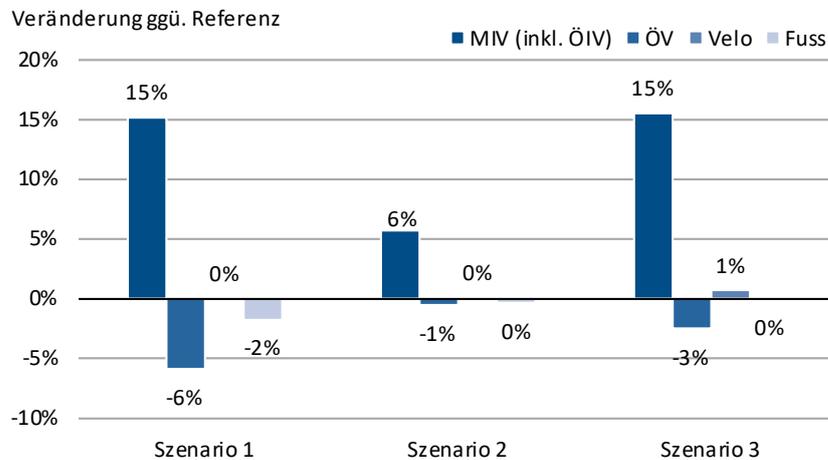
Abbildung 32: Veränderung des Modal Split an der Verkehrsleistung im Personenverkehr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Die durchschnittlichen Distanzen nehmen insgesamt betrachtet in allen Szenarien zu, wobei die Zunahme v.a. im MIV (inkl. ÖIV) aufgrund der Automatisierung stattfindet. Im ÖV nehmen

diese hingegen ab. Die Zeitkostensparnis (Komfortgewinne) und die Reduktion der Betriebsmittelkosten im MIV (inkl. ÖIV) führen zu einer Attraktivierung der PW und längeren Distanzen.

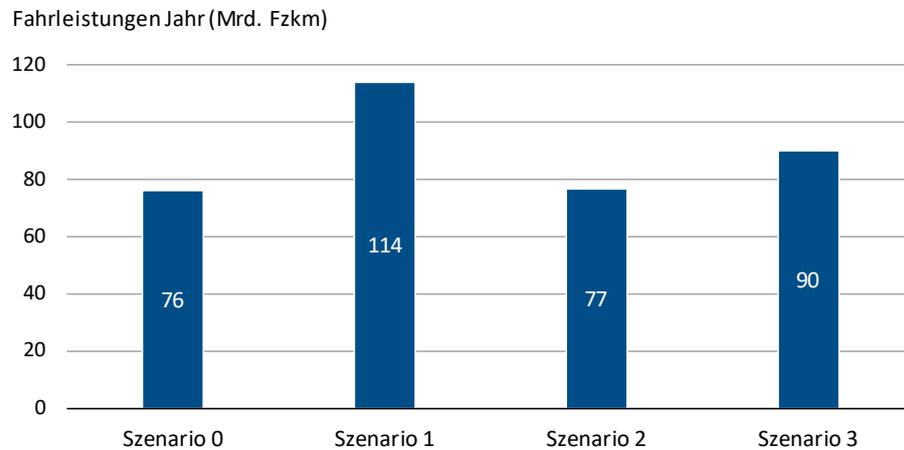
Abbildung 33: Veränderung der durchschnittlichen Wegdistanz ggü. Referenz 2060



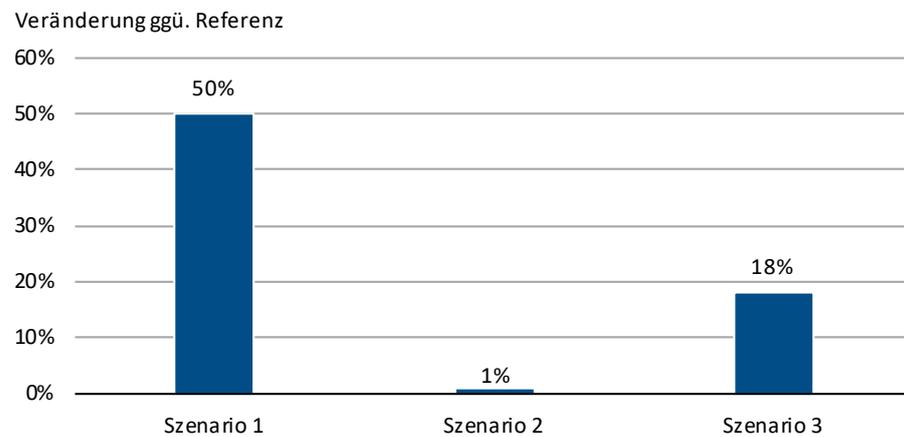
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

6.2.4. Veränderung der Fahrleistungen MIV

Die Ergebnisse des NPVM weisen die Fahrleistungen (in Fahrzeugkilometern, Fzkm) des MIV aus. Die Fahr-/Betriebsleistungen im ÖV liegen nicht vor. Die jährlichen Fahrleistungen des MIV liegen in der Szenario 0 bei 76 Mrd. Fzkm. Im Szenario «Automatisierung» steigt diese um rund 50 %. Im Szenario 3 fällt der Zuwachs mit rund 20 % geringer aus, da der Effekt der Attraktivierung des MIV inkl. ÖIV und der Aufkommensanstieg (neue Nutzergruppen) aufgrund der Erhöhung der Besetzungsgrade durch Sharing kompensiert wird. Das Szenario «Sharing» würde eine praktisch unveränderte Fahrleistung für den MIV im Vergleich zur Referenz (Szenario 0) bedeuten. Die Zunahme des Aufkommens insgesamt und die geringe Erhöhung des Anteils des MIV inkl. ÖIV wird durch die Erhöhung der Besetzungsgrade fast ausgeglichen.

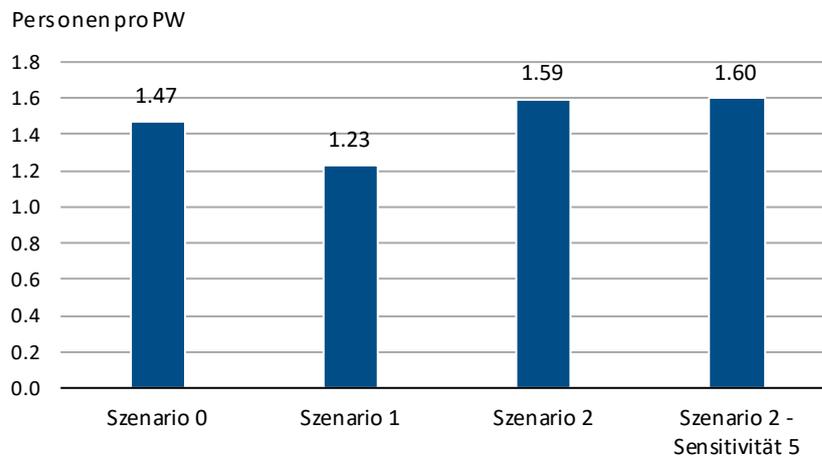
Abbildung 34: Jährliche Fahrleistungen im MIV 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

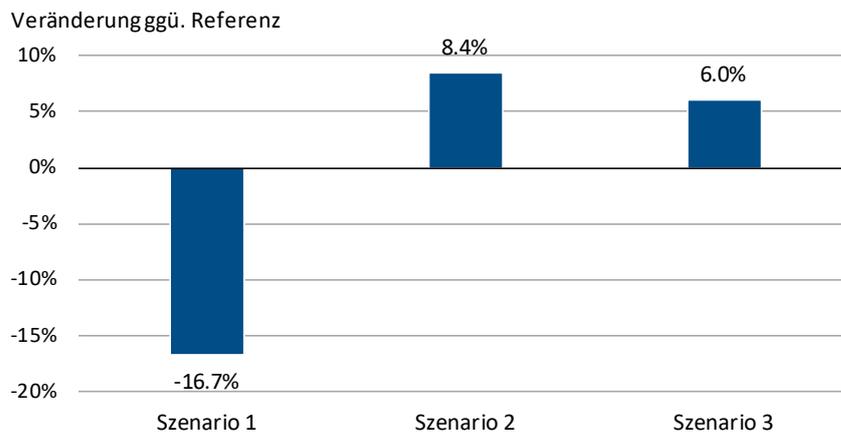
Abbildung 35: Veränderung der Fahrleistungen im MIV 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Auf Basis der Verkehrs- und Fahrleistungen im MIV (inkl. ÖIV) können die durchschnittlichen Besetzungsgrade (Abbildung 36) bzw. deren Veränderung berechnet werden (Abbildung 37). Aufgrund der Automatisierung sinkt diese im Szenario 1 am deutlichsten. Aufgrund des Teilens von Fahrten steigt die durchschnittliche Besetzung in den Szenarien «Sharing» und «Service-welt».

Abbildung 36: Durchschnittliche Besetzungsgrade MIV (inkl. ÖIV)

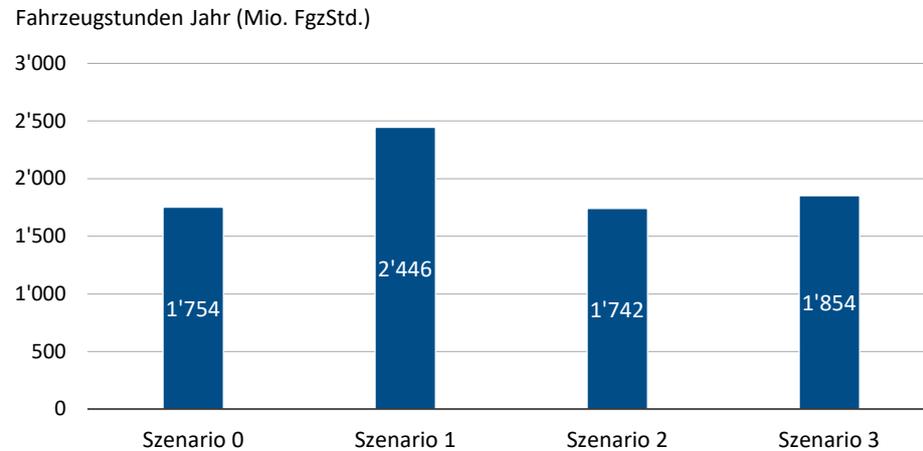
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Berechnungen.

Abbildung 37: Veränderung der durchschnittlichen Besetzungsgrade

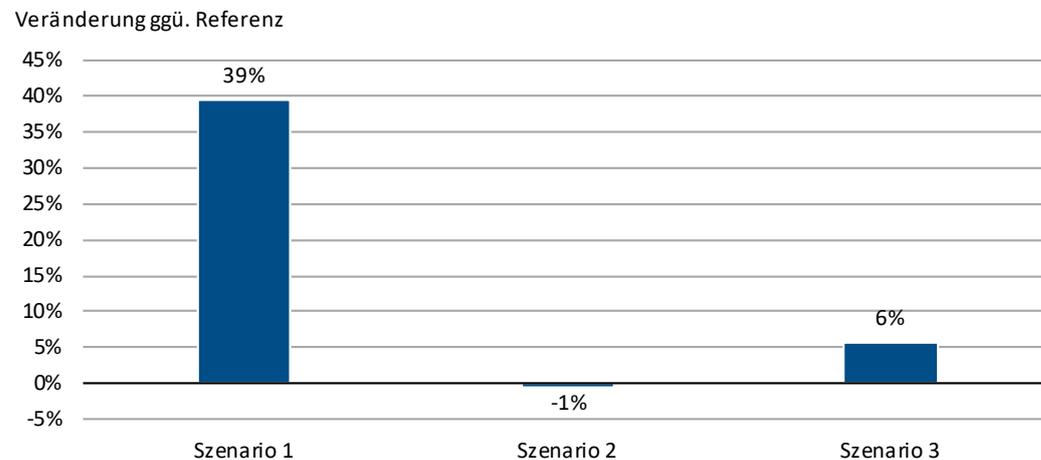
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Berechnungen.

6.2.5. Veränderung von Fahrzeugstunden im MIV

Die jährlichen Fahrzeugstunden (FzgStd.) für den MIV liegen im Szenario 0 2060 bei rund 1.75 Mrd. FzgStd. Im Szenario 1 steigen diese auf nahe 2.5 Mrd. FzgStd. Dies entspricht einer Steigerung um rund 40 %. In Szenario 2 wird von konstanten respektive marginal sinkenden Fahrzeugstunden beim MIV ausgegangen. Eine Zunahme von rund 6 % wird im Szenario 3 erwartet.

Abbildung 38: Jährliche Fahrzeugstunden im MIV 2060

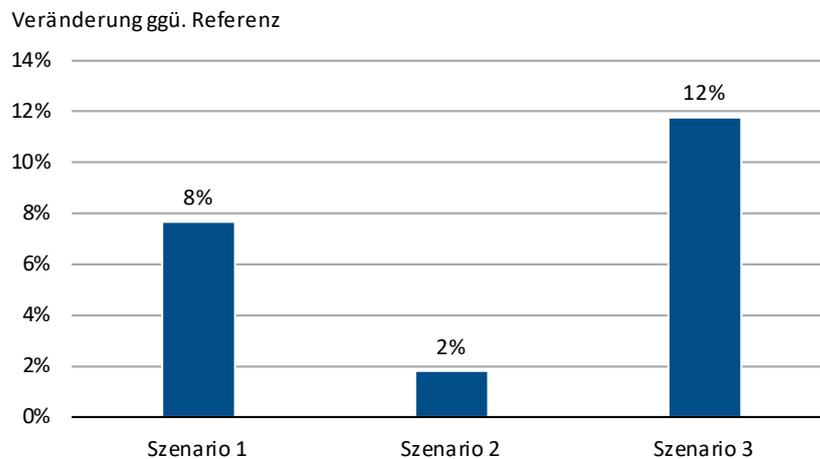
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 39: Veränderungen der Fahrzeugstunden im MIV 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Der Veränderung der Fahrzeugstunden liegen verschiedene, entgegenwirkende Effekte zugrunde:

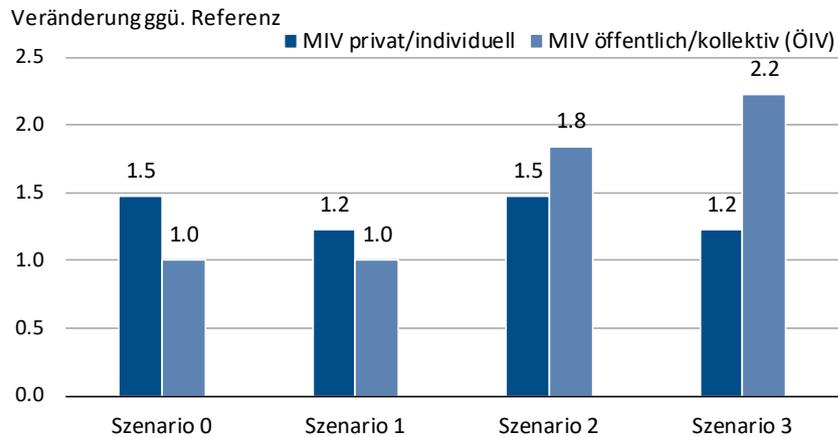
- Das Verkehrsaufkommen und der Modal Split im MIV (inkl. ÖIV) steigen in allen drei Szenarien und damit tendenziell auch die Fahrzeugstunden. In den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» werden durchschnittlich um rund 15 % längere Distanzen gefahren (Ziel-/Routenwahleffekte), was ebenfalls zu einer Erhöhung der Fahrzeugstunden führt.
- Die Erhöhung der Strassenkapazität durch die Automatisierung um 50 %, die in Szenarien 1 und 3 relevant ist, führt zu einer Erhöhung der rechnerischen Durchschnittsgeschwindigkeit in den Szenarien «Automatisierung» bzw. «Servicewelt» (Abbildung 40).

Abbildung 40: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV (inkl. ÖIV)

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Berechnungen.

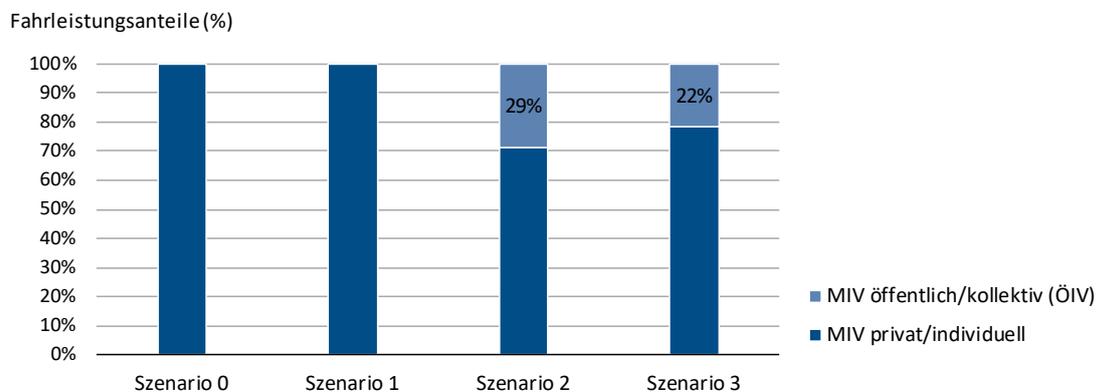
6.2.6. Abschätzungen zu neuen Angebotsformen im motorisierten Verkehr

Das Personenverkehrsmodell des UVEK differenziert bisher nicht nach neuen Angebotsformen, die mit einer Zunahme von Sharing-Angeboten (Ride-Pooling, Car-Pooling) künftig an Bedeutung gewinnen können (Kap. 3.2.2). Das neue Segment des ÖIV wird modellbedingt im NPVM dem MIV zugeordnet (vgl. Kap. 2.2). Um neue Angebote des ÖIV für die Szenarien «Sharing» und «Servicewelt» dennoch abzuschätzen und mögliche Wirkungen aufzuzeigen, wurden die Modellergebnisse des NPVM für den MIV weiter differenziert. Gemäss der Szenarienannahmen werden in Szenario 2 und 3 rund ein Drittel der PW-Fahrten geteilt. Hierbei wurden die differenzierten Besetzungsgrade je Angebotsform (Abbildung 41) und Szenario zugrunde gelegt und die Fahrleistungen basierend auf den durchschnittlichen Weglängen gemäss NPVM Ergebnisse abgeschätzt.

Abbildung 41: Durchschnittliche Besetzungsrate im MIV und ÖIV

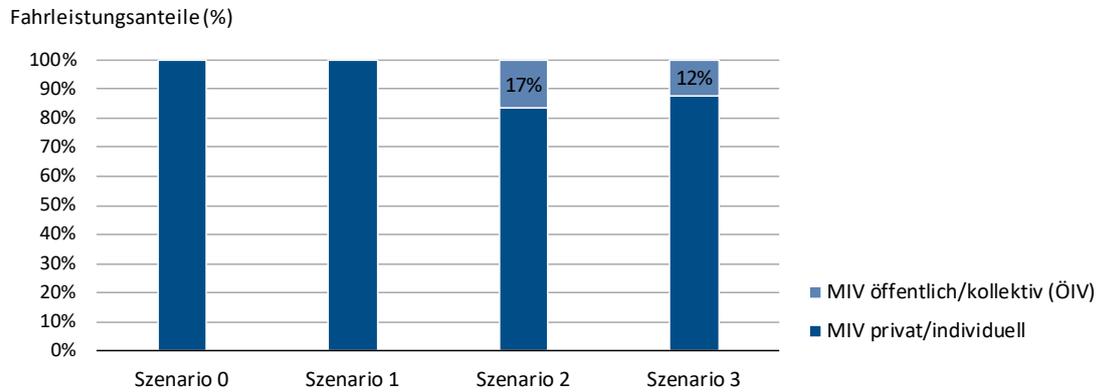
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Schätzungen.

Wird die gleiche durchschnittliche Weglänge für beide Angebotsformen zugrunde gelegt (17.4 km/Fahrt im Szenario 2), ergibt sich ein Fahrleistungsanteil des ÖIV von 29 % bzw. rund 22 Mrd. Fzkm in Szenario «Sharing» (Abbildung 42). Wird hingegen eine um 20 % höhere durchschnittliche Weglänge für privat/individuell genutzte PW angenommen (21.7 km/Fahrt im Szenario 2) und eine entsprechend kürzere Weglänge im ÖIV (5.4 km/Fahrt im Szenario 2), so resultiert ein Fahrleistungsanteil im ÖIV von 17 % bzw. rund 13 Mrd. Fzkm in Szenario 2 (Abbildung 43).

Abbildung 42: Abschätzung der Fahrleistungsanteile neuer Angebotsformen von MIV und ÖV (gleiche durchschnittliche Weglänge) 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Schätzungen.

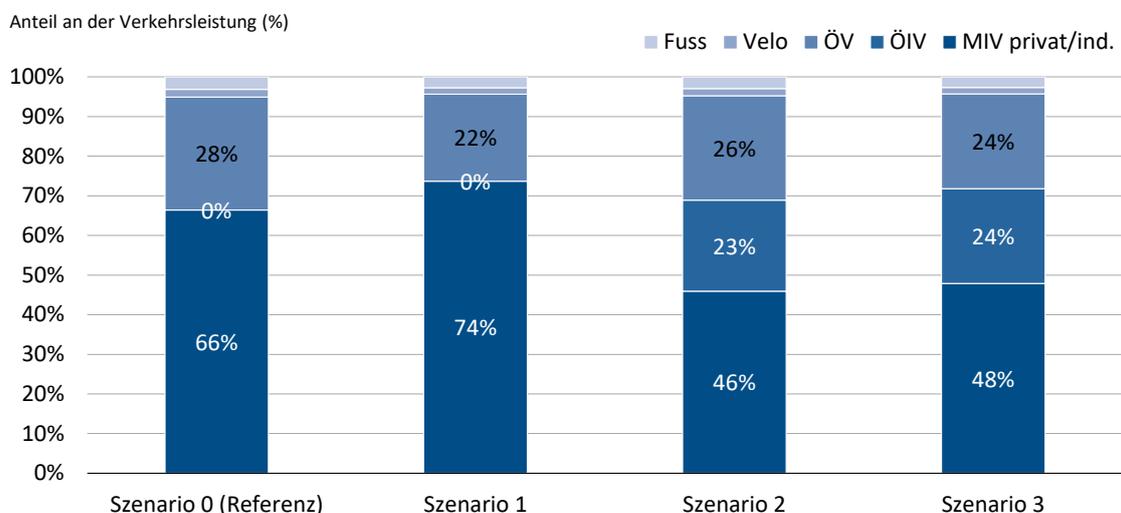
Abbildung 43: Abschätzung der Fahrleistungsanteile neuer Angebotsformen von MIV und ÖV (um 20 % höhere durchschnittliche Weglänge im MIV privat/individuell) 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Schätzungen.

Im Ergebnis können die Anteile an der Verkehrsleistung ausgewiesen werden (Abbildung 44). Aufgrund der neuen Angebotsform ÖIV sinkt insbesondere der Modal Split im privaten, individuellen MIV. Die Verkehrsleistung im privaten, individuellen MIV reduziert sich gegenüber dem Szenario 0 im 2060 um 27% im Szenario 2 bzw. um 17% im Szenario 3. Der Anteil sinkt somit um 20 Prozentpunkte im Szenario 2 bzw. 18 Prozentpunkte im Szenario 3. Die Verlagerung vom ÖV auf den ÖIV ist hingegen gering.

Abbildung 44: Anteil an der Verkehrsleistung in den Szenarien 0–3 im 2060



Grafik INFRAS. Quellen: ARE (NPVM), eigene Schätzungen.

6.3. Güterverkehr

Die folgenden Kapitel fassen die Ergebnisse der verkehrlichen Wirkungen im Bereich des Güterverkehrs zusammen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung in den Szenarien 1, 2, 3 mit der AMG lediglich für den Strassengüterverkehr mit schweren Nutzfahrzeugen berechnet werden konnte. Für den Strassengüterverkehr mit leichten Nutzfahrzeugen wird daher keine Veränderung in den Szenarien angenommen.

6.3.1. Übersicht zu den verkehrlichen Wirkungen

Die verkehrlichen Wirkungen werden zuerst übergeordnet je Szenario zusammengefasst. Grundlage dafür bilden die Annahmen zu den Achsen der Szenarien und den Stellschrauben (vgl. Kap. 5.2.1, Tabelle 28 und Kap. 5.2.6, Tabelle 35). Danach präsentieren wir die Ergebnisse entlang der verschiedenen Indikatoren, d.h. Veränderungen von Verkehrsaufkommen, -leistung sowie Fahrleistungen und Fahrzeugstunden im Vergleich zur Referenz (Szenario 0).

Die folgenden Boxen umfassen für jedes Szenario – «Automatisierung», «Sharing» und «Servicewelt» – die wichtigsten Annahmen in den jeweiligen Szenarien für das Jahr 2060 und die wichtigsten verkehrlichen Wirkungen. Die verkehrlichen Wirkungen sind als Veränderung gegenüber der Referenz (Szenario 0) im Jahr 2060 zu verstehen.

Tabelle 43: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 1 «Automatisierung»

<p>Szenario 1 Automatisierung</p> 	<p>Grundelemente Automatisierung. Der Strassen-als auch Schienengüterverkehr ist vollständig bzw. zu einem sehr hohen Grad automatisiert. Wir fokussieren auf den ausserbetrieblichen Gütertransport von der ersten bis zur letzten Meile. Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen hat die gleiche Bedeutung wie im Szenario 0. Die Automatisierung hat folgende Auswirkungen auf die definierten Stellschrauben:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Aufkommen verändert sich nicht. ▪ Die Personalkosten im Strassengüterverkehr sinken, weil die FahrerInnen das Fahrzeug nicht mehr aktiv lenken müssen. Teilweise werden aber auch weiterhin Personen an Bord sein (z.B. Be- und Entladen), so dass diese Kosten nicht vollständig, sondern zu rund 50 % entfallen. Zudem ermöglicht die Automatisierung einen energieschonenderen Fahrstil sowie Platooning, wodurch der Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten sinken. Im Schienengüterverkehr führt die Automatisierung ebenfalls zur Einsparung von Lokführerkosten und Reduktion der Energiekosten sowie v.a. Einsparungen im Vor- und Nachlauf. ▪ Die Kapazitätserhöhung auf der Strasse führt zu höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten im Strassengüterverkehr. Die Automatisierung von verschiedenen Prozessen und Funktionen sowie kürzere Zugfolgezeiten führen auch im Schienengüterverkehr zu einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit. ▪ Der Effekt der Automatisierung auf den Anteil der Leerfahrten ist unklar. Wir gehen davon aus, dass sich der Leerfahrtenanteil aufgrund der Automatisierung nicht verändert, weil Unternehmen dies aus wirtschaftlichen Überlegungen, wenn immer möglich vermeiden. ▪ Die Automatisierung hat keine Auswirkungen auf die Auslastung der schweren Nutzfahrzeuge pro Fahrt. <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0.</p> <p>Die tieferen Kostensätze und höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten im Schienengüterverkehr resultieren in einer höheren Verkehrsleistung (+1.9 %). Die Strasse verliert an Anteil. Die Fahrleistungen steigen v.a. für leichte Nutzfahrzeuge. Die Durchschnittsdistanz sinkt mit Ausnahme im UKV. Die Kapazitätssteigerung aufgrund der Automatisierung im Strassenverkehr entlastet die Netze. Die Fahrzeugstunden der leichten und schweren Nutzfahrzeuge sinken – trotz minimal steigender Fahrleistungen – um 2 %. Die Schiene (WLV) verliert an Attraktivität im Vergleich zum Strassengüterverkehr, was sich in einer Abnahme der Verkehrsleistung widerspiegelt (-2.5 %).</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle 44: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 2 «Sharing»

<p>Szenario 2 Sharing</p> 	<p>Grundelemente Sharing. Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen gewinnt an Bedeutung. Die Automatisierung verstärkt sich aufgrund der technischen Machbarkeit oder Akzeptanz nicht. Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen führt zu Kosten- und Zeiteinsparungen. Es werden verstärkt Plattformen zur Vermittlung von Transportdienstleistungen genutzt (Matching-Plattformen), um Leerfahrten zu vermeiden bzw. die Auslastung zu erhöhen. Die Flexibilität im System steigt, da freie Transportkapazitäten auf dem Markt angeboten werden. In der Folge sinken die Transportkosten. Durch die verbesserte Kollaboration sinken die Transportkosten und die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der Schiene. Das Aufkommen verändert sich nicht.</p> <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Aufgrund der Kostenreduktion kann die Schiene an Anteil gewinnen; die Strasse verliert an Anteil. Durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen steigt die durchschnittliche Auslastung im Strassengüterverkehr minimal um 0.2 %, die Fahrleistungen im Strassengüterverkehr sinken um 0.8 % und die Verkehrsleistung sinkt um 0.6 %. Durch die Zunahme der Intermodalität steigt die Effizienz verschiedener Prozesse und führt zu einer Reduktion der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr um 1 %. Diese Veränderung liegt auf ähnlich hohem Niveau wie die Reduktion der Fahrleistungen.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

Tabelle 45: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 3 «Servicewelt»

<p>Szenario 3 Servicewelt</p> 	<p>Grundelemente Servicewelt. Die Automatisierung im Güterverkehr ist hoch, gleichzeitig ist der Sharing-Gedanke weit verbreitet bzw. Kooperation, Kollaboration und Intermodalität haben eine sehr hohe Bedeutung. Ein intelligentes Transportsystem führt zu Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen. Sowohl die Automatisierung als auch das Teilen von Ressourcen führen zu einer Reduktion der Kostensätze im Güterverkehr. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten im Strassengüterverkehr steigen aufgrund der Zunahme der Intermodalität, eines flüssigeren Fahrstils und Platooning. Die Automatisierung verstärkt die Auslastungswirkungen durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen. Durch die Vernetzung und Bündelung sinken zudem die Leerfahrten im Strassengüterverkehr. Das Gesamtverkehrsaufkommen bleibt unverändert.</p> <p>Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zum Szenario 0. Durch die tieferen Kostensätze und höhere durchschnittliche Geschwindigkeit im Schienengüterverkehr steigt die Verkehrsleistung um rund +4 %. Aufgrund der höheren Auslastung bei Speditionsgütern und der Reduktion des Leerfahrtenanteils sinkt die Fahrleistung um 1 %. Die Fahrzeugstunden reduzieren sich dank des Kapazitätseffekts aufgrund der Automatisierung deutlich um rund 7 %.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle INFRAS/DLR.

In den obigen Boxen fassen wir die Grundelemente und Ergebnisse je Szenario zusammen. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisindikatoren und die prozentualen Veränderungen

gen der Grössen für die Szenarien 1, 2 und 3 gegenüber dem Szenario 0 (Referenz). Die weiteren Kapitel zum Güterverkehr zeigen die Ergebnisse der drei Szenarien und des Szenario 0 je Indikator im Vergleich und im Detail.

Tabelle 46: Veränderungen im Güterverkehr gegenüber der Referenz 2060

	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Verkehrsaufkommen (t)	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Strasse	-0.3 %	-0.4 %	-0.6 %
Schiene	+1.6 %	+2.1 %	+3.2 %
Verkehrsleistung (tkm)	0.0 %	0.0 %	+0.1 %
Strasse	-0.5 %	-0.6 %	-0.9 %
Schiene	1.9 %	2.4 %	3.7 %
Durchschnittliche Distanz (km)	0.0 %	0.0 %	+0.1 %
Strasse	-0.2 %	-0.2 %	-0.3 %
Schiene	0.3 %	0.3 %	0.5 %
Fahrleistung Strasse (fzkm)	+0.4 %	-0.8 %	-1.0 %
Durchschnittliche Auslastung	-0.9 %	0.2 %	0.1 %
Fahrzeugstunden Strasse (h)	-2.1 %	-1.0 %	-6.3 %
Durchschnittsgeschwindigkeit	+2.7 %	+0.4 %	+6.3 %

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

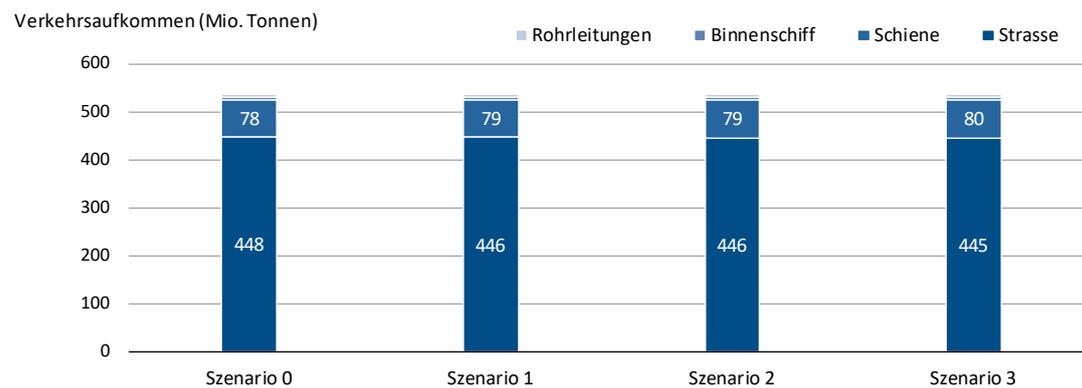
Das Verkehrsaufkommen insgesamt bleibt im Güterverkehr per Definition und vor dem Hintergrund des gewählten Vorgehens der Anwendung des Güterverkehrsmodells unverändert. Der Modal Split verändert sich in allen Szenarien – am ausgeprägtesten in Szenario 3 – zugunsten der Schiene. Ähnliches gilt für die Verkehrsleistung. Die Veränderungen des Modal Splits (bezogen auf Verkehrsaufkommen und -leistung) sind aufgrund der ähnlich hohen Annahmen zur Kostenreduktion in Szenario 1 und 2 gleich hoch.

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Detail zusammenfassend und je Ergebnisindikator im Quervergleich der drei Eckszenarien und zum Szenario 0 dargestellt.

6.3.2. Veränderung des Aufkommens und der Verkehrsleistung

Das Verkehrsaufkommen im Güterverkehr auf Strasse, Schiene, mit Binnenschiffen und in Rohrleitungen beträgt im Szenario 0 rund 536 Mio. Tonnen und verändert sich in den Szenarien 1 bis 3 nicht (Abbildung 45). In den Szenarien 1 und 2 erhöht sich das Verkehrsaufkommen auf der Schiene um rund 2 % auf 79 Mio. Tonnen. Im Szenario 3 steigt das Verkehrsaufkommen im Strassengüterverkehr auf 80 Mio. Tonnen (+3 %). Demgegenüber reduziert sich das Aufkommen im Strassengüterverkehr.

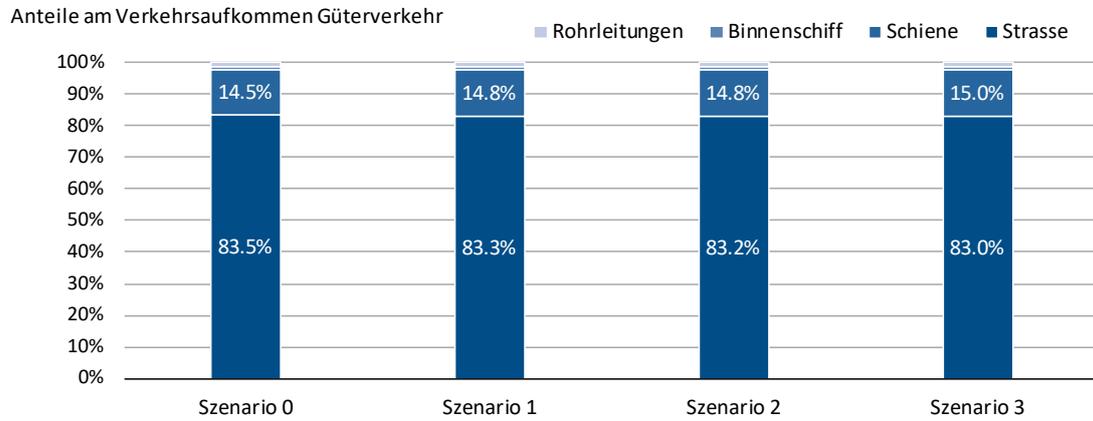
Abbildung 45: Verkehrsaufkommen im Güterverkehr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG).

Der Modal Split der Strasse liegt in der Referenz 2060 bei 84 % und reduziert sich leicht in den Szenarien (Abbildung 46). Entsprechend erhöht sich in allen drei Szenarien der Anteil des Güterverkehrs auf der Schiene. Der Schienengüterverkehr erreicht im Szenario 3 einen Anteil von 15 % des gesamten Verkehrsaufkommens im Güterverkehr.

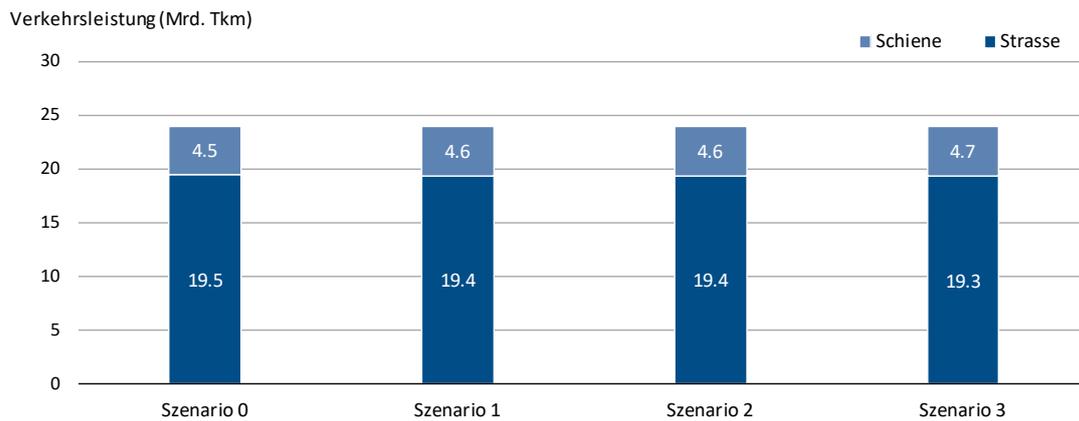
Abbildung 46: Anteile am Verkehrsaufkommen im Güterverkehr 2060



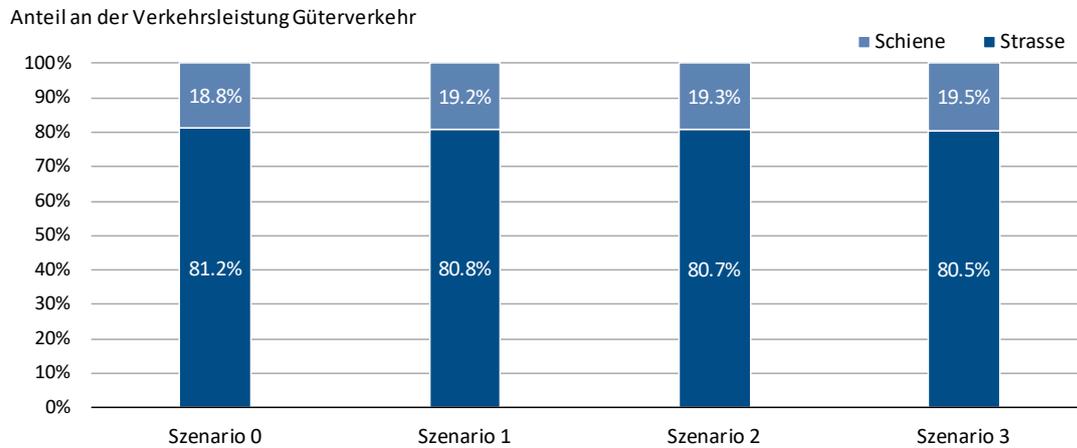
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG).

Die Gesamtverkehrsleistung im Güterverkehr verändert sich in den Szenarien ebenfalls nicht (Abbildung 47). Die Verkehrsleistung auf der Schiene nimmt etwas zu. Entsprechend sinkt der Anteil der Strasse (Abbildung 48).

Abbildung 47: Verkehrsleistung im Güterverkehr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG).

Abbildung 48: Anteile an der Verkehrsleistung im Güterverkehr 2060

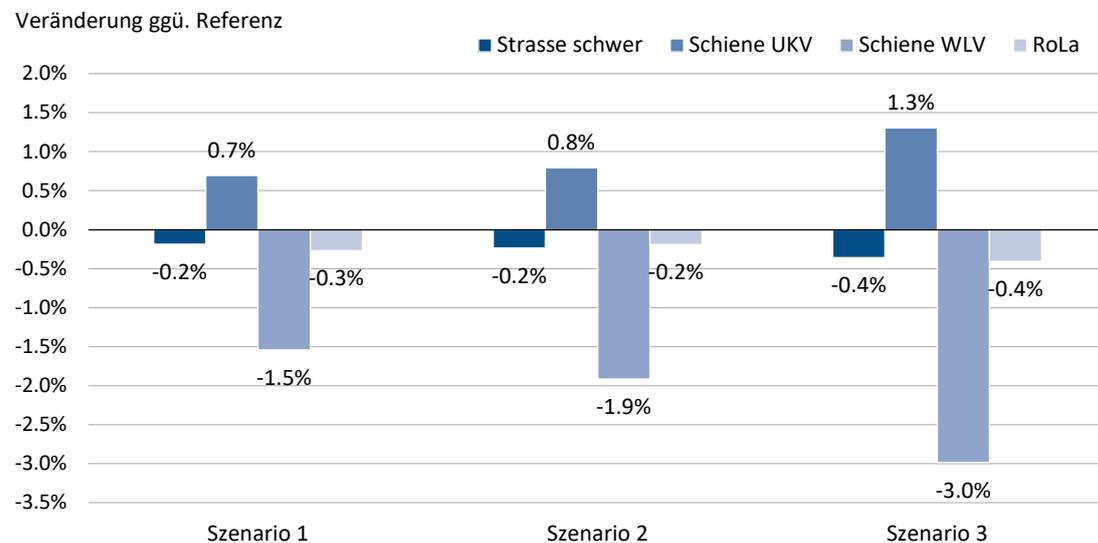
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG).

Der Modal Shift bezogen auf das Verkehrsaufkommen als auch die Leistung resultiert aus den getroffenen Annahmen in den Szenarien bezogen auf das Basisjahr.

Der Anteil der Schiene erhöht sich in allen Szenarien – v.a. im Szenario 3 – zu Lasten der Strasse.

Im Ergebnis resultiert eine Erhöhung der Durchschnittsdistanzen (Abbildung 49).

Abbildung 49: Veränderung der Durchschnittsdistanzen im Güterverkehr ggü. Referenz 2060



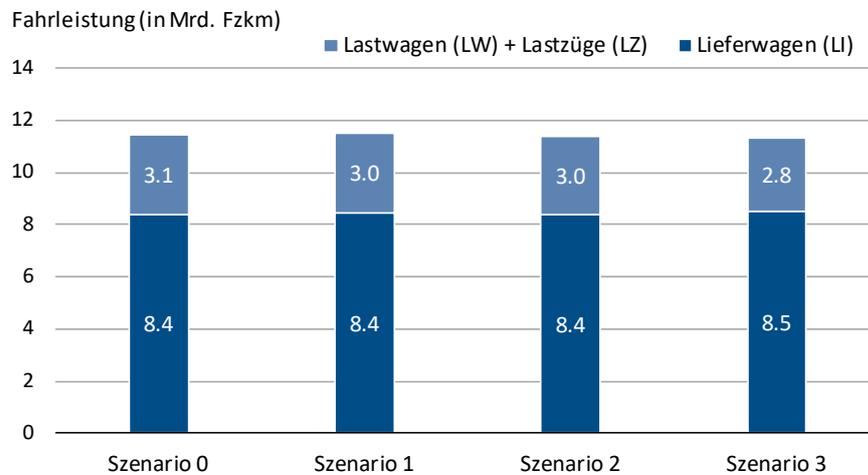
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG).

6.3.3. Veränderung der Fahrleistungen im Strassengüterverkehr

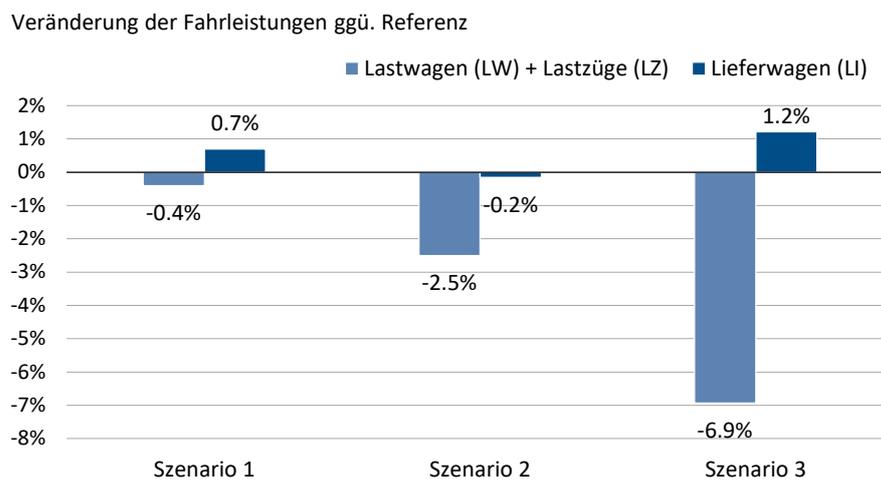
Die Fahrleistungen im Güterverkehr sind Ergebnis der (erstmaligen) Umlegung mit dem Personenverkehrsmodell NPVM. Aufgrund dessen variieren die Fahrleistungen im Strassenverkehr in den Szenarien auch für die leichten Nutzfahrzeuge und sind – im Gegensatz zu Verkehrsaufkommen und -leistung – nicht konstant in den Szenarien. Die Fahrleistungen ergeben sich aufgrund der Belastung im Netz, Routenwahleffekten sowie Annahmen zur Hochrechnung.³⁸

Im Strassengüterverkehr im Szenario 0 2060 gehen knapp 70 % der jährlichen Fahrleistungen auf die Lieferwagen zurück (Abbildung 50). Trotz Zunahme der Verkehrsleistung sinkt die Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge in allen drei Szenarien ggü. der Referenz 2060. Im Szenario 3 sinken die Fahrleistungen von Lastwagen und Lastzügen deutlich um 7 % aufgrund 2.8 Mrd. Fzkm (Abbildung 51). Entsprechend erhöht sich die durchschnittliche Beladung überproportional zur Fahrleistung und damit deren Effizienz.

³⁸ Die folgenden Ergebnisse liegen für das Basisjahr über den gemeldeten Fahrleistungen gemäss BFS. Insofern ist weniger die absolute Höhe relevant, sondern v.a. deren Veränderungen in den jeweiligen Szenarien ggü. dem Szenario 0.

Abbildung 50: Jährliche Fahrleistungen im Strassengüterverkehr 2060

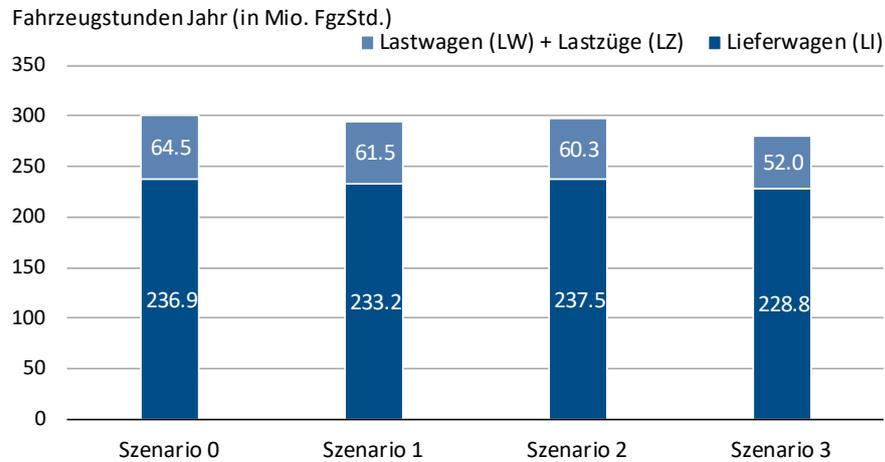
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

Abbildung 51: Veränderung der Fahrleistungen im Strassengüterverkehr 2060

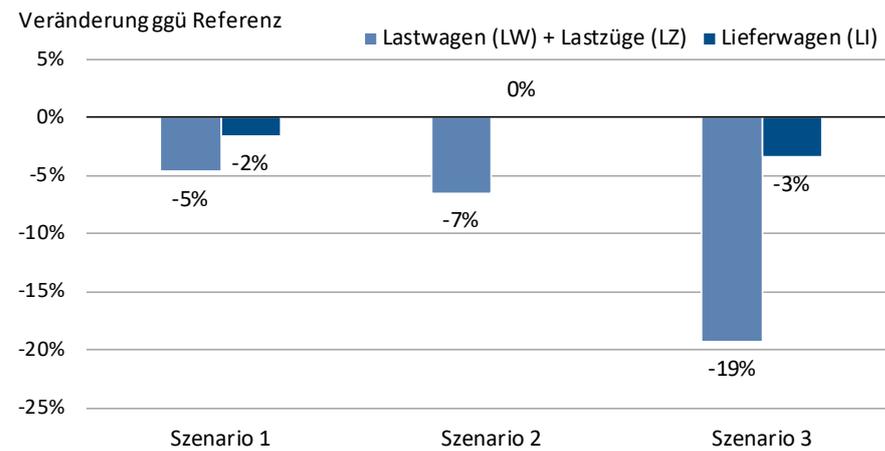
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

6.3.4. Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr

Die jährlichen Fahrzeugstunden in den Szenarien sind – analog den Fahrleistungen im Strassengüterverkehr – Output des NPVM. Lieferwagen haben dabei prozentual einen höheren Anteil an den gesamten Fahrzeugstunden. Im Szenario 0 betragen die Fahrzeugstunden der Lieferwagen jährlich rund 237 Mio. FzgStd. und für schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Lastzüge) rund 65 Mio. FzgStd. Aufgrund höherer Durchschnittsgeschwindigkeiten sinken in allen Szenarien die Fahrzeugstunden. Die stärkste Abnahme der Fahrzeugstunden resultiert in Szenario 3 (Abbildung 53).

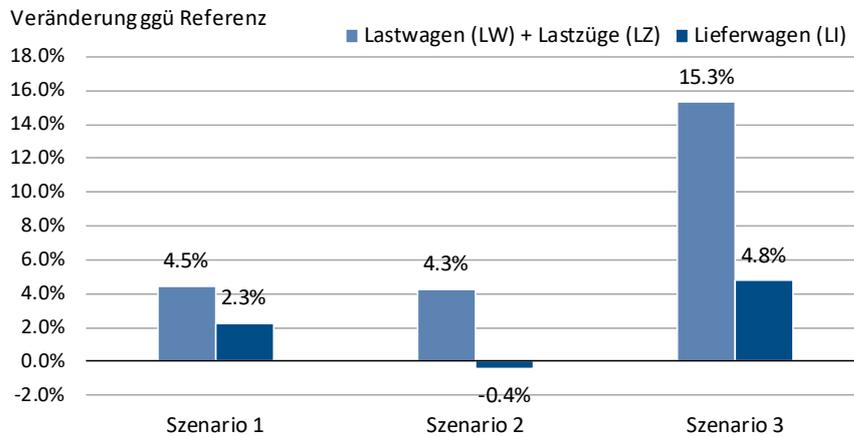
Abbildung 52: Jährliche Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

Abbildung 53: Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

Die durchschnittliche Geschwindigkeit steigt insbesondere im Szenario 3 «Servicewelt» (Abbildung 54).

Abbildung 54: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit auf der Strasse

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM).

6.4. Fahrleistungen nach Streckentypen

Die Fahrleistungen nehmen in allen Szenarien insgesamt zu (Tabelle 47), wobei die Zunahme v.a. im MIV (inkl. ÖIV) stattfindet.

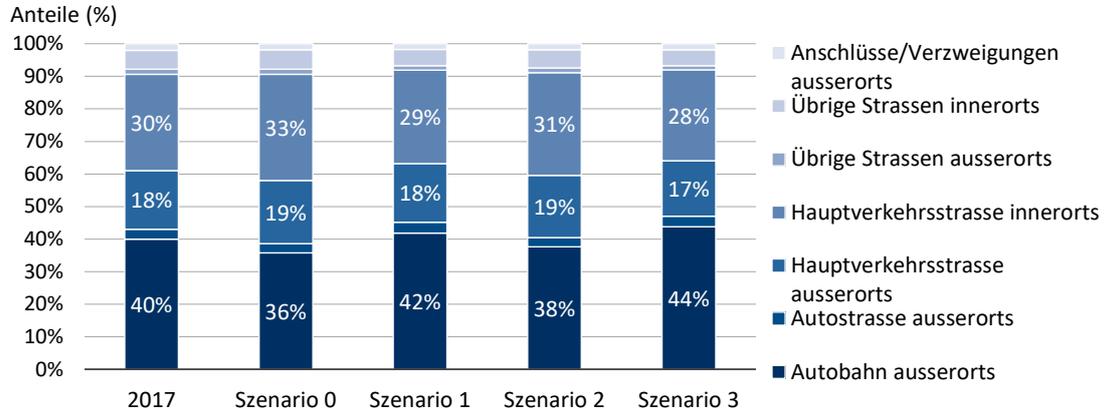
Tabelle 47: Veränderungen der Fahrleistungen im PV und GV gegenüber Szenario 0

	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Fahrleistung MIV (inkl. ÖIV)	+50 %	+1 %	+18 %
Fahrleistung Strassengüterverkehr	+0.4 %	-0.8 %	-1.0 %

Tabelle INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

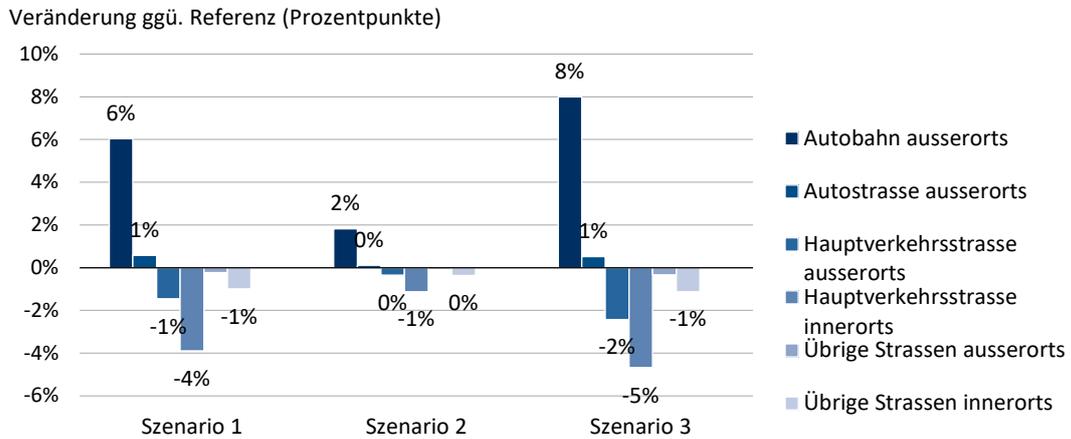
Die Modellergebnisse zur Entwicklung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen in den einzelnen Szenarien zeigt Abbildung 55. Der Fahrleistungsanteil auf Autobahnen und Autostrassen steigt in allen drei Szenarien, insbesondere in den Szenarien mit Automatisierung (Szenarien 1 und 3). Im Szenario 3 ist der Zuwachs des Anteils auf Autobahnen und Autostrassen mit 9 Prozentpunkten ggü. dem Szenario 0 am höchsten. Die Zuwächse gehen v.a. zu Lasten des Anteils auf Hauptverkehrsstrassen innerorts.

Abbildung 55: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 56: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

7. Mikroökonomische Analyse: Kosten und Nutzen direkter und indirekter Effekte

Basierend auf dem verkehrlichen Mengengerüst für das Jahr 2060 (Kap. 6) und den Ergebnissen der verkehrlichen Wirkungen gemäss Kap. 6 werden die Kosten bzw. Nutzen der direkten und indirekten Effekte der Digitalisierung auf die Mobilität für die drei Eckszenarien geschätzt.

Die direkten Effekte beziehen sich auf die Wirkungen der Digitalisierung auf den Stammverkehr, das heisst bezogen auf die unveränderte Verkehrsnachfrage wie im Szenario 0 (*ceteris paribus*). D.h. die *Menge* (Verkehrsnachfrage) bleibt in allen Szenarien konstant gemäss der Referenz (Szenario 0) und die *Preise* verändern sich.

Die indirekten Effekte berücksichtigen Nachfrageänderungen (Neuverkehr, Modal Shifts, Veränderung der Fahrleistung etc.) und daraus abgeleitete Effekte in Bezug auf Umwelt-, Gesundheits- und Unfallkosten. Für die Monetarisierung greifen wir u.a. auf Annahmen der Stellschrauben sowie weitere Grundlagen zurück, die im Folgenden für den Personenverkehr (Kap. 7.1) und den Güterverkehr (Kap. 7.2) erläutert werden.

7.1. Kosten und Nutzen beim Personenverkehr

7.1.1. Übersicht zu den direkten und indirekten Effekten

Im Personenverkehr resultieren folgende direkte (*ceteris paribus*, ohne Nachfrageveränderung) und indirekte Effekte der Digitalisierung (Abbildung 57), die wir auf Basis der Modellergebnisse geschätzt haben. Die Ergebnisse fassen wir in diesem Kapitel zusammen. Für Details und Beschreibung der Herleitung sowie Grundlagendaten verweisen wir für die direkten Effekte auf Kap. 7.1.2 bzw. für die indirekten Effekte auf Kap. 7.1.3.

Abbildung 57: Übersicht direkte und indirekte Effekte im Personenverkehr

Direkte Effekte im Personenverkehr (ceteris paribus)
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Kilometerkosten
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Bewertung der Reisezeit
Indirekte Effekte im Personenverkehr
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Verkehrsnachfrage (Veränderung des Aufkommens aufgrund neuer Nutzende, Verkehrsverlagerung und Routen-/Zielwahländerungen)
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassenpersonenverkehr (MIV inkl. ÖIV)
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Gesundheits- und Umweltkosten
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung des externen Gesundheitsnutzens

Grafik INFRAS.

Für alle Szenarien resultiert insgesamt ein Zusatznutzen der Digitalisierung im Verkehr (Tabelle 48), wobei sich für Szenario 3 im Vergleich der höchste Zusatznutzen ergibt. Der Hauptnutzen der analysierten Effekte resultiert insbesondere für die KonsumentInnen (Konsumentenrente). Die Veränderung der Produzentenrente quantifizieren wir im Rahmen dieser Studie nicht direkt. Qualitativ lässt sich aber festhalten, dass durch die Chancen der neuen Geschäftsmodelle (Plattformökonomie) und neue Marktsegmente insbesondere im Szenario 2 und 3 auch ein Zusatznutzen für Unternehmen entsteht (Produzentenrente) (vgl. Kap. 4.4.6.2).

Im **Szenario «Automatisierung»** steigt der Zusatznutzen aus der Veränderung der Value of Time aufgrund der Automatisierung. Dieser Zusatznutzen kann die zusätzlichen Kilometerkosten mehr als kompensieren. Die indirekten Effekte erzeugen insgesamt einen Zusatznutzen. Die Zusatzkosten aufgrund der zusätzlichen Umwelt- und Gesundheitskosten können insbesondere aufgrund der hohen Zusatznutzen durch die Automatisierung und dadurch gesunkenen Unfallkosten kompensiert werden. Es wurde eine hohe Reduktion der Unfälle im MIV um 80 % aufgrund der vollständigen Automatisierung der Flotte (kein Mischverkehr) angenommen. Bei einer Reduktion um lediglich 20 % sind die Zusatzkosten bzw. -nutzen bei nahezu 0 Mrd. Franken.

Durch das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen (neue Angebotsform ÖIV) resultieren im **Szenario «Sharing»** etwa halb so hohe Zusatznutzen direkter Effekte im Vergleich zu Szenario «Automatisierung». Die Reduktion des VoT und der daraus abgeleiteten Zusatznutzen ist deutlich geringer. Bei den indirekten Effekten übersteigen die Zusatznutzen die Zusatzkosten. Aufgrund zusätzlicher Verkehre und modaler Verlagerungen sowie zusätzlichen Unfall-, Umwelt- und Gesundheitskosten resultieren zusätzliche Kosten, die insbesondere aufgrund der Zusatznutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden (höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten) kompensiert werden.

Der gesamte Zusatznutzen im **Szenario «Servicewelt»** entspricht der Summe der Zusatznutzen der anderen beiden Szenarien. Automatisierung und das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen führen in der Summe zu einem ähnlich hohen Zusatznutzen der direkten Effekte. Die indirekten Effekte sind aber deutlich höher im Vergleich zum Automatisierungsszenario. Dies ist v.a. auf die Zusatznutzen aus der Reduktion der Fahrzeugstunden im MIV (inkl. ÖIV) aufgrund der Entlastung der Netze und den Zusatznutzen aus der Veränderung der Unfallkosten zurückzuführen.

Tabelle 48: Übersicht zu den Zusatzkosten (-) bzw. -nutzen (+) der Digitalisierung im Personenverkehr (Mrd. CHF p.a., Preisstand 2018)

Mrd. CHF	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Total	19.6	7.4	25.0
Direkter Effekt	9.3	4.6	9.8
Veränderung der Kilometerkosten bzw. Preise	0.1	2.8	4.3
Veränderung der Bewertung der Reisezeit	9.2	1.8	5.5
Indirekte Effekte	10.3	2.7	15.2
Veränderung des Aufkommens (Neue Nutzende)	0.5	0.3	0.7
Veränderung der Fahrzeugstunden im MIV (inkl. ÖIV)	2.8	3.9	7.9
Veränderung der Unfallkosten	8.6	-0.8	8.4
Veränderung der Gesundheits- und Umweltkosten (exkl. Fuss- und Veloverkehr)	-1.6	-0.6	-1.7
Veränderung der externen Gesundheitsnutzen	-0.1	0.0	0.0

Zusatznutzen (+) / Zusatzkosten (-). Differenzen in den Summen durch Rundungen.

Tabelle INFRAS. Quelle: vgl. Kap. 7.1.2 bzw. 7.1.3.

7.1.2. Direkte Effekte (ceteris paribus Wirkungen)

Im Personenverkehr betrachten wir zwei direkte Effekte:

- Die Veränderung der Kilometerkosten der Betriebsmittel im MIV inkl. ÖIV bzw. den Tarifen im ÖV sowie
- die Veränderung der Bewertung der Reisezeit im MIV (einschliesslich der Berücksichtigung des ÖIV).

Im Gegensatz zur Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018) berücksichtigen wir keine Zeitkostensparnis Tür-zu-Tür im MIV aufgrund von Automatisierung. Wir gehen davon aus, dass der Ersparnis von Wegzeiten zum oder vom Parkplatz Wartezeiten gegenüberstehen. Zusätzliche Leerfahrten aufgrund der Automatisierung von Fahrzeugen werden über die Besetzungsgrade berücksichtigt und ebenfalls nicht als direkter Effekt ausgewiesen.

7.1.2.1. Veränderung der Kilometerkosten

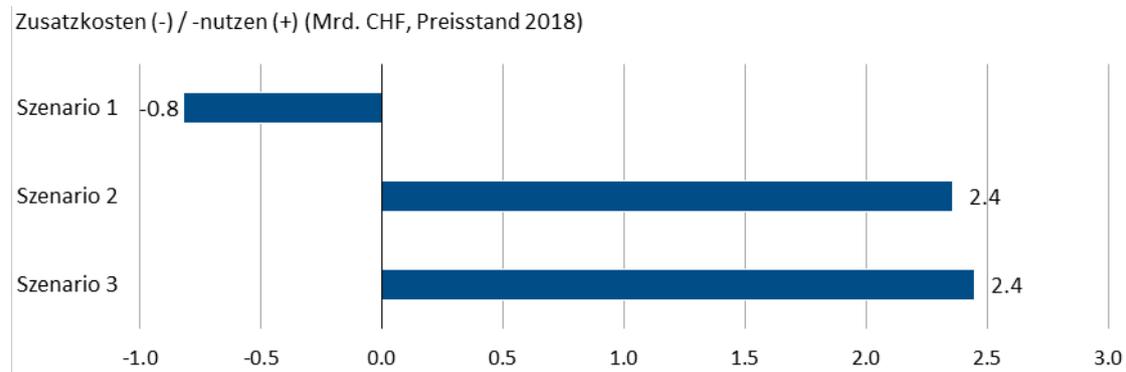
Veränderung der Kilometerkosten MIV bzw. Tarife im ÖV

In Szenario «Automatisierung» resultieren Zusatzkosten aufgrund der Erhöhung der **Kilometerkosten im MIV (inkl. ÖIV)** um durchschnittlich rund 4 % aufgrund der Automatisierung ggü. dem Szenario 0, v.a. aufgrund höherer Anschaffungskosten. In den Szenarien «Sharing» und «Servicewelt» können die Kilometerkosten durch das Teilen von Fahrzeugen und Fahrten durchschnittlich um rund 12 % reduziert werden, weil die durchschnittliche Jahresfahrleistung pro Fahrzeug deutlich steigt und dadurch die Kosten pro Kilometer sinken. Hieraus resultiert ein Zusatznutzen (Abbildung 70).

Für die Monetarisierung der Zusatzkosten bzw. -nutzen legen wir die entscheidungsrelevanten Kilometerkosten des NPVM zugrunde (vgl. Kap. 5.1.2). Gemäss VSS Norm 41 sind Grenzkostensätze zu präferieren. Die Quantifizierung der Zusatzkosten bzw. -nutzen bezieht sich mehrheitlich auf den Stammverkehr sowie modale Verlagerungen. Hingegen ist der Anteil des Neuverkehrs (induzierter Verkehr) deutlich geringer. Vor diesem Hintergrund wurde der NPVM-Durchschnittskostensatz beibehalten.

Hierbei ist zu beachten, dass die Monetarisierung auch mit den Vollkosten grundsätzlich möglich wäre, wenn davon ausgegangen wird, dass der Fahrzeugbesitz nicht als gegeben angenommen wird. Würden durchschnittliche Kilometerkosten, die sowohl die variablen als auch fixen Kosten und damit die Anschaffung eines Fahrzeugs in Höhe von durchschnittlich 70 Rp./Fzkm berücksichtigen (TCS 2020), und die gleichen prozentualen Veränderungen in den Szenarien 1–3 zugrunde gelegt, würden um rund 160 % höhere Zusatzkosten (Szenario 1) bzw. höhere Zusatznutzen (Szenarien 2 und 3) resultieren. Im Ergebnis würde im Szenario «Servicewelt» der höchste Zusatznutzen mit 20.4 Mrd. CHF und im Szenario «Automatisierung» der geringste Zusatznutzen mit 5.3 Mrd. CHF resultieren. D.h. der Zusatznutzen im Szenario «Sharing» mit 8.1 Mrd. CHF würde über dem Zusatznutzen von Szenario 1 liegen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich die Annahmen zu den prozentualen Veränderungen auf die variablen Kosten beziehen und diese daher nicht einfach übertragen werden dürften.

Abbildung 58: Direkte Effekte: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Kosten der Betriebsmittel MIV (inkl. ÖIV) im Jahr 2060



Produkt aus Veränderung der Kilometerkosten (CHF/Fzkm) ggü. Referenz und Fahrleistungen der Referenz.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Annahmen.

Die im NPVM angenommenen distanzbasierten **Kilometerkosten im ÖV** in den Szenarien 1 bis 3 sinken. Dies resultiert einerseits aus dem Wegfall der Personalkosten aufgrund der Automatisierung (Szenarien 1 und 3) sowie andererseits aus der Zunahme des Sharing und der Intermodalität (Szenario 2). Die Kostenreduktionen sind daher im Szenario 3 am höchsten. Für die Monetarisierung der Zusatznutzen legen wir die in Tabelle 49 angenommenen Kilometerkosten zugrunde. Gemäss Herleitung des ARE basierend auf dem neuen NPVM liegt der anzunehmende ÖV-Durchschnittskostensatz bei 0.35 CHF/Pkm. Eine Aufteilung nach GA/Abo, HT und Vollzahler lag nicht vor und wurde daher abgeschätzt. Vereinfachend gehen wir davon aus, dass rund 60 % der Verkehrsleistung im ÖV den Besitzenden mit einem GA oder Verbund-Abo zugeordnet werden können, 20 % den Halbtax-Besitzenden und rund 20 % Vollzahlenden. Hieraus wurde der durchschnittliche ÖV-Tarif je Szenario hergeleitet und unter Berücksichtigung der Personenkilometer im Stammverkehr (Verkehrsleistung gemäss Szenario 0) die Zusatznutzen quantifiziert. Da keine Veränderung des Fahrtpreises für GA und Verbund-Abos angenommen wurde, verändern sich die Kosten dieser Nutzenden im ÖV nicht. Aufgrund der am höchsten angenommenen Reduktion der ÖV-Tarife in Szenario «Servicewelt», sind auch die Nutzen in diesem Szenario am höchsten.

Tabelle 49: Angenommene Kilometerkosten ÖV aus Sicht der Nutzenden (CHF/Pkm)

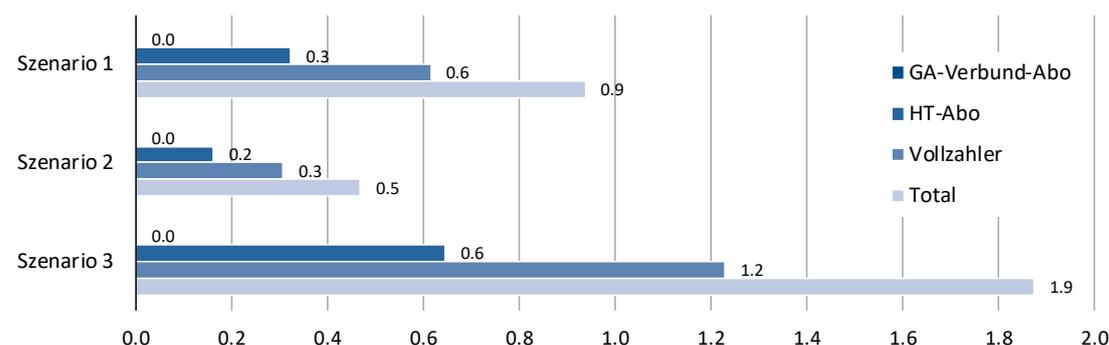
		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
GA/Verbund-Abo (unverändert) (60 %)	0.26	0.26	0.26	0.26
Halbtax (20 %)	0.34	0.30	0.32	0.27
Vollzahlende (20 %)	0.64	0.58	0.61	0.51
total	0.35	0.33	0.34	0.31

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS et al. 2019, eigene Annahmen.

Generell ist anzumerken, dass eine Abschätzung der Nutzen auf Basis der heutigen Tarifstrukturen und des heutigen Abo-Besitzes für das Jahr 2060 zu hinterfragen ist. Zudem stellt sich die Frage, wie sich der Kostendeckungsgrad aufgrund neuer Angebotsformen erhöhen könnte. Vorliegende Abschätzungen dienen daher insbesondere dem Vergleich zwischen den Szenarien.

Abbildung 59: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der ÖV-Tarife im Jahr 2060

Zusatzkosten (-) / -nutzen (+) (Mrd. CHF, Preisstand 2018)



Produkt aus Veränderung der durchschnittlichen Kilometerkosten ÖV (CHF/Pkm) ggü. Referenz und Verkehrsleistung der Referenz.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Abschätzungen.

7.1.2.2. Veränderung der Bewertung der Reisezeit im MIV

Die Veränderung der Bewertung der Reisezeit im MIV (inkl. ÖIV) im Szenario 1 berücksichtigt den Komfortgewinn, da im MIV aufgrund der Automatisierung ein grösserer Teil der Reisezeit für eigene Zwecke (Arbeit, Lesen, Telefonieren, Essen) genutzt werden kann. Durch die Automatisierung sinkt der Value of Time um durchschnittlich rund 14 % (vgl. Kap. 5.1.3.2). In Szenario 2 verändert sich die Bewertung der Reisezeit aufgrund des Teilens von Fahrzeugen und Fahrten um rund -3 % (vgl. Kap. 5.1.4.2). Die Veränderung in Szenario 3, in dem beide Effekte

wirken, beträgt rund -9 % (vgl. Kap. 5.1.5.2). Die daraus resultierenden Zusatznutzen wurden basierend auf dem Mengengerüst des NPVM des Szenarios 0 (Referenz) hergeleitet (Kap. 5.1), d.h. die Veränderung wird für den Stammverkehr quantifiziert. Die Anzahl der Personenstunden wurde vereinfachend aus den Fahrzeugstunden und den durchschnittlichen Besetzungsgraden im MIV (inkl. ÖIV) gemäss Szenario 0 (Referenz) abgeschätzt.

Die Abschätzung der direkten Wirkungen basieren wir auf den Zeitkostensätzen nach Fahrtzweck und Verkehrsmittel der VSS-Norm 41 822a (analog Ecoplan 2018) und den angenommenen Veränderungen je Wegzweck gemäss Herleitung der Szenarien 1 bis 3 aus Kap. 5.1 (Tabelle 50). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Fahrtzwecke im NPVM differenzierter berücksichtigt werden als bei der VSS Norm 41 822a.

Tabelle 50: Value of Time (CHF/h) in den Szenarien 2060

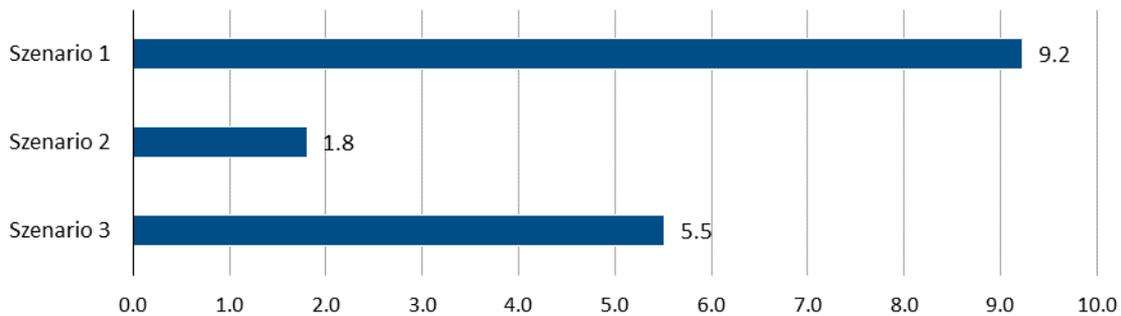
Wegzweck nach VSS-Norm	Szenario 0 (VSS Norm)	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Pendlerfahrt	31.45	18.87	30.56	24.71
Einkaufsfahrt	20.72	20.72	20.13	20.43
Nutzfahrt	32.24	22.57	31.33	26.95
Freizeitfahrt	22.05	22.05	21.43	21.74
Aufkommengewichteter VoT	24.70	21.12	24.00	22.56
<i>Veränderung ggü. Szenario 0 (Referenz), absolut</i>		-3.6	-0.7	-2.1
<i>Veränderung ggü. Szenario 0 (Referenz), relativ</i>		-14 %	-3 %	-9 %

Tabelle INFRAS. Quelle: INFRAS/DLR, angelehnt an Kolarova et al. 2019, Kolarova et al. 2020, Correia et al. 2019, VSS Norm 41 822a.

Die Veränderung der Zeitkosten (Zeitkostensparnis) aufgrund der Automatisierung (Komfortgewinn im MIV inkl. ÖIV) führt zu Zusatznutzen in allen drei Szenarien, wobei dieser in Szenario 1 am höchsten ist. Dieser Zusatznutzen entspricht rund 1.25 CHF/Fahrt im Szenario «Automatisierung».

Abbildung 60: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der Bewertung der Reisezeit (VoT) im MIV (inkl. ÖIV) im Jahr 2060³⁹

Zusatzkosten (+) / -nutzen (+) (Mrd. CHF, Preisstand 2018)



Produkt aus Personenstunden der Referenz und Differenz VoT ggü. Referenz je Szenario.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), eigene Annahmen (vgl. Tabelle 50), VSS Norm 41 822a.

7.1.3. Indirekte Effekte

7.1.3.1. Veränderung der Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrage (Verkehrsleistung) verändert sich aufgrund:

- eines Aufkommenszuwachses aufgrund neuer Nutzenden sowie
- der Verkehrsverlagerung vom Fuss-, Veloverkehr und ÖV auf den MIV (inkl. ÖIV) und von Routen-/Zielwähländerungen.

Veränderung des Aufkommens aufgrund neuer Nutzenden

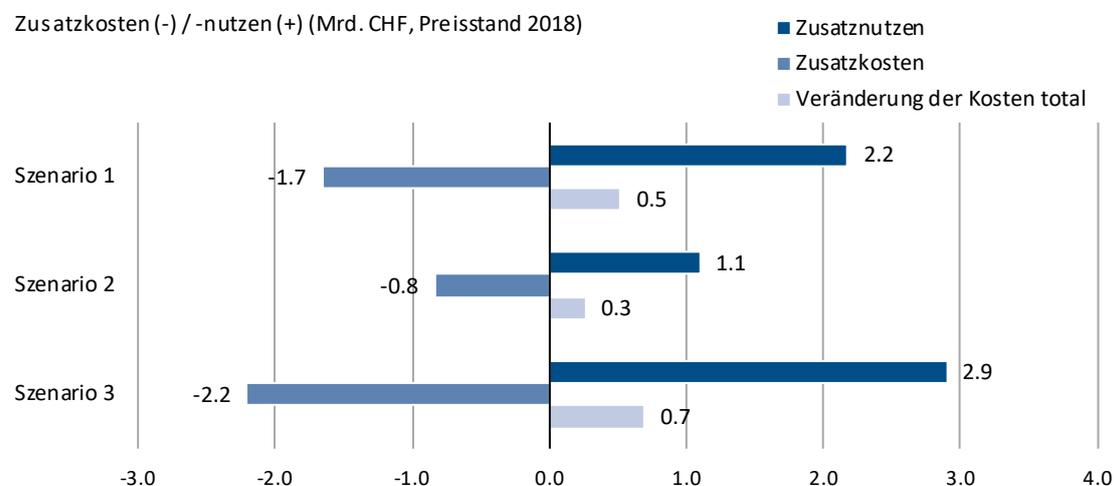
Aufgrund der Automatisierung (Szenario 1) haben insbesondere ältere Personen ab 65 Jahre, aber auch Kinder und Jugendliche neu Zugang zur Mobilität, was zu einem Anstieg des Verkehrsaufkommens insgesamt führt (sowie auch zu einer Reduktion der Besetzungsgrade aufgrund von Leerfahrten und dem Wegfall von Begleitfahrten). Im Szenario «Sharing» führen neue Angebote aufgrund des Teilens von Fahrten bzw. Fahrzeugen zu einem Anstieg des Aufkommens jüngerer Nutzende (bis 44 Jahren). Im Szenario «Servicewelt» kumulieren sich diese beiden Effekte.

Für die Abschätzung der daraus resultierenden Zusatznutzen wurde die Zunahme der Verkehrsleistung im MIV (inkl. ÖIV) auf Basis der Durchschnittsdistanz in der Referenz und des zusätzlichen Verkehrsaufkommens aufgrund neuer Personengruppen (ohne Modal Shift, d.h. Netozunahme aufgrund zusätzlicher Wege) ggü. der Referenz geschätzt und mit einer Zahlungsbe-

³⁹ Die Zeitkostensparnis gemäss Machbarkeitsstudie liegt bei 8.9 CHF (Ecoplan 2018). Bei 8.90 CHF Zeitkostensparnis resultiert mit unserem Mengengerüst (Personenstunden) ein Nutzen von 23 Mio. CHF im Automatisierungsszenario (Szenario 1). In der Machbarkeitsstudie wird ein Nutzen von rund 24 Mio. CHF ausgewiesen.

reitschaft von 0.30 CHF/Pkm bewertet. Für die Zahlungsbereitschaften liegen keine ausreichenden Datengrundlagen vor. Die Unsicherheiten sind entsprechend sehr gross. Vorliegend wurde ein eher konservativer Ansatz gewählt. Als Basis wurde daher die Zahlungsbereitschaft für Freizeitfahrten im ÖV gemäss VSS Norm 41 822a gewählt, da zusätzliche Fahrten v.a. im Freizeitverkehr stattfinden. Zur Ermittlung des Kostensatzes pro Personenkilometer wurde die Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV (inkl. ÖIV) der Referenz (vgl. Abbildung 40) und ein Besetzungsgrad von 1 zugrunde gelegt. Die Zusatzkosten entsprechen den Fahrzeugkosten im jeweiligen Szenario. Werden die Zusatznutzen und -kosten addiert ergibt sich im Ergebnis ein geringer Zusatznutzen (Abbildung 61).

Abbildung 61: Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung des Aufkommens im MIV inkl. ÖIV (Neuverkehr aufgrund neuer Nutzende) 2060



Produkt aus Veränderung der Wege ggü. Referenz x Durchschnittsdistanz der Referenz x Zahlungsbereitschaft (CHF/Pkm). Die Zahlungsbereitschaft (CHF/Pkm) ergibt sich aus der Zahlungsbereitschaft einer Freizeitfahrt im ÖV (CHF/h) und der Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h).

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), VSS Norm 41 822a, eigene Schätzungen.

Veränderung der Verkehrsnachfrage aufgrund Verkehrsverlagerung und Routen-/Zielwahländerungen

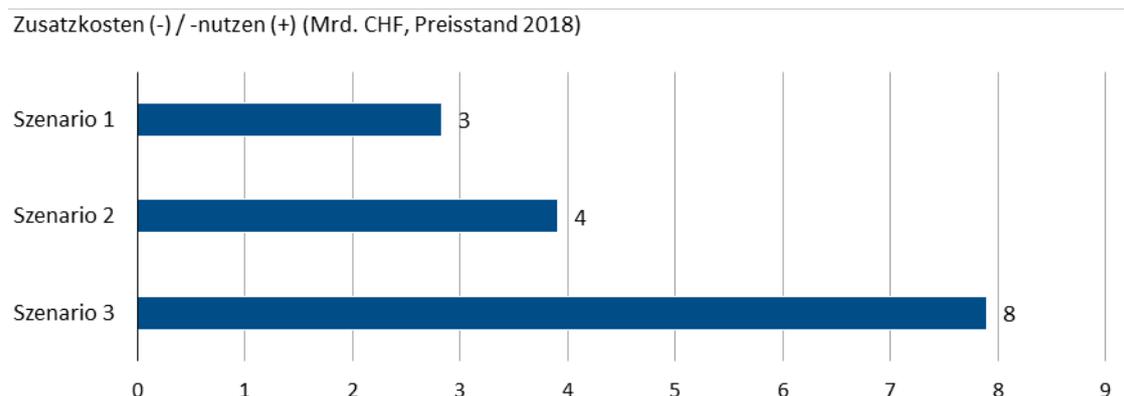
Zusätzlich zum Aufkommenszuwachs aufgrund neuer Nutzende resultieren zwei weitere Effekte, die zu einer Veränderung der Verkehrsnachfrage führen. Erstens finden modale Verkehrsverlagerungen aufgrund veränderter entscheidungsrelevanter Parameter wie z.B. der Veränderung der Kilometerkosten oder VoT statt, weswegen der MIV (inkl. ÖIV) zunimmt. Zweitens resultieren aus den gleichen Gründen Routen- und Zielwahländerungen. Eine Trennung der Effekte war auf Grundlage der NPVM-Ergebnisse nicht möglich. Wir gehen von aus, dass die

Zusatzkosten für diese Effekte mindestens den Zusatznutzen entsprechen müssen, weil ansonsten keine Veränderungen stattgefunden hätten. Die Höhe der Zahlungsbereitschaften ist jedoch nicht bekannt. Wir gehen davon aus, dass die Zusatznutzen aufgrund dessen vernachlässigt werden können.

7.1.3.2. Veränderung der Fahrzeugstunden im MIV (inkl. ÖIV)

Die Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Stammverkehr (gemäss Szenario 0) im MIV (inkl. ÖIV) wurden vereinfacht hochgerechnet (Abbildung 69). Auf Basis der durchschnittlichen Veränderung der spezifischen Fahrzeugstunde pro Pkm im Szenario 0 und der Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten in den Szenarien 1 bis 3 wurde die Veränderung der Fahrzeugstunde pro Pkm für den im Szenario 0 bestehenden MIV-Verkehr (Stammverkehr) grob geschätzt. Diese Veränderung der Personenstunden wurde mit dem aufkommengewichteten VoT des jeweiligen Szenarios (vgl. Kap. 7.2.2) monetarisiert.

Abbildung 62: Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Stammverkehr MIV (inkl. ÖIV) 2060



Produkt aus Veränderung der Personenstunden im Stammverkehr ggü. der Referenz und dem VoT.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), VSS Norm 41 822a, eigene Schätzungen.

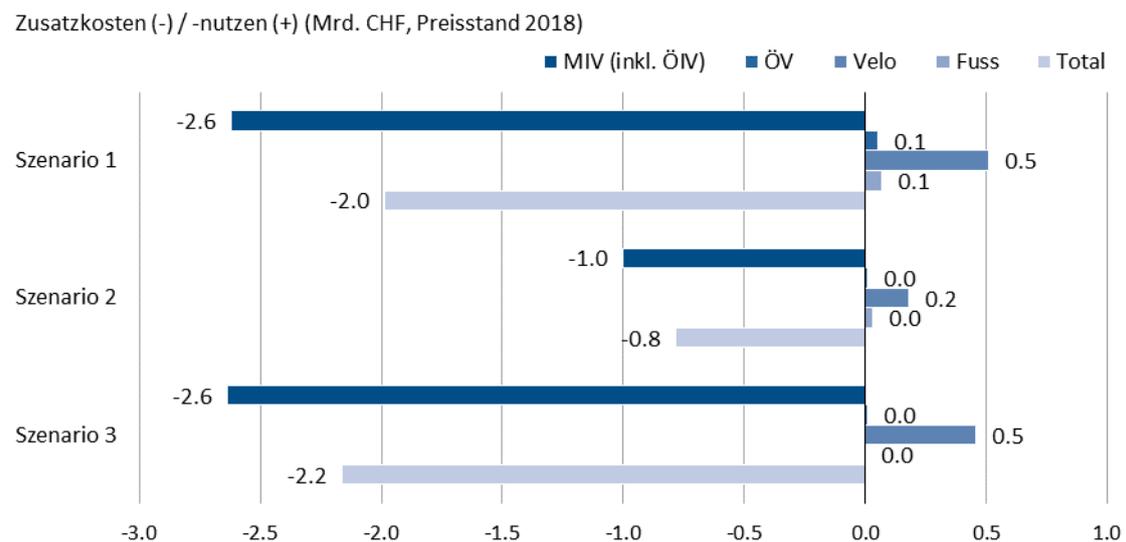
7.1.3.3. Veränderung der Unfallkosten

Für die Abschätzung der Wirkungen der Digitalisierung im Verkehr auf die Unfallkosten wurden **zwei Effekte** berücksichtigt:

1. Die Veränderung der Verkehrsleistungen einschliesslich modaler Verlagerungen führen zu einer Erhöhung der Unfallkosten im MIV und einer Reduktion für ÖV, Fuss- und Veloverkehr (Mengeneffekt). Die spezifischen sozialen (d.h. privaten und externen) Unfallkosten der KfV-Statistik des BFS pro Pkm für das Jahr 2017 (motorisierter Personenverkehr) bzw. 2015

(Fuss- und Veloverkehr) wurden lediglich der Inflation angepasst.⁴⁰ Eine Veränderung der Wertschöpfung wurde nicht zugrunde gelegt, d.h. es wurde keine Veränderung des Value of statistical life angenommen. Insgesamt führt dies zu einer Zunahme der Unfallkosten, d.h. zu Zusatzkosten in allen drei Szenarien im Vergleich zum Szenario 0 (Abbildung 63).

Abbildung 63: Zusatzkosten- bzw. nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Änderungen der Verkehrsleistungen und des Modal Split 2060



Produkt aus der Veränderung der Verkehrsleistung ggü. der Referenz und dem Unfallkostensatz der Referenz.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

2. Als wichtiger Nutzen der Automatisierung wird die Reduktion der Unfälle im MIV angeführt (Kap. 4.4.5). Die im Szenario 0 angenommenen Unfallkostensätze verändern sich, wenn dieser Effekt der Automatisierung berücksichtigt wird. Vor dem Hintergrund unserer Eckszenarien, die eine vollständige Automatisierung aller Fahrzeuge in den Szenarien 1 und 3 unterstellen, ist die Reduktion der Unfälle entsprechend sehr hoch. Für den MIV legen wir eine Reduktion von 80 % zugrunde; im ÖV-Strasse mit Autobussen ebenfalls. Für den Fuss- und Veloverkehr wurde angenommen, dass die Automatisierung im MIV ebenfalls eine Wirkung hat, wobei nur der Anteil der Unfälle im Velo- und Fussverkehr abgeschätzt wurde, die auf

⁴⁰ In den vorliegenden Schätzungen wurde kein Basiseffekt hinsichtlich der Entwicklung der Unfälle pro Pkm, deren Struktur (Getötete, Schwer- und Leichtverletzte) sowie den Kosten pro Personenschaden bzw. Unfall zwischen 2018 und 2060 berücksichtigt. Der Fokus der Analysen liegt daher v.a. auf den Differenzen zwischen den Szenarien 1 bis 3. Die absolute Höhe der ausgewiesenen Zusatzkosten bzw. -nutzen ist daher unter Vorbehalt.

einen PW zurückzuführen sind. Für die Schiene wurde angenommen, dass sich keine Veränderungen ergibt. Die Unfallkostensätze reduzieren sich daher im MIV am stärksten (Tabelle 51). Insgesamt resultiert Zusatznutzen aufgrund der Automatisierung (Abbildung 64).

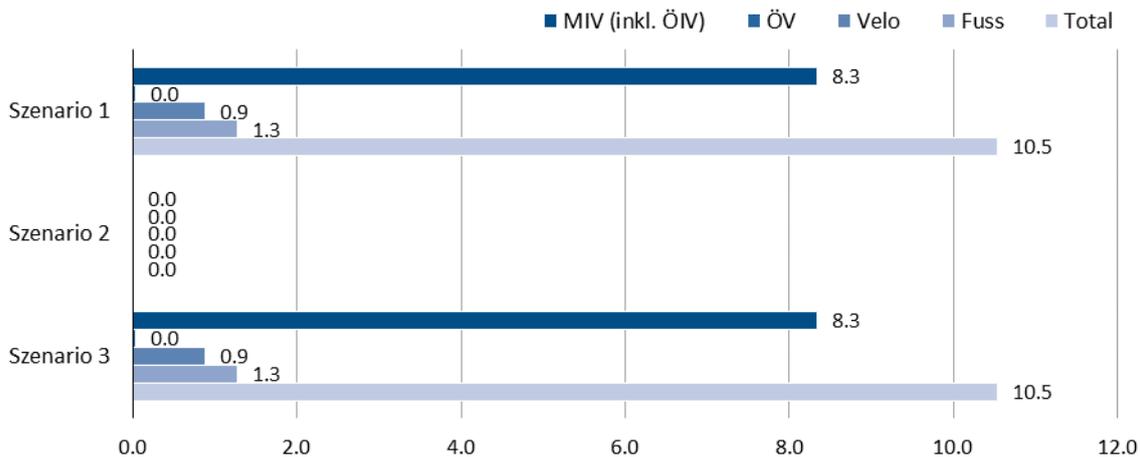
Tabelle 51: Unfallkostensätze der Referenz inkl. und exkl. Automatisierungseffekt

	Referenz exkl. Automatisierungseffekt	Referenz inkl. Automatisierungseffekt	Veränderung (%)
MIV (inkl. ÖIV)	0.09	0.02	-80 %
ÖV	0.01	0.01	-9 %
Velo	1.87	1.61	-14 %
Fuss	0.76	0.52	-32 %

Tabelle INFRAS. Quelle: BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

Abbildung 64: Zusatznutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Automatisierung auf der Strasse 2060

Zusatzkosten (-) / -nutzen (+) (Mrd. CHF, Preisstand 2018)

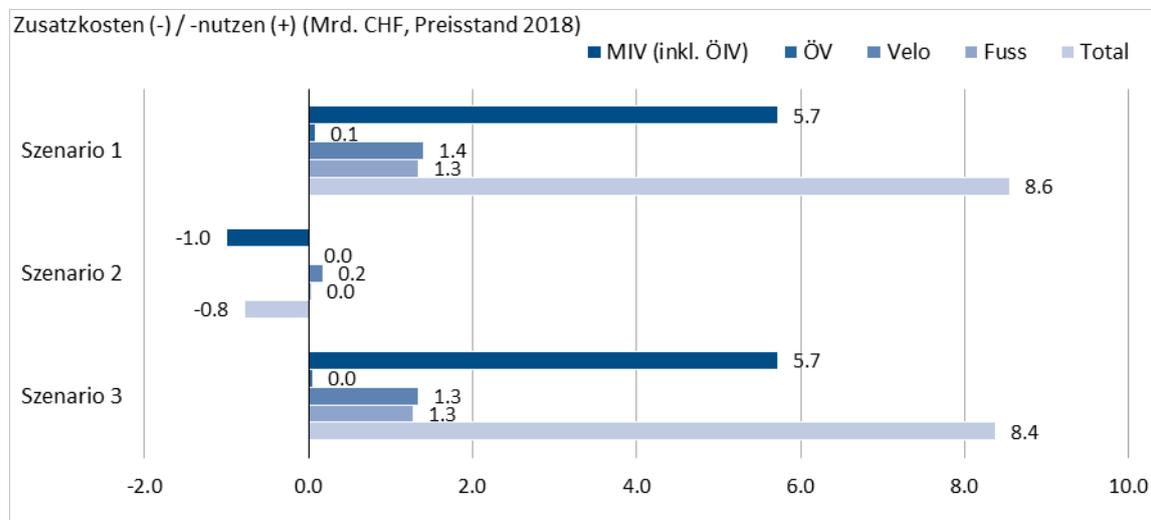


Produkt aus der Differenz des Unfallkostensatz des jeweiligen Szenarios ggü. der Referenz (CHF/Pkm) und der Verkehrsleistung der Referenz.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

Beide Effekte bei den Unfallkosten zusammen führen zu Zusatznutzen in den Szenarien 1 und 3, d.h. der Automatisierungseffekt überwiegt die zusätzlichen Unfallkosten aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistung. In Szenario «Sharing» resultieren Zusatzkosten aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistung im MIV (Abbildung 65).

Abbildung 65: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten 2060 der beiden Effekte zusammen (Netto)



Summe aus den oben beschriebenen Einzeleffekten.

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

7.1.3.4. Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten (exkl. Langsamverkehr)

Die Umwelt- und Gesundheitskosten erhöhen sich aufgrund der Veränderung der Verkehrsleistungen (einschliesslich modaler Verlagerungen), d.h. der Erhöhung im MIV (inkl. ÖIV) auf Kosten des Anteils des ÖV in den Szenarien 1 bis 3. Die Veränderung dieser Kosten wurde analog den sozialen Unfallkosten auf Basis der um die Preisentwicklung angepassten Kostensätze pro Pkm (BFS 2020b) und der Veränderung der Verkehrsleistung je Szenario abgeschätzt (Mengen- effekt). Die Kostensätze blieben in den Szenarien 1 bis 3 konstant, wobei Veränderungen zwischen 2018 und 2060 berücksichtigt wurden (Basisseffekt).

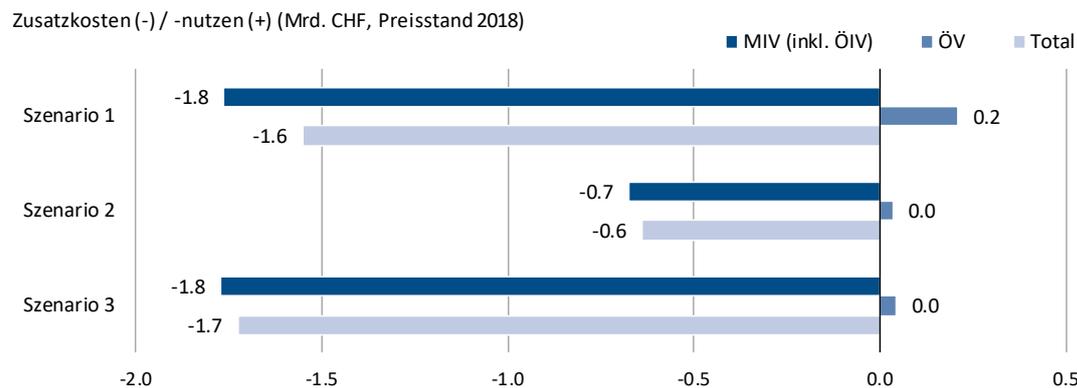
Bei den Kostensätzen (CHF/Pkm) für Luft und Klima für die Strasse im Jahr 2060 berücksichtigen wir zunächst die Entwicklung der Treibhausgasemissionen zwischen 2018 und 2060 basierend auf der Referenzentwicklung gemäss HBEFA 4.1 (rund -50 % durch die Veränderung der Flottenzusammensetzung und die Zunahme der Effizienz der fossil betriebenen Fahrzeuge). Ergänzend dazu wird bei den Kostensätzen für Luft und Klima eine Erhöhung der Kostensätze aufgrund der Zunahme der Bevölkerung (+26 % zwischen 2018 und 2060) berücksichtigt. Dies bezeichnen wir als Basisseffekt, der im Strassenverkehr insgesamt rund -24 % beträgt, d.h. die Kostensätze reduzieren sich. Mit zunehmender Elektrifizierung von Fahrzeugen reduzieren sich die Lärmkosten v.a. in den Städten. Gleichzeitig wird vereinfachend angenommen, dass aufgrund der Zunahme der Bevölkerung entsprechend mehr Personen von Lärm betroffen sind.

Für die Lärm- und übrigen Kosten gehen wir daher von keinem Basiseffekt aus. Dies führt insgesamt zu reduzierten spezifischen Umwelt- und Gesundheitskosten pro Pkm für die Strasse.

Für die Schiene haben wir – analog den Lärmkosten des Strassenverkehrs – angenommen, dass kein Basiseffekt zu berücksichtigen ist.

Wir haben vorsichtige Annahmen getroffen, um die Zusatzkosten bzw. -nutzen nicht zu überschätzen. Eine detaillierte Prognose dieses Aspekts ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Insgesamt resultieren in allen drei Szenarien Zusatzkosten aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistungen im MIV (inkl. ÖIV) bzw. der Reduktion im ÖV.

Abbildung 66: Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten



Produkt aus der Veränderung der Verkehrsleistung ggü. Referenz und den spezifischen Umwelt- und gesundheitskosten pro Pkm der Referenz.

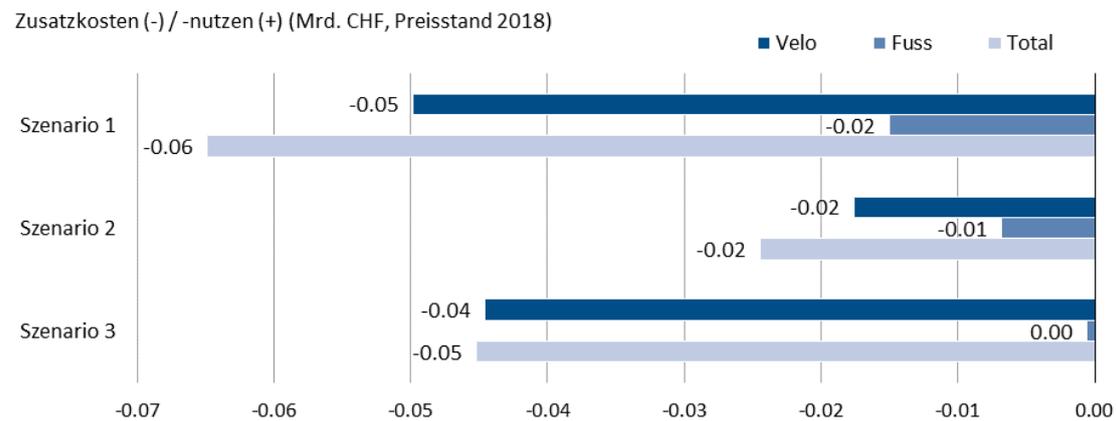
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2020a, BFS 2020b, HBEFA 4.1, eigene Schätzungen.

Einen Effekt der Digitalisierung, d.h. Veränderung der Kostensätze der Szenarien ggü. der Referenz 2060, haben wir in keinem der drei Szenarien berücksichtigt. Gemäss Literaturanalyse könnte zwar davon ausgegangen werden, dass mit Zunahme der Flottenfahrzeuge (Car-Sharing) und Teilen von Fahrten (v.a. kommerzielle Ride-Pooling-Angebote) der Fahrleistungsanteil emissionsärmerer Fahrzeuge schneller steigt als im Referenzszenario HBEFA 4.1 unterstellt ist. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen würde aufgrund der Digitalisierung (Sharing-Effekt in den Szenarien «Sharing» und «Servicewelt») demnach deutlich schneller vorangehen. Zudem könnte argumentiert werden, dass die Automatisierung mit einer Elektrifizierung einhergeht und auch in Szenario «Automatisierung» eine höhere Reduktion der Umwelt- und Gesundheitskostensätze im Sinne eines Basiseffekts 2017–2060 resultiert. Diese Preiseffekte haben wir nicht quantifiziert, weil unklar ist, ob sie bereits in der Referenzentwicklung zur Entwicklung des Flottenmixes und damit der Reduktion der THG und Luftschadstoffe enthalten sind.

7.1.3.5. Veränderung des externen Gesundheitsnutzens im Fuss- und Veloverkehr

Aufgrund der Reduktion der Verkehrsleistungen im Fuss- und Veloverkehr (modale Verlagerungen) nimmt auch der externe Gesundheitsnutzen ab, weil sich die Bevölkerung dadurch weniger bewegt (Abbildung 67). Basis für die Abschätzung bildeten die um die Preisentwicklung angepassten Kostensätze (CHF/Pkm) für das Jahr 2017 (ARE 2020c) und die Veränderung der Verkehrsleistung (Pkm) im jeweiligen Szenario im Vergleich zur Referenz (Szenario 0).

Abbildung 67: Zusatzkosten aus der Veränderung der externen Gesundheitsnutzen im Fuss- und Veloverkehr 2060



Produkt aus dem Delta der Verkehrsleistung ggü. Referenz und dem spezifischen Kostensatz (CHF/Pkm).

Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), ARE 2020c.

7.2. Kosten und Nutzen beim Güterverkehr

7.2.1. Übersicht zu den direkten und indirekten Effekten

Im Güterverkehr werden – analog zum Personenverkehr – die direkten und indirekten Effekte der Digitalisierung auf Basis der verkehrlichen Wirkungen (Kap. 6.3) monetarisiert (Abbildung 68).

Abbildung 68: Übersicht der direkten und indirekten Effekte im Güterverkehr

Direkte Effekte im Güterverkehr (ceteris paribus)
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Kilometerkosten
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Bewertung der Transportzeit (unverändert)
Indirekte Effekte im Güterverkehr
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Verkehrsnachfrage (Modal Shift)
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten
Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Gesundheits- und Umweltkosten

Grafik INFRAS.

In den folgenden Kapiteln schätzen wir für die Szenarien 1 bis 3 die Zusatzkosten bzw. -nutzen der direkten und indirekten Effekte der Digitalisierung im Güterverkehr im Jahr 2060 im Vergleich zur Referenz. Zusammenfassend resultiert für alle Szenarien insgesamt ein Zusatznutzen der Digitalisierung im Güterverkehr (Tabelle 52), wobei sich für Szenario 3 im Vergleich der höchste Zusatznutzen ergibt.

Der bedeutendste Nutzen resultiert aufgrund der Reduktion der Kilometerkosten auf Strasse und Schiene für den Stammverkehr. Der höchste Zusatznutzen ergibt sich im Szenario «Servicewelt», weil die Kosten sowohl aufgrund der Automatisierung (Reduktion Energie-, Personalkosten und Kosten im Vor- und Nachlauf) als auch der Kollaboration, d.h. effizientere bzw. gemeinsame Nutzung von Ressourcen, sinken (additive Effekte). Durch die Automatisierung und die deutliche Reduktion der Unfälle resultieren Zusatznutzen in den Szenarien 1 und 3. Die reduzierten Fahrzeugstunden aufgrund erhöhter Geschwindigkeiten führen zu Zusatznutzen, die in Szenario 3 am höchsten sind.

Zusatznutzen resultieren in allen drei Szenarien durch die Veränderung der Verkehrsleistung einschliesslich modaler Verlagerungen und im Szenario «Servicewelt» aufgrund der zusätzlichen Umwelt- und Gesundheitskosten.

Zusatznutzen aus den analysierten Effekten resultieren somit zum einen für die KonsumentInnen (Konsumentenrente), u.a. durch die Reduktion der Unfälle, zum anderen aber auch für die Produzenten durch die verstärkte Kollaboration über Plattformen und somit effizientere Nutzung von Ressourcen (Produzentenrente).

Tabelle 52: Übersicht zu den Zusatznutzen der Digitalisierung im Güterverkehr (Mrd. CHF, Preisstand 2018)

Mrd. CHF	Szenario 1 	Szenario 2 	Szenario 3 
	Automatisierung	Sharing	Servicewelt
Total	+1.7	+1.3	+3.2
Direkter Effekt	+1.14	+1.19	+2.34
Veränderung der Kosten pro Tkm	+1.14	+1.19	+2.34
Indirekte Effekte	+0.53	+0.12	+0.87
Veränderung der Verkehrsleistung (Modal Split), exkl. Zeitkosten	+0.02	+0.03	+0.04
Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr	+0.15	+0.08	+0.47
Veränderung Unfallkosten	+0.35	+0.00	+0.36
Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten	+0.00	+0.00	+0.01

Zusatzkosten (-) / Zusatznutzen (+). Differenzen in den Summen durch Rundungen.

Tabelle INFRAS. Quelle: vgl. Kap. 7.2.2 bzw. 7.2.3.

In den folgenden Kapiteln ist die Abschätzung der Zusatznutzen und -kosten der direkten Effekte (Kapitel 7.2.2) und indirekten Effekte (Kapitel 7.2.3) im Güterverkehr erläutert.

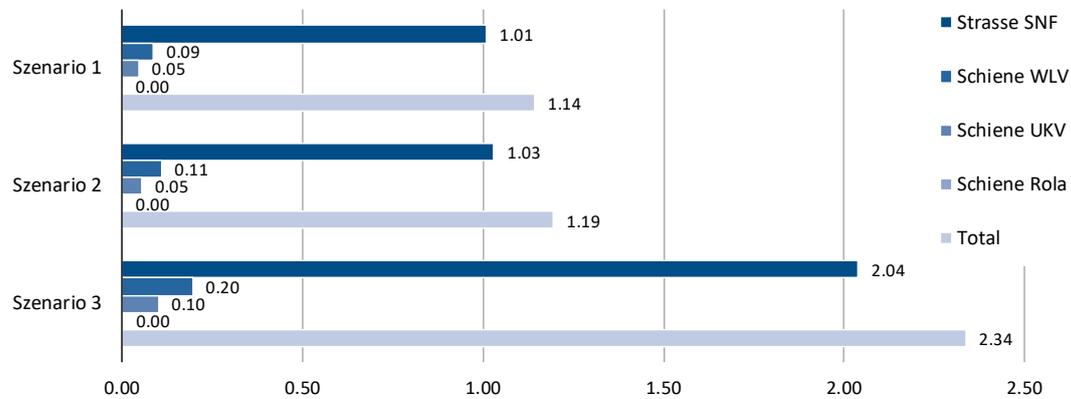
7.2.2. Direkte Effekte (ceteris paribus Wirkungen)

Die Digitalisierung hat keine Auswirkungen auf die Zeitkostensätze im Güterverkehr. Im Güterverkehr wurden daher auch keine Veränderungen der Bewertung der Transportzeit aufgrund der Digitalisierung für die Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen mit der AMG berücksichtigt. Die ceteris paribus Wirkungen beziehen sich deshalb auf die Veränderung der Kilometerkosten pro Tonnenkilometer für Strasse und Schiene je Szenario.

Die Veränderung der gesamten Kosten (Nutzen) sind in Abbildung 69 zusammenfassend dargestellt. Diese basieren auf den angenommenen Veränderungen der Kilometerkosten pro Tkm (Kap. 5.2) und einer konstanten Verkehrsleistung gemäss Referenz (Szenario 0). Insgesamt resultiert ein geschätzter Zusatznutzen von rund 1 Mrd. Franken in den Szenarien 1 und 2 bzw. von rund 2 Mrd. Franken im Szenario 3.

Abbildung 69: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der Kilometerkosten im Güterverkehr auf Strasse und Schiene im Jahr 2060

Zusatzkosten (-)/ -nutzen (Mrd. CHF, Preisstand 2018)



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG), eigene Annahmen.

Des Weiteren wurden im Modell Annahmen zur Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf der Strasse und der Schiene hinterlegt, um Kapazitätswirkungen auf der Infrastruktur indirekt zu berücksichtigen. Eine Monetarisierung (*ceteris paribus*) dieses Effekts als direkter Effekt erfolgt nicht, da dieser Teil der verkehrlichen Wirkungen ist und damit der indirekten Effekte (vgl. Kap. 7.2.3.2).

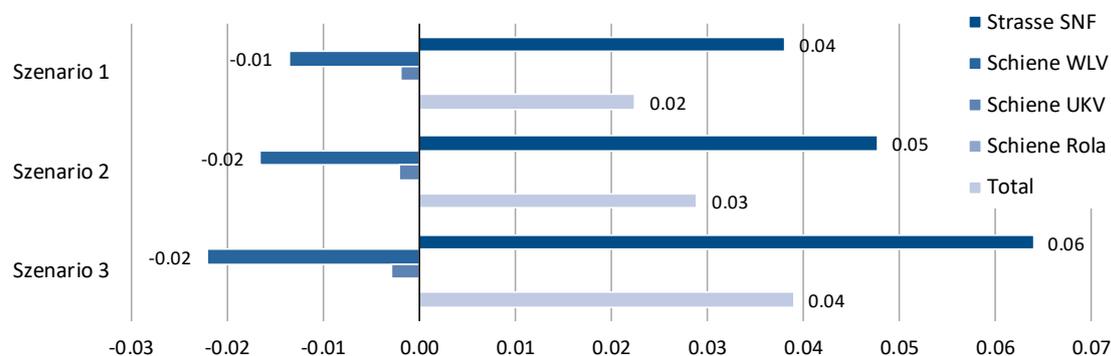
7.2.3. Indirekte Effekte

7.2.3.1. Veränderung der Verkehrsnachfrage (Modal Shift)

Die Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Verkehrsleistung (Modal Shift) und den im jeweiligen Szenario angenommenen Kostensätzen für Strasse (SNF) und Schiene (WLW, UKV, RoLa) sind in Abbildung 70 zusammengefasst. Hierbei werden lediglich die Kilometerkosten des jeweiligen Szenarios berücksichtigt, da keine Zeitkostenveränderungen aufgrund der Automatisierung im Güterverkehr zum Tragen kommen.

Abbildung 70: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Verkehrsleistung (Modal Shift)

Zusatzkosten (-)/ -nutzen (+) (Mrd. CHF, Preisstand 2018)



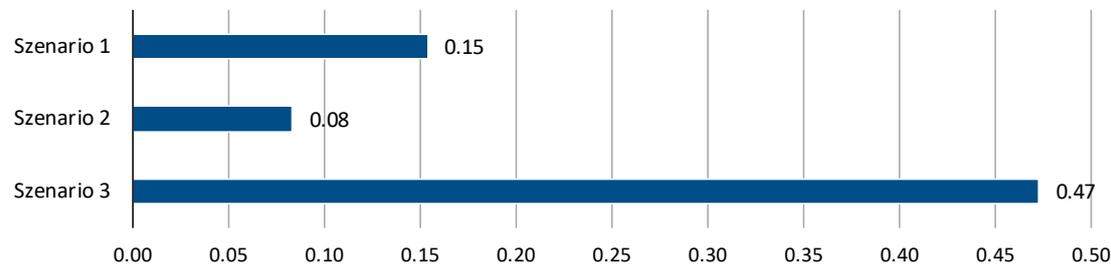
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM), eigene Berechnungen.

7.2.3.2. Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr

Der Zusatznutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden in den Szenarien ggü. der Referenz (Szenario 0) wurde mit den Zeitkostensätzen gemäss VSS Norm 41 823 berechnet. Die Zeitkostensätze nach Verkehrsart wurden verkehrsleistungsgewichtet und für das Jahr 2018 hochgerechnet. Hieraus resultiert ein gewichteter Zeitkostensatz von 23.05 CHF/h.

Abbildung 71: Zusatznutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr

Zusatzkosten (-)/ -nutzen (+) (Mrd. CHF, Preisstand 2018)



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM), eigene Berechnungen.

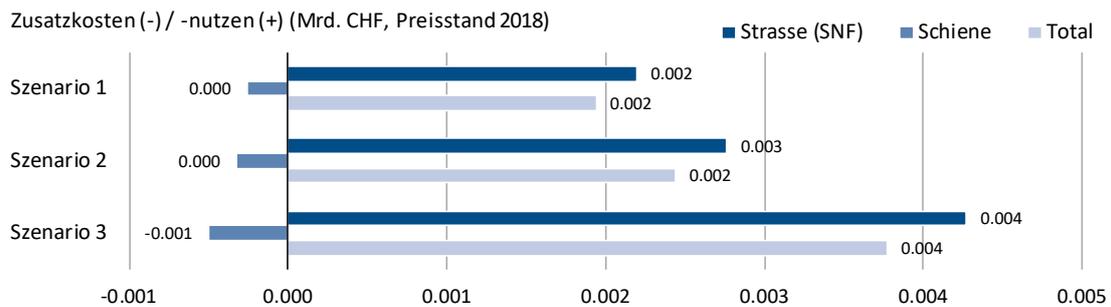
7.2.3.3. Veränderung der Unfallkosten

Für die Abschätzung der Wirkungen auf die Unfallkosten wurden – analog zum Personenverkehr – zwei Effekte berücksichtigt:

1. Die Veränderung der Verkehrsleistungen aufgrund modaler Verlagerungen führen zu einer verhältnismässig geringen Erhöhung der Unfallkosten auf der Strasse und einer Reduktion auf der Schiene (Mengeneffekt). Die spezifischen Unfallkosten pro Tkm für das Jahr 2017

der KfV-Statistik (BFS 2020b) wurden der Preisentwicklung angepasst und ansonsten konstant gelassen.⁴¹ Insgesamt zieht dieser Mengeneffekt eine minimale Erhöhung der Unfallkosten in allen drei Szenarien im Vergleich zur Referenzentwicklung nach sich (Abbildung 72).

Abbildung 72: Zusatzkosten- bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Änderung der Verkehrsleistungen bzw. Modal Split im Güterverkehr 2060

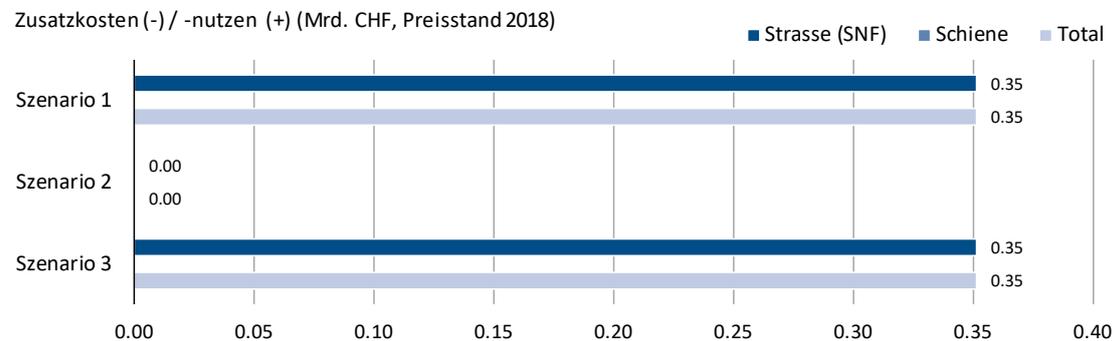


Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

2. Als ein wichtiger Nutzen der Automatisierung wird die Reduktion der Unfälle auf der Strasse angeführt (Kap. 4.4.5). Die Unfallkostensätze im Szenario 0 verändern sich, wenn dieser Effekt der Automatisierung berücksichtigt wird. Vor dem Hintergrund unserer Eckszenarien, die eine vollständige Automatisierung aller Fahrzeuge in den Szenarien 1 und 3 unterstellen, ist die Reduktion der Unfälle entsprechend sehr hoch. Für die Strasse legen wir eine Reduktion von 80 % zugrunde; für die Schiene keine. Insgesamt resultiert ein Zusatznutzen aufgrund der Automatisierung (Abbildung 73).

⁴¹ In den vorliegenden Schätzungen wurde kein Basiseffekt hinsichtlich der Entwicklung der Unfälle pro Tkm, deren Struktur (Getötete, Schwer- und Leichtverletzte) sowie den Kosten pro Personenschaden bzw. Unfall zwischen 2018 und 2060 berücksichtigt. Der Fokus der Analysen liegt daher v. a. auf den Differenzen zwischen den Szenarien 1 bis 3. Die absolute Höhe der ausgewiesenen Zusatzkosten bzw. -nutzen ist daher unter Vorbehalt.

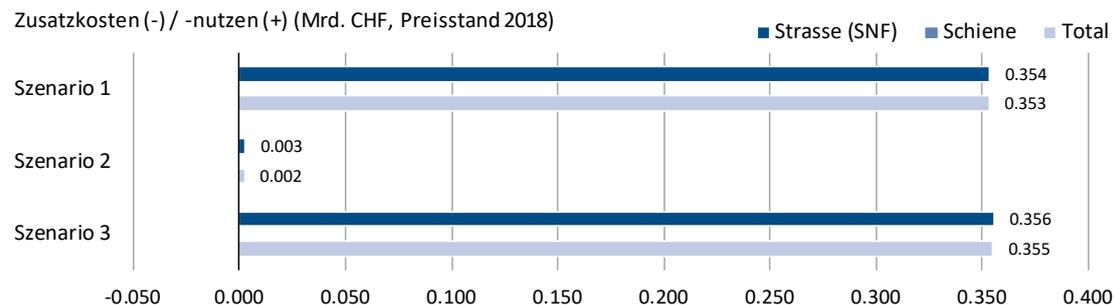
Abbildung 73: Zusatznutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Automatisierung im Güterverkehr auf der Strasse 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

Beide Aspekte der Unfallkosten zusammen führen zu Zusatznutzen (verringerte Unfallkosten) in den Szenarien 1 und 3 gegenüber dem Szenario 0, d.h. der Automatisierungseffekt überwiegt die Zusatzkosten aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistung. In Szenario «Sharing» resultieren nahezu keine Zusatznutzen bzw. -kosten aufgrund der Zunahme der Verkehrsleistung auf der Strasse (Abbildung 74).

Abbildung 74: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten im Güterverkehr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM), BFS 2019, BFS 2020b, eigene Schätzungen.

7.2.3.4. Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten

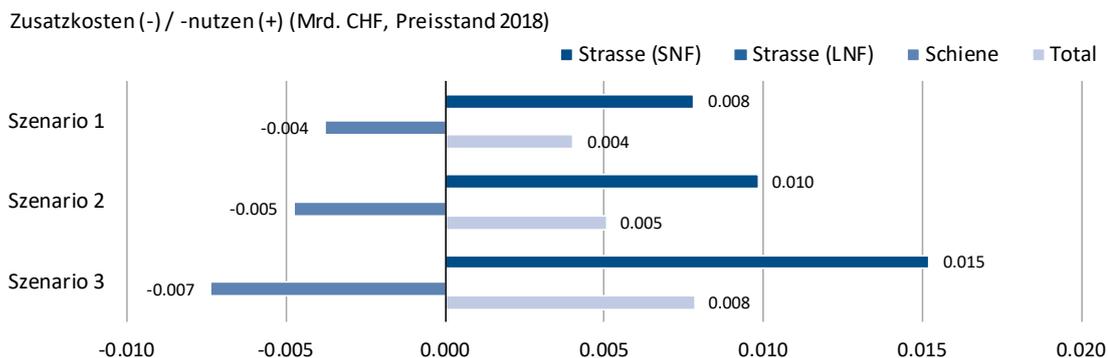
Die Umwelt- und Gesundheitskosten reduzieren sich insgesamt aufgrund der Veränderung der Verkehrsleistungen (einschliesslich modaler Verlagerungen), d.h. der Erhöhung im Schienengüterverkehr auf Kosten des Anteils der Strasse in den Szenarien 1 bis 3. Die Zusatznutzen wurden analog den Unfallkosten auf Basis der um die Preisentwicklung angepassten Kostensätze pro Tkm (BFS 2020b) und der Veränderung der Verkehrsleistung abgeschätzt (Mengeneffekt). Die Kostensätze blieben in den Szenarien 1 bis 3 konstant, wobei Veränderungen zwischen 2018 und 2060 berücksichtigt wurden (Basiseffekt).

Bei den Kostensätzen (CHF/Tkm) für Luft und Klima für den Strassengüterverkehr berücksichtigen wir zunächst die Entwicklung der Treibhausgasemissionen zwischen 2018 und 2060 basierend auf der Referenzentwicklung gemäss HBEFA 4.1 (rund -50 % durch die Veränderung der Flottenzusammensetzung und die Zunahme der Effizienz der fossil betriebenen Fahrzeuge). Ergänzend dazu wird bei den Kostensätzen für Luft und Klima eine Erhöhung der Kostensätze aufgrund der Zunahme der Bevölkerung (+26 % zwischen 2018 und 2060) berücksichtigt. Dies bezeichnen wir als Basiseffekt, der im Strassengüterverkehr – analog dem Personenverkehr – insgesamt -24 % beträgt, d.h. die Kostensätze reduzieren sich.

Mit zunehmender Elektrifizierung von Fahrzeugen reduzieren sich die Lärmkosten v.a. in den Städten. Gleichzeitig wird vereinfachend angenommen, dass aufgrund der Zunahme der Bevölkerung entsprechend mehr Personen von Lärm betroffen sind. Für die Lärm- und übrigen Umweltkosten gehen wir daher von keinem Basiseffekt aus. Dies führt zu geringeren Kostensätzen für die Strasse. Für die Schiene haben wir – analog den Lärmkosten und dem Personenverkehr – angenommen, dass kein Basiseffekt zu berücksichtigen ist. Diese Annahmen haben wir getroffen, um die Zusatzkosten bzw. -nutzen nicht zu überschätzen. Eine detailliertere Prognose war im Rahmen dieser Studie daher nicht möglich.

Insgesamt resultieren in allen drei Szenarien Zusatznutzen aufgrund der Reduktion der Verkehrsleistung im Strassengüterverkehr bzw. der Verlagerung von der Strasse zur Schiene.

Abbildung 75: Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten im Güterverkehr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (AMG, NPVM), BFS 2020b, HBEFA 4.1, eigene Schätzungen.

7.3. Infrastruktur

Mit der Digitalisierung und insbesondere der Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen wird eine intelligente Infrastruktur benötigt (vgl. Kap. 4.4.3.4.4). Eine Quantifizierung der Unterschiede an Infrastrukturbedarf und daraus resultierenden Veränderungen der Infrastrukturkosten der drei Eckszenarien zur Digitalisierung der Mobilität ist aufgrund der Unsicherheiten und aufgrund fehlender Grundlage/Literatur nicht direkt ableitbar (vgl. auch Kap. 5.3.2). Auch Kostenschätzungen seitens der Bundesämter liegen aktuell nicht vor.

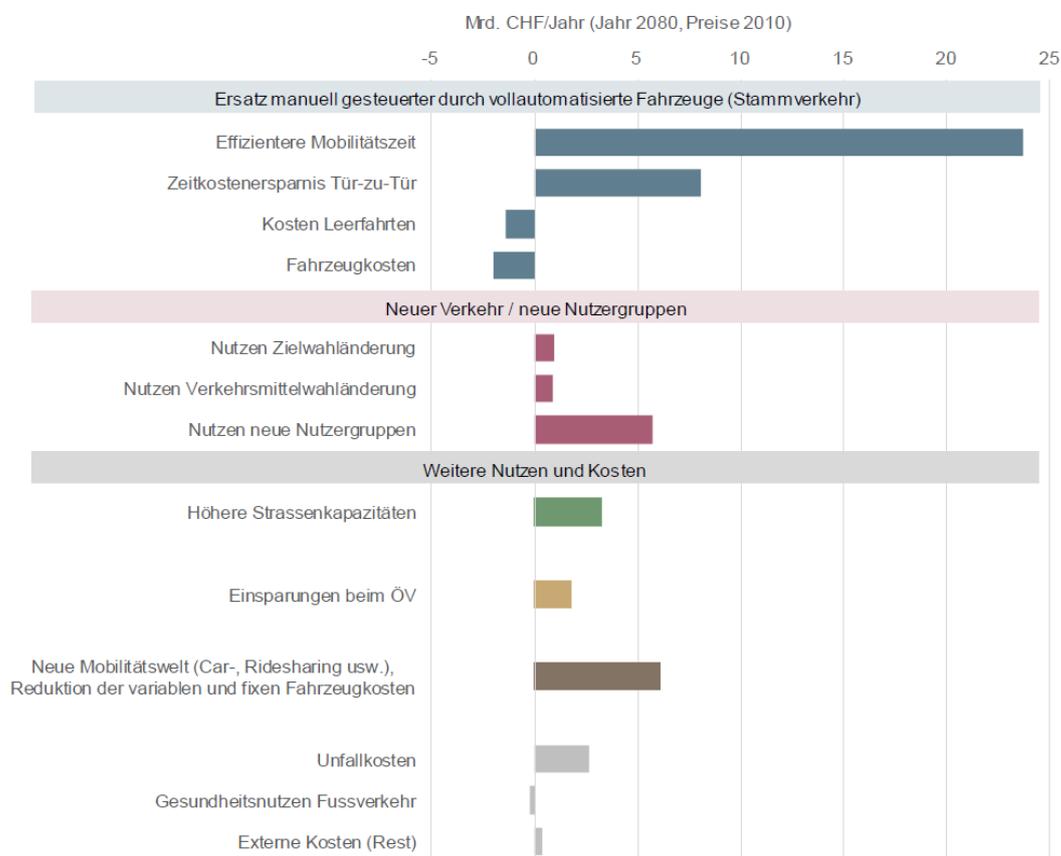
Da das Element unabhängig von den anderen Aspekten der Kosten und Nutzen ist, zeigen wir hier die Folgen für die Infrastrukturkosten je Eckszenario auch Varianten basiert am Ende der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen je Eckszenario im Vergleich zum Szenario 0 in Form von 2 Varianten (einmal «keine Zusatzkosten» (Haltung Fahrzeugbauer, die alles Nötige in die Autos bauen wollen), einmal spürbare Zusatzkosten von 5 % bei der Infrastruktur im Vergleich zum Szenario 0 2060).

7.4. Vergleich der Ergebnisse mit der Machbarkeitsstudie

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse werden im Folgenden kurz mit den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie (Ecoplan 2018) für die drei Szenarien verglichen. Der Vergleich ist jedoch nur eingeschränkt möglich und daher indikativ:

- Die Szenarien der vorliegenden Studie wurden an die Definition der Szenarien der Machbarkeitsstudie bzw. den beiden Achsen («Technologie: Automatisierung und Vernetzung» und «Verhalten: Sharing und Kollaboration») zwar angelehnt (Abbildung 76). Jedoch sind Definition wie Wirkungen der Szenarien nicht deckungsgleich. Beispielsweise betrachten wir im Szenario «Sharing» nicht nur die Effekte des Ride- und Car-Sharing, sondern auch weitere Effekte (z.B. Veränderung der Bewertung der Reisezeit (Value of Time), Veränderung der Mobilitätsraten aufgrund von induziertem Verkehr sowie Veränderung der ÖV-Kosten aufgrund einer Zunahme der Intermodalität).

Abbildung 76: Ergebnisse der Machbarkeitsstudie im Szenario «Automatisierung»



Quelle: Ecoplan 2018, S. 8.

- Die Machbarkeitsstudie differenziert zudem drei verschiedene Varianten des Phase-In der Automatisierung (schnell, mittel, langsam). Für den Vergleich sind – unseres Erachtens und soweit wir das auf Basis der vorliegenden Grundlagen beurteilen können – die Varianten 2 (mittel) und Variante 1 (schnell) grundsätzlich geeignet. Vor dem Hintergrund, dass vorliegend Eckszenarien gewählt wurden, wird der Vergleich der Ergebnisse bei einem schnellen Phase-In betrachtet.
- Das methodische Vorgehen zur Herleitung der verkehrlichen Wirkungen weicht voneinander ab. Während Ecoplan ein eigenes Tischmodell aufbaute, wurden für die vorliegende Studie die Verkehrsmodelle des UVEK genutzt. Eine Differenzierung bzw. Separierung verschiedener Effekte war in der vorliegenden Studie daher nicht möglich. Es stellt sich dabei aber auch grundsätzlich die Frage, inwiefern sich die verschiedenen Effekte tatsächlich scharf trennen lassen können (z.B. Routen- und Zielwahleffekte).

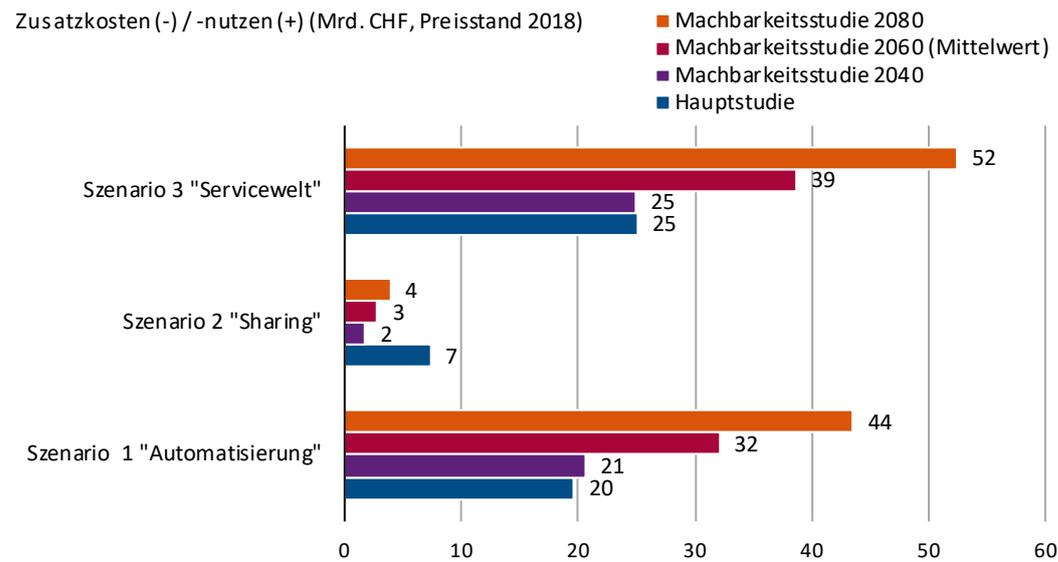
- Vorliegend wurde das Jahr 2060 zugrunde gelegt. In der Machbarkeitsstudie werden die Ergebnisse hingegen für die Jahre 2040 und 2080 ausgewiesen. Für den Vergleich haben wir sehr vereinfacht zusätzlich einen Mittelwert der Angaben für 2040 und 2080 der Machbarkeitsstudie zugrunde gelegt.
- Der Vergleich erfolgt für den Personenverkehr. Für den Güterverkehr wurde die verkehrlichen und ökonomischen Folgen in der Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert. Da uns der Schlussbericht, nicht jedoch die zugrundeliegenden Berechnungsgrundlagen vorlagen, steht unser Vergleich unter Vorbehalt.

Die Machbarkeitsstudie geht in den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» von deutlich höheren Zusatznutzen im Vergleich zur vorliegenden Studie (in der Grafik «Hauptstudie» genannt) aus. Hingegen werden die Zusatznutzen des Sharing (Szenario 2) in der vorliegenden Studie etwa doppelt so hoch eingeschätzt (Abbildung 77). Die Abweichungen lassen sich nach unserer Einschätzung wie folgt begründen:

- «Automatisierung und Vernetzung» bzw. «Servicewelt»:
 - Der geschätzte Zusatznutzen der Reduktion der Reisezeitbewertung im MIV (Value of Time) aufgrund der Automatisierung wird in der Machbarkeitsstudie (Szenarien 1 und 3 identisch) mit durchschnittlich 17 Mrd. Franken als Mittelwert für das Jahr 2060 deutlich höher eingeschätzt. Dies lässt sich – wie in Kap. 7.1.2.2 kurz erläutert – auf eine deutlich höhere Reduktion des VoT von 8.90 CHF/h in der Machbarkeitsstudie statt 3.60 CHF/h im Szenario «Automatisierung» bzw. 2.10 CHF/h im Szenario «Servicewelt» erklären. In Szenario 3 haben wir im Vergleich zu Szenario 1 – und damit im Gegensatz zur Machbarkeitsstudie – eine geringere Reduktion des VoT zugrunde gelegt, da Fahrten geteilt werden (ÖIV). Die Machbarkeitsstudie legt die Differenz der Zeitkostenansätze von MIV und ÖV zugrunde. Im Vergleich liegt der Zusatznutzen in der vorliegenden Studie bei geschätzt 9 Mrd. Franken im Szenario «Automatisierung» bzw. rund 6 Mrd. Franken im Szenario «Servicewelt». Gleichzeitig verweisen Ecoplan (2018) aber auf die hohen Unsicherheiten und gehen von 30 bis 70 % tieferen Zeitkostensätzen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen aus.
 - Der Zusatznutzen des MIV-Neuverkehrs aufgrund neuer Nutzergruppen wird in der Machbarkeitsstudie auf je rund 11 Mrd. Franken (Mittelwert 2040 und 2080, Variante 1 «schnell») in den Szenarien 1 und 3 quantifiziert. Wir gehen hingegen von deutlich tieferen Zusatznutzen in Szenario 1 bzw. Szenario 3 in Höhe von 2 bzw. 3 Mrd. Franken aus. Die Differenz kann aufgrund fehlender Berechnungsgrundlagen (Mengen, Kostensatz) nicht abschliessend beurteilt werden. Vorliegend wurde eine deutlich tiefere Zahlungsbereitschaft im Vergleich zur Machbarkeitsstudie zugrunde gelegt. Die genaue Höhe ist uns

- nicht bekannt. Wir gehen davon aus, dass neue Nutzende nur bei deutlich geringeren Kosten im Vergleich zu heutigen Taxipreisen zusätzliche Fahrten durchführen werden.
- «Sharing»: Vorliegend berücksichtigen wir weitere Effekte des Sharing. V.a. die Reduktion der Fahrzeugstunden im MIV Stammverkehr verursacht einen geschätzten Zusatznutzen von rund 4 Mrd. Franken, der in der Machbarkeitsstudie als Effekt nicht quantifiziert wurde.

Abbildung 77: Zusatzkosten bzw. -nutzen in den Szenarien im Jahr 2060



Hinweis: Die Werte der Machbarkeitsstudie sind Mittelwerte der Ergebnisse für 2040 und 2080 (Variante 1 «schnell»).

Grafik INFRAS. Quelle: Ecoplan 2018, eigene Berechnungen und Schätzungen.

Abbildung 77 zeigt, dass sowohl in der vorliegenden Hauptstudie als auch in der Machbarkeitsstudie in Szenario «Servicewelt» der grösste und in Szenario «Automatisierung» der zweitgrösste Zusatznutzen resultiert. Hingegen sind die Zusatznutzen in der Hauptstudie deutlich geringer im Vergleich zur Machbarkeitsstudie.

8. Meso- und makroökonomische Auswirkungen (Wertschöpfung und Beschäftigung)

Dieses Kapitel umfasst die Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf Beschäftigung und Wertschöpfung, unterteilt nach Branchen und auf Ebene der Gesamtwirtschaft (meso- und makroökonomische Analyse). Dazu werten wir in Kap. 8.1 vorhandene Erkenntnisse der Literatur zu den Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf Beschäftigte, Umsatz und Wertschöpfung aus. In Kapitel 8.2 werden basierend auf den literaturgestützten Annahmen zu den Stellschrauben für die Verkehrsmodellierung, wie Besetzungsgrade, Mobilitätsrate, Value of Time und Kostensätze (MIV, ÖV) gemäss Kap. 5 den verkehrlichen Wirkungen gemäss Kap. 6 und der Kosten-/Nutzen-Analyse (Kap. 7) die Auswirkungen auf Beschäftigung und Wertschöpfung abgeschätzt. Die Analyse der volkswirtschaftlichen Wirkungen basiert auf der energie- und verkehrsdifferenzierten Input-Output-Tabelle der Schweizer Volkswirtschaft für das Jahr 2060 (vgl. Kapitel 2.2.3 für detailliertes methodisches Vorgehen) und dem darauf aufbauenden Input-Output-Modell. Zum Schluss ziehen wir ein Fazit zur meso- und makroökonomischen Analyse (Kap. 8.2.4).

8.1. Literaturanalyse

Der flächendeckende Einsatz automatisierter und vernetzter Fahrzeuge führt mitunter zu starken Einflüssen auf eine Vielzahl von Wirtschaftssektoren. Die Einflüsse fallen hierbei sehr unterschiedlich aus, je nach Sektor von stark positiv bis negativ. Mithilfe einer Literaturanalyse wird der aktuelle wissenschaftliche Stand bezüglich der erwarteten Wertschöpfungs- sowie Beschäftigungseffekte einer fortschreitenden Digitalisierung der Mobilität umrissen.

Zum heutigen Zeitpunkt steht nur wenig Fachliteratur zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität zur Verfügung. Das übergeordnete Thema E-Mobilität sowie Automatisierung und «Servicewelt» scheinen jedoch in der Fachliteratur ein zunehmend grösseres Interesse zu wecken. Das Eckpunktszenario «Automatisierung» ist dabei im Vergleich zum Eckpunktszenario «Sharing» deutlich häufiger im Fokus von Untersuchungen. Dies hat zur Folge, dass für das Eckszenario «Sharing» keine aussagekräftige Literatur bezüglich Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten gefunden werden konnte. In der Mehrzahl der Arbeiten zu volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Digitalisierungsausprägungen im Verkehr wird eine Kombination der beiden Eckpunktszenarien «Automatisierung» und «Sharing» angewandt, also das Szenario «Servicewelt» betrachtet. Der überwiegende Teil der Fachliteratur zur Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist somit weniger den einzelnen Eckpunktszenarien «Automatisierung» und «Sharing» zuzuordnen, sondern vielmehr dem Eckpunktszenario «Servicewelt».

Bei der Literatursichtung erwiesen sich insbesondere zwei Artikel aus der Fachliteratur als hilfreiche Quellen zur Analyse der volkswirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung. Es handelt sich hierbei zum einen um eine Arbeit von Alonso Raposo et al. (2018), welche im Auftrag des Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission durchgeführt wurde und die sozio-ökonomischen Effekte einer kooperativen, vernetzten und automatisierten Mobilität in Europa analysiert und quantifiziert. Die Studie rechnet in ihrem Szenario 3 mit einer 99%-igen Durchdringung autonomer Fahrzeuge des Levels 4 und 5 und einer 90%-igen Durchdringung des MaaS bis zum Jahr 2050 in ganz Europa. Der Fahrzeugbesitz nimmt im Personenverkehr auf lediglich 10 % ab. Diese Arbeit baut somit auf einem Szenario auf, welches dem Szenario «Servicewelt» unserer Arbeit nahekommt.

Die zweite relevante Arbeit stammt von Clements und Kockelman (2017), welche eine sozio-ökonomische Analyse des US-amerikanischen Markts durchführen und in ihrem Szenario mit einer Durchdringung vollautomatisierter Fahrzeuge von 100 % rechnen. Sharing-Aspekte werden nicht berücksichtigt. Alle Fahrzeuge befinden sich also weiterhin im Privatbesitz, sodass diese Arbeit eher bei unserem Automatisierung-Szenario einzuordnen ist. Beide Arbeiten haben gemeinsam, dass sie sich intensiv und sektorenübergreifend mit den Umsatz- und Beschäftigungseffekten der Digitalisierung in der Mobilität befassen. Obwohl wir an der Bruttowertschöpfung interessiert sind, sind auch die Prognosen der Auswirkungen auf den Umsatz relevant. Kapitel 8.1.1 bezieht sich hauptsächlich auf Veränderungen der Produktionsmengen (oder der Nachfrage). Die Auswirkungen solcher Veränderungen gehen bei der Wertschöpfung und beim Umsatz in die gleiche Richtung. Beide Arbeiten erlauben eine breite Einschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Eckszenarien «Automatisierung» und «Servicewelt», da sie den aktuellen Wissensstand umfangreich widerspiegeln.

Die von Alonso Raposo et al. (2018) sowie von Clements und Kockelman (2017) ermittelten qualitativen sowie quantitativen volkswirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung auf die Mobilität werden im Folgenden nach Umsatz- und Beschäftigungseffekten gegliedert.

8.1.1. Umsatzeffekte

Zur besseren Differenzierung der verschiedenen Effekte und deren Ausprägung wird eine separate Betrachtung der einzelnen betroffenen Wirtschaftssektoren vorgenommen.

Beginnend mit der **Automobilbranche** sind sich Alonso Raposo et al. (2018) und Clements und Kockelman (2017) darüber einig, dass der Absatz an Neufahrzeugen sowohl im Szenario «Automatisierung» als auch im Szenario «Servicewelt» stark zunehmen wird. Im Jahr 2015 wurden in den USA insgesamt 17.5 Mio. PW und leichte Nutzfahrzeuge verkauft, während in der EU im gleichen Jahr 13.7 Mio. PW neu registriert wurden. So rechnen Alonso Raposo et al.

(2018) für den europäischen Raum bis zum Jahr 2050 im Referenzszenario mit einem Absatzplus von 30 % mehr verkauften Fahrzeugen im Vergleich zum Jahr 2015. Nach ihren Berechnungen wird der Absatzzuwachs im Szenario «Servicewelt» mit 33 % im Vergleich zum Jahr 2015 nochmals etwas höher ausfallen als im Referenzszenario. Der Umsatz der Automobilbranche steigt ihren Ergebnissen nach im Szenario «Servicewelt» im Vergleich zum Referenzszenario im Jahr 2050 im Bereich Personenwagen um 3 % und im Bereich Nutzfahrzeuge um 26 %.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Aussagen von Clements und Kockelman (2017), wonach der Privatbesitz von PW in den USA dank «On-Demand»-Mobilitätsangeboten langfristig drastisch zurückgehen wird, während der Einsatz kommerziell genutzter Fahrzeuge zunehmen wird. Eine quantitative Prognose wird hierbei allerdings nicht genannt. Jedoch geben die Autoren für die Automobilbranche einen Umsatzzuwachs von 7 % im Automatisierungsszenario im Vergleich zur Referenz an. Neben höheren Umsätzen durch steigende Fahrzeugverkäufe spielt in Zukunft auch der Verkauf datenbasierter Dienstleistungen eine immer grössere Rolle. Studien prognostizieren, dass die Automobilbranche bis zum Jahr 2050 die Hälfte ihres Umsatzes durch datenbasierte Dienstleistungen erzielen könnte (vgl. BMVI 2019). Zudem ist davon auszugehen, dass Automobilhersteller künftig vermehrt eigene Flotten als Verkehrsdienstleister nach dem Vorbild von DriveNow (BMW) und Car2Go (Daimler) betreiben (vgl. Perret et al. 2020).

Gemäss Juliussen (2015) werden die Wirtschaftssektoren Elektrotechnik und Software z.B. für autonome Fahrzeuge und integrierte Kartendienste in den USA im Szenario «Automatisierung» zwischen 2025 und 2040 mit einem Umsatzzuwachs von 680 Mio. USD auf 15.8 Mrd. USD respektive von 530 Mio. USD auf 10.6 Mrd. USD zu den grössten Gewinnern der Digitalisierung der Mobilität gehören. Es ist folglich mit Umsatzsteigerungen um das 23-fache respektive 20-fache ggü. der Referenz zu rechnen. Die Gesamtumsätze der **Elektrotechnik- und Softwarebranche** werden ihren Ergebnissen zufolge in den USA im Szenario «Automatisierung» im Vergleich zum Referenzszenario ohne Automatisierung um 13 % zunehmen. Diese enormen Veränderungen sind der Entwicklung geschuldet, dass die Komponenten der heutigen Fahrzeuggeneration einen Softwareanteil von lediglich 10 % gegenüber 90 % Hardware aufweisen, während sich die Komponentenanteile im Automatisierungsszenario ggü. der Referenz auf 40 % Hardware, 40 % Software und 20 % Datendienste verändern werden. Datendienste umfassen neben den klassischen Entertainment- bzw. Infotainment-Anwendungen auch Applikationen, welche die Hardware und Software des Fahrstrangs überbrücken und integrieren (vgl. Alonso Raposo et al. 2018). Das zukünftige Wertschöpfungspotenzial der Datendienstleister sowie der Elektrotechnikbranche ist somit enorm. Langfristig wird daher sogar davon ausgegangen, dass **Automobilhersteller** ihr traditionelles Geschäftsmodell zunehmend zu einem hybriden Geschäftsmodell aus Herstellung und digitaler Plattform entwickeln werden. Alonso Raposo et al. (2018)

rechnen diesbezüglich damit, dass zukünftig 30–40 % der Wertschöpfung der Automobilhersteller in Form einer digitalen Plattform erwirtschaftet wird. Auch der Branche digitaler Medien erschliesst sich ein neues Geschäftsfeld mit grossen Wertschöpfungspotenzialen (vgl. Perret et al. 2020). So liessen sich die Verhaltens- und Fahrzeugdaten im grossen Stil monetarisieren, wodurch bis zum Jahr 2030 laut Bertonecello et al. (2016) weltweit mit einem zusätzlichen Umsatz der Automobilbranche von 450 bis 750 Mrd. USD zu rechnen ist. Dies entspricht nach Aussage der Autoren einem Umsatzzuwachs von fast 8 %.

Zu den Verlierern der Digitalisierung der Mobilität gehören gemäss Clements und Kockelman (2017) die **Ersatzteilhändler und Autowerkstätten**. Die Autoren rechnen für das Automatisierungs-Szenario aufgrund der fast vollständigen Vermeidung von Unfällen und dem Wegfall von Unfallschäden mit einem Umsatzrückgang der Branche in den USA zwischen 7.7 und 27 Mrd. USD bei einem Referenzwert zum Umsatz von etwa 30 Mrd. USD im Jahr 2013. Letzteres betreffe das Best-Case-Szenario im Falle eines 90%-igen Rückgangs der Verkehrsunfälle im Vergleich zur Referenz. Hierbei bleibt allerdings ungewiss, inwieweit die potenziell steigenden Reparaturkosten pro Fahrzeug durch den höheren Anteil verbauter hochkomplexer und teurer Sensorik und Elektrotechnik zu einem Ausgleich der Umsatzrückgänge führt. In Summe ist jedoch von einem Rückgang des Gesamtumsatzes auszugehen. Nach Clements und Kockelman (2017) kann für die gesamte Branche in den USA mit einem Umsatzrückgang von 26 % zwischen dem Referenzjahr 2015 und dem Szenario «Automatisierung» ausgegangen werden. Auch die Fahrzeugversicherungsbranche wird unter dem massiven Rückgang der Verkehrsunfälle leiden. Neben der geringeren Anzahl an Versicherungsfällen und den einhergehenden geringeren Versicherungsprämien (Alonso Raposo et al. (2018) gehen von um 10–15 % reduzierten Prämien aus) werden sich die Verkehrsteilnehmenden aufgrund der sinkenden Gefahr eines Unfalls weniger stark versichern⁴². Clements und Kockelman (2017) gehen davon aus, dass die **Autoversicherungsbranche** durch die flächendeckende Digitalisierung der Mobilität im Szenario «Automatisierung» in den USA einen Umsatzrückgang von etwa 60 % im Vergleich zur Referenz verbuchen wird. Bei einer jährlichen Versicherungssumme von 180 Mrd. USD in den USA würde dies zu einem Rückgang von 108 Mrd. USD führen. Als einen weiteren negativ von der Digitalisierung der Mobilität betroffenen Sektor führen Clements und Kockelman (2017) das **Gesundheitswesen** auf. Verkehrsunfälle führten in den USA im Jahr 2015 zu Kosten für das Gesundheitswesen in Höhe von 23 Mrd. USD. Eine Reduktion der Verkehrsunfälle um 90 % führe somit zu einem Rückgang der Kosten bzw. Umsätze von 20.7 Mrd. USD im Vergleich zur Referenz. Der Gesamtumsatz der US-amerikanischen Gesundheitsbranche wird hierdurch allerdings lediglich um einen Prozentpunkt reduziert.

⁴² Auf die Frage, wer bei digitalisierter Mobilität haftet (Passagier, Mieter, Besitzer oder Leistungserbringer) gehen wir in dieser Studie nicht ein.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Publikationen von Clements und Kockelman (2017) sowie Alonso Raposo et al. (2018) zu den Auswirkungen der Szenarien einer Automatisierung und einer «Servicewelt» auf Branchenumsätze tabellarisch aufgeführt. Die jeweiligen Annahmen für die angewendeten Szenarien sollten bei der Betrachtung der Werte bedacht werden und sind im vorderen Teil dieses Kapitels zusammengefasst.

Tabelle 53: Veränderung der Branchenumsätze durch Automatisierung aus Literatur

Aspekt	Wirkung Automatisierung	Landesbezug	Kommentar
Automobilbranche	Δ Umsatz: +7 %	USA	Annahme: vollständige Durchdringung vollautomatisierter Fahrzeuge
Elektronik- und Softwarebranche	Δ Umsatz: +13 %	USA	
Digitale Medien	Δ Umsatz: +33 %	USA	Hierbei muss berücksichtigt werden, dass bei einem konstanten verfügbaren Einkommen der Haushalte ein Mehrkonsum digitaler Medien eine Reduktion der Ausgaben für andere Güter nach sich zieht.
Ersatzteil- und Werkstattbranche	Δ Umsatz: -26 %	USA	
Gütertransport	Δ Umsatz: +17 %	USA	
	Insgesamt positive Auswirkungen (höhere Effizienz durch Platooning, Senkung der operativen Kosten etc.)	Europa	Keine quantitativen Werte
Versicherungsbranche	Δ Umsatz: -60 %	USA	
Personentransport	Δ Umsatz: -31 %	USA	
Gesundheitswesen	Δ Umsatz: -1 %	USA	
Landentwicklung	Δ Umsatz: +5 %	USA	
Bau- und Infrastrukturbranche	Δ Umsatz: -4 %	USA	
Verkehrspolizei	Δ Umsatz: -50 %	USA	
Rechtssektor	Δ Umsatz: -1 %	USA	

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: Clements und Kockelman (2017) für alle Zeilen/Branchen, ausser Aussage zu Platooning im Güterverkehr. Letztere basiert auf Alonso Raposo et al. (2018).

Tabelle 54: Auswirkungen der Servicewelt auf Branchenumsätze

Aspekt	Umsatzveränderung Szenario 3 (S3) im Jahr 2050 gegenüber dem Referenzszenario (SR) im Jahr 2050	Landesbezug	Kommentar
Automobilbranche (Personenwagen)	Δ Umsatz: +2 %	Europa	Referenzszenario: keine Durchdringung der Digitalisierung; Szenario 3: 99 % Automatisierung Level 4+5, 90 % MaaS
Automobilbranche (Nutzfahrzeuge)	Δ Umsatz: +26 %	Europa	
Elektronik- und Softwarebranche	Umsatz SR: keine Umsätze im BereichAutomatisierung und Sensorik Umsatz S3: 45 Mrd. Euro Δ Umsatz: +100 %	Europa	Autoren gehen davon aus, dass es im Referenzszenario keine Automatisierung gibt und somit entstehen keine zusätzlichen Umsätze durch die benötigte Sensorik etc.
Digitale Medien	Bis zu 120 Mrd. Euro Umsatz durch Monetarisierung von Fahrzeugdaten	Europa	Ausblick nur bis 2030; nicht genau definiert, von welcher Durchdringung ausgegangen wird
Ersatzteil- und Werkstattbranche	Insgesamt negative Auswirkungen	Europa	Keine quantitativen Werte
Versicherungsbranche	Δ Umsatz: -38 %	Europa	Hinweis: Vergleich der Umsätze von 2050 unter Vollautomatisierung mit den Umsätzen aus Referenzszenario fürs Jahr 2015 (für 2050 (keine vorhanden)

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: alle Angaben Alonso Raposo et al. (2018).

8.1.2. Beschäftigungseffekte

Zu den Beschäftigungseffekten der Digitalisierung der Mobilität gibt es in der Fachliteratur verschiedene Einschätzungen. Insgesamt ist sowohl im Szenario «Automatisierung» als auch im Szenario «Servicewelt» mit einem reduzierten Bedarf an fahrendem Personal zu rechnen.

Alonso Raposo et al. (2018) sowie Hörl et al. (2020) gehen davon aus, dass negative Beschäftigungseffekte in allen Sektoren auftreten, in denen Fahrpersonal benötigt wird. Es werden somit das Fahrpersonal in der Lagerhaltung, Reparatur und Großhandel sowie Post- und Kurierfahrer, aber auch Taxifahrer betroffen sein. Gleiches gilt aber auch für Branchen, die viel im Aussendienst tätig sind. Für den Strassengüterverkehr bedeutet dies konkret, dass von den

im Jahr 2017 in Europa beschäftigten 2.3 Mio. Lkw-Fahrern bis zum Jahr 2040 im Falle der Vollautomatisierung nur noch 0.5 Mio. benötigt werden. Dies entspricht einer Abnahme von fast 80 %. Der Wegfall an Fahrern betrifft hierbei lange und kurze Strecken gleichermassen (vgl. Fagnant und Kockelman 2015). Hierbei ist allerdings zu erwähnen, dass nach Hofer et al. (2018) und Dennisen et al. (2016) (auch für die Schweiz) davon auszugehen ist, dass zukünftig trotz automatisierter Fahrzeuge eine Begleitperson im Stückgutverkehr notwendig sein könnte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass anderweitig die Be- und Entladeprozesse nicht zeit-, fach- und kostengerecht erfolgen könnten (siehe Kap. 4.4). Mit der Automatisierung sinkt zum einen der Bedarf an Fahrpersonal im Güterverkehr, zum anderen steigt jedoch auch der Bedarf an höher qualifizierten Arbeitskräften in anderen Unternehmensbereichen, bspw. in der IT-Abteilung einer Spedition oder eines Grosslageristen (vgl. Milakis et al. 2017, Janssen et al. 2015). Die weiterhin benötigten Lkw-Fahrer müssen künftig in der Lage sein, verschiedenste Tätigkeiten auszuüben, und eine hohe Bereitschaft aufweisen, digitale Medien zu nutzen (vgl. Stölzle et al. 2018). Fahrpersonal, welches nicht im Bereich Stückgüterverkehr tätig ist und somit von einem Arbeitsplatzverlust betroffen wäre, könnte auf diese Weise zum Teil weiterhin beschäftigt werden, indem es sowohl während der Fahrt alternative, administrative Aufgaben übernimmt, als auch das Be- und Entladen von Fahrzeugen. Auch im Hinblick auf den aktuellen zunehmenden Fahrermangel im Transportsektor (vgl. Fitzpatrick et al. 2017) ist es besonders wichtig, dass die neue Generation der «digital natives» für die Aufgaben innerhalb der Logistikdienstleister gewonnen werden kann (vgl. Stölzle et al. 2018). Eine sektorenübergreifende Abschätzung der gefährdeten respektive neu geschaffenen Arbeitsplätze als Folge der Durchdringung automatisierter Fahrzeuge liegt für die Schweiz bisher nicht vor (vgl. EcoPlan 2018).

Die Automatisierung im Verkehr dürfte sich wie bei anderen historischen Automatisierungsschritten, wie der Industrialisierung, nicht nur negativ auf die Gesamtbeschäftigung auswirken, sondern auch zahlreiche neue Stellen schaffen. Dies liegt daran, dass technologischer Fortschritt auf lange Sicht schliesslich zu einer Schaffung von mehr Arbeitsplätzen führt, beispielsweise im Bereich der Systemüberwachung oder neuer Dienstleistungen, nachdem kurzfristig ganze Beschäftigungsfelder obsolet geworden sind (vgl. Perret et al. 2020, Alonso Raposo et al. 2018).

8.2. Quantitative Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung

Dieses Kapitel umfasst die Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität im Jahr 2060 auf die Beschäftigung und die Wertschöpfung. Im Gegensatz zur bisherigen Analyse – verkehrliche

Wirkungen und mikroökonomische Kosten-Nutzen-Analyse – werden in diesem Teil der Güterverkehr und Personenverkehr je Szenario gemeinsam untersucht. Hierbei gilt es, zwei zentrale Annahmen zu berücksichtigen:

- In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der verkehrlichen Auswirkungen der drei Digitalisierungs-Szenarien gehen wir auch in der volkswirtschaftlichen Analyse davon aus, dass es 2060 keine gegenüber der Referenzentwicklung veränderte **Infrastruktur** braucht. (siehe Kap. 7.3).
- Zudem ist es wichtig, klar zwischen dem Digitalisierungseffekt und der **Dekarbonisierung** zu unterscheiden. In der vorliegenden Studie analysieren wir separat die Digitalisierungseffekte und beziehen keine zusätzlichen Effekte der Dekarbonisierung mit ein. Das bedeutet, dass der Anteil an batterieelektrischen Fahrzeugen in den jeweiligen Eckszenarien gleichbleibend ist wie im Referenzszenario. Der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge im Referenzszenario ist mit den aktuellen nationalen Grundlagen abgestimmt und beträgt im Jahr 2060 ca. 40 %. Für das Automatisierungsszenario bedeutet dies zum Beispiel, dass automatisierte Fahrzeuge teils auch mit fossilen Brennstoffen betrieben werden.

Methodisch unterscheiden wir in der volkswirtschaftlichen Wirkungsanalyse der drei Eckszenarien drei Wirkungsebenen. Die folgenden drei Kapitel zeigen je Szenario die volkswirtschaftlichen Wirkungen und geben jeweils zu Beginn an, welche Relevanz die drei Stufen im Szenario haben.

Die erste Wirkungsebene, auf der wir Auswirkungen eines Digitalisierungsszenarios betrachten, betrifft die Veränderungen der Produktionsstruktur der Unternehmen eines spezifischen Sektors. Dabei geht es um die Frage, wie sich die Produktionsstruktur (Input an Vorleistungen, Arbeit, Kapital) und die Kostenstruktur in einem Sektor verändern. Die zweite Ebene umfasst die Veränderung der Ausgaben und der Ausgabenstruktur der Haushalte und die dritte Ebene die Veränderung der Staatsausgaben (für eine genauere Beschreibung der Wirkungsebene vergleiche Kapitel 2.2.3). Nach der Veränderung dieser Wirkungsebenen erfolgt ein Budgetausgleich, in dem gewährleistet ist, dass alle Ausgaben durch Einkommen gedeckt sind und die Einnahmen und Ausgaben auf Ebene der öffentlichen Finanzen ausgeglichen sind. Durch die Digitalisierung in der Mobilität können sich die (Höhe und Struktur der) Ausgaben der Haushalte für den Verkehr verändern. Im Referenzzustand 2060 haben die Haushalte ein bestimmtes Einkommen zur Verfügung, das wir als Budgetgerade in der Szenarioanalyse verwenden. Wenn beispielsweise die Ausgaben für Mobilität in einem Szenario steigen, dann bleiben den Haushalten weniger Mittel für den Konsum anderer Güter übrig. Der Konsum anderer Güter nimmt entsprechend proportional ab. Dasselbe gilt vice versa. Zudem kann es zu einer

Veränderung der Staatseinnahmen kommen, wenn zum Beispiel mehr MIV-Kilometer nachgefragt werden und somit die Einnahmen der Energiesteuer (heute Mineralölsteuer) variieren. Zum Schluss resultieren dann aus all diesen Änderungen im Input-Output Modell (IOM) die Veränderungen der Wertschöpfung und der Beschäftigten auf Ebene der Gesamtwirtschaft und für einzelne Branchen.

8.2.1. Szenario 1 – Automatisierung

Im Szenario «Automatisierung» sind Fahrzeuge im Güter- und Personenverkehr hochautomatisiert. Das aktive Lenken der Fahrzeuge sowie die Anwesenheit einer Aufsichtsperson ist nicht mehr nötig, was zu starken Personalkosteneinsparungen im Verkehr führt. Fahrten, Personenwagen oder Ressourcen werden in diesem Szenario kaum geteilt. Die Fahrzeuge befinden sich überwiegend im Privatbesitz. Die verkehrlichen Wirkungen des Szenarios 1 sind für den Personenverkehr in Kapitel 6.2.1 und für den Güterverkehr in Kapitel 6.3.1 beschrieben. Genauere verkehrliche Ergebnisse sind in den weiteren Kapiteln des Kapitels 6 dargelegt.

Im Güterverkehr sinken die Personalkosten (Strasse und Schiene) stark. Die Verlagerung der Verkehrsleistung und des Verkehrsaufkommens von der Strasse auf die Schiene ist in diesem Szenario am geringsten.

Die folgende Grafik zeigt die Wirkungskette für das Szenario «Automatisierung», also wie sich die verkehrlichen Wirkungen auf die schweizerische Volkswirtschaft und ihre Branchen auswirken. In der Grafik unterscheiden wir zwischen drei verschiedenen Wirkungsebenen:

Im ÖV, im Güterverkehr und zum Teil im MIV gibt es im Automatisierungs-Szenario kostensenkende Einflüsse über die abnehmenden Arbeitskosten. Kostensteigernd pro Personenkilometer wirken dagegen die zunehmenden Kapitalkosten wegen der in der Anschaffung teureren automatisierten Fahrzeuge. Die grösste Veränderung stellt jedoch die Reduktion der Personalkosten dar, welche die Mehrkosten bei der Fahrzeugbeschaffung überkompensieren. Insbesondere im öffentlichen Verkehr und im Güterverkehr ist weniger Fahrpersonal (GV Strasse -50 %, GV Schiene -75 %) notwendig, wodurch diese Unternehmen massiv Personalkosten einsparen können. Dieser Effekt führt insgesamt zu einer hohen Effizienzsteigerung im Automatisierungsszenario. Dies ermöglicht es den Unternehmen, die gleiche Menge an Mobilitätsdienstleistungen zu geringeren Kosten zu produzieren.

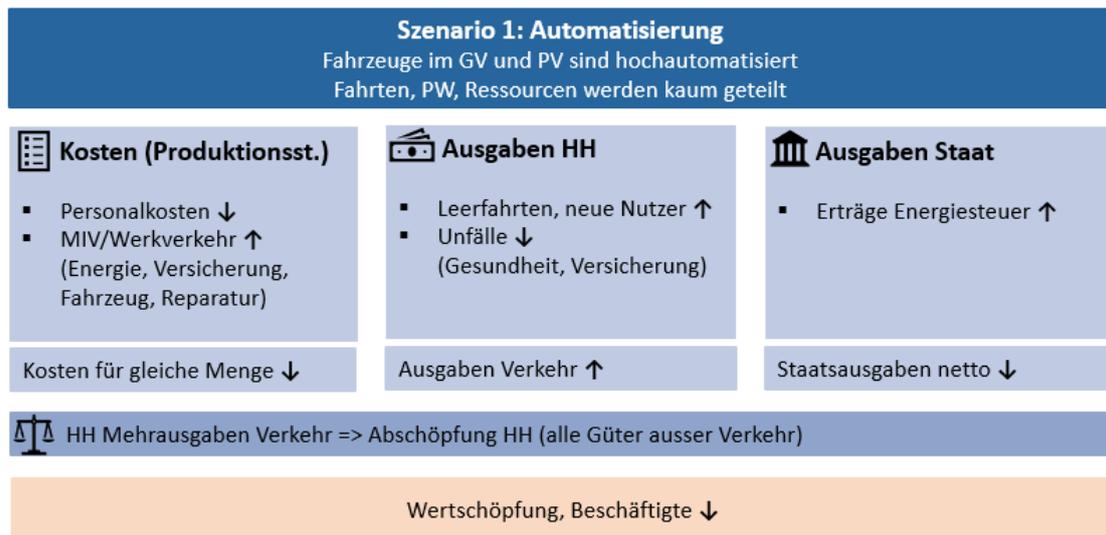
Die Ausgaben der Haushalte für die Mobilität steigen im Automatisierungsszenario, obwohl der Preis im ÖV sinkt. Dies ist insbesondere durch die Mobilisierung neuer Nutzergruppen (Kinder und ältere Personen) zu erklären. Auch die Zunahme der Leerfahrten spielt eine Rolle. Die Nachfrage nach MIV steigt – v.a. wegen des sinkenden Value-of-Time (Fahrzeit kann für andere

Tätigkeiten genutzt werden) – im Szenario entsprechend stark (+50 %). Die Anzahl und die Kostenfolgen der Unfälle nehmen im Automatisierungsszenario ab, was zu Einsparungen bei Gesundheits- und Versicherungsausgaben führt.

Für den Staat steigen die Einnahmen der Energiesteuer (heute: Mineralölsteuer) im Automatisierungs-Szenario erheblich (Abgabe pro Kilometer MIV), da die Nachfrage der Haushalte nach Mobilität stark steigt. Da die Haushalte nach der Nachfragesteigerung trotz sinkender Preise im ÖV im Vergleich zum Referenzszenario viel mehr für die Mobilität ausgeben, konsumieren sie von anderen Gütern weniger.

Die starke Effizienzsteigerung in der Produktion und die Ausweitung der MIV-Nachfrage resultieren in einer geringeren Wertschöpfung und einer niedrigeren Anzahl Beschäftigter im Jahr 2060 als in der Referenz. Weil die stark steigende Nachfrage nach Mobilität mit einem Anstieg der Käufe nach Fahrzeugen einhergeht und die gestiegene Fahrleistung im Szenario «Automatisierung» v.a. auch zu steigenden Importen (Fahrzeuge, Treibstoffe) führt, sinkt die Wertschöpfungsintensität in der Schweiz gesamtwirtschaftlich.

Abbildung 78: Wirkungskette Automatisierung (Szenario 1)



Grafik INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnungen.

Die Veränderung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Automatisierung der Fahrzeuge im Jahr 2060 (absolut und relativ) im Vergleich zur Referenz ist in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 55: Szenario 1 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0

	Absolut 2060	Δ Szenario 0	CH heute absolut
reale Wertschöpfung (Mrd. CHF)	1'071	-0.8 %	ca. 700
Beschäftigung (VZÄ)	4'403'000	-1.3 % (-55'000)	ca. 4'000'000

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

In einer Sensitivitätsrechnung haben wir getestet, wie sich die Resultate ändern, wenn wir annehmen, es brauche zusätzliche Ausgaben für eine smarte Infrastruktur als Grundlage für vernetzte Fahrzeuge. Wie bereits in Kapitel 7.3 beschrieben, ist aktuell keine Literatur mit Einschätzungen oder genauen Zahlen zur Höhe dieser Investitionen vorhanden. Wir nehmen für die Sensitivität an, dass die zusätzlichen Ausgaben für eine smarte Infrastruktur 5–10 % der Infrastrukturausgaben in der Referenz betragen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Auswirkungen von zusätzlichen Staatsausgaben in dieser Grössenordnung auf Wertschöpfung und Beschäftigung im Szenario «Automatisierung» vernachlässigbar sind.

Auf Ebene der einzelnen Branchen sind folgende Veränderungen zu beobachten, wobei wir auf die Branchen mit den grössten Veränderungen bei Wertschöpfung und Beschäftigten im Vergleich zur Referenz fokussieren.

Branchen mit der grössten Zunahme von Wertschöpfung und Beschäftigten⁴³:

- Die MIV Nachfrage im Automatisierungsszenario steigt stark an. Deshalb steigen die Ausgaben für Treibstoffe, Reparatur und Fahrzeuge. Diese Branchen weisen eine hohe Importintensität auf. Automatisierte Fahrzeuge benötigen zwar im Vergleich zu einem Fahrzeug der Referenzentwicklung weniger Treibstoff und Reparatur (Effizienzeinsparung), dies wird jedoch kompensiert durch die starke Ausdehnung der Nachfrage nach Fahrzeugen und Fahrten im betrachteten Szenario. Durch neue Nutzergruppen werden mehr Fahrzeuge nachgefragt und die Anzahl der Fahrten im MIV nimmt selbst ohne neue Nutzende stark zu.

Branchen mit der grössten Abnahme von Wertschöpfung und Beschäftigten:

- Die Nachfrage im ÖV sinkt stark, da der MIV im Vergleich attraktiver wird. Zudem wird der ÖV effizienter, da in den eingesetzten automatisierten Fahrzeugen nahezu kein Fahrpersonal mehr notwendig ist. Die Ausgaben für Bahn, Bus und Tram sinken folgerichtig.
- Auch für Taxifahrten ist kein Fahrpersonal mehr notwendig, wodurch die Automatisierung in der Taxibranche zu einer starken Reduktion der Beschäftigten führt.

⁴³ Die Brancheneffekte basieren auf dem heutigen Stand der Forschung zu automatisierten Fahrzeugen und auf der Einschätzung in der Literatur und der AutorInnen, was für die Schweiz 2060 relevant sein wird. Bereits aktuelle Entwicklungen wie der Sehtest für automatisierte Fahrzeuge zeigen, dass einige Veränderungen hinzukommen werden, die heute schwierig abzuschätzen sind (EMPA 2021).

- Der Güterverkehr auf Strasse und Schiene erfährt durch den teilweisen Wegfall des Fahrpersonals eine starke Effizienzsteigerung in der Produktion.

Zusammenfassend führt die Automatisierung in der Mobilität zu einer starken Effizienzverbesserung und einer starken Erhöhung der Nachfrage im MIV (importintensive Branche), was in einer Reduktion von Wertschöpfung und Beschäftigung insgesamt resultiert, weil die stark zunehmenden Branchen sehr importintensiv sind und dafür Ausgaben in anderen Branchen sinken, welche eine höhere inländische Wertschöpfung aufweisen. Wegen der Effizienzsteigerungen werden die Mobilitätsdienstleistungen deutlich günstiger. Das führt dazu, dass die Haushalte dieselbe Mobilitätsmenge wie in der Referenzperiode zu insgesamt tieferen Kosten erwerben können. Somit können die Haushalte dasselbe Güterbündel der Referenzsituation kaufen und haben noch Geld übrig. Das eingesparte Geld können sie entweder für mehr Mobilität oder andere Konsumgüter ausgeben oder aber mehr Freizeit geniessen und weniger Arbeit anbieten.⁴⁴ Im Szenario 1 nehmen (wegen neuer Nutzergruppen und gesunkener VoT die Ausgaben für Mobilität zu. Das bedeutet, dass im Automatisierungsszenario die Wohlfahrt im Vergleich zur Referenz höher ausfällt. Die Wertschöpfung insgesamt sinkt dagegen, weil die Importe steigen.

Exkurs: Vergleich mit dem Technologie-Szenario (Branchenszenarien, KPMG & Ecoplan 2020)

Zur Einordnung vergleichen wir die Annahmen und Resultate der Branchenszenarien 2060 mit der vorliegenden Analyse. Im Rahmen der Branchenszenarien 2060 wurden neben den Auswirkungen einer technologischen Beschleunigung (Szenario «Techno») auch die Auswirkungen eines gestiegenen Umweltbewusstseins (Szenario «Ecolo») sowie einer Kombination beider Szenarien (Szenario «Combo») auf alle Wirtschaftszweige und die Gesellschaft untersucht.

Das Szenario «Techno» umfasst eine Technologisierung in Form einer Digitalisierung, Automatisierung und Robotisierung, welche sich nicht ausschliesslich auf den Mobilitätssektor beschränkt. Dies stellt einen ersten methodischen Unterschied zu dieser Arbeit dar. Im Techno-Szenario entwickeln sich Digitalisierung und Automatisierung schnell zur Norm. Allerdings unterscheidet sich die Durchdringung in den einzelnen Wirtschaftszweigen, sodass von keiner vollständigen Technologisierung im Sinne der aufgestellten Eck-Szenarien dieser Arbeit gesprochen werden kann. Statt einer nahezu 100%igen Durchdringung von Digitalisierung und Automatisierung wird in den Branchenszenarien 2060 lediglich eine teils sehr starke Ausprägung angenommen. Angaben zu konkreten Ausprägungen werden hierbei nicht geliefert. Die technologische Entwicklung umfasst die Digitalisierung der gesamten Wirtschaft und speziell die Auto-

⁴⁴ In der Modellanalyse ist ein fixes Arbeitsangebot der Haushalte unterstellt.

matisierung/Robotisierung der Hightech-Industrie. Die methodischen Annahmen der Branchenszenarien 2060 sind folglich branchenübergreifender als die Szenarien «Automatisierung» bzw. «Sharing» dieser Arbeit, da alle Wirtschaftsbereiche betrachtet und analysiert werden. Allerdings werden die Annahmen des betrachteten Techno-Szenarios weitaus weniger konkret festgelegt als in den Eckszenarien dieser Arbeit. Während im Rahmen dieser Arbeit im Szenario «Automatisierung» mit einer 80–100%igen Automatisierung der Fahrzeuge gerechnet wird, ist solch eine konkrete Annahme in den Branchenszenarien nicht enthalten. Der technologische Fortschritt betrifft hierbei vor allem Produktionsstrukturen und nicht explizit Fahrzeuge. Zusammenfassend liesse sich somit sagen, dass die Branchenszenarien ein breiteres (Branchen-)Spektrum abdecken, jedoch in der Formulierung der Annahmen auf präzise Ausprägungswerte verzichten. Im Rahmen dieser Arbeit wird hingegen ein Ausschnitt der gesamten Wirtschaft (Mobilitätsbranchen) auf Basis detaillierterer Annahmen analysiert.

Es gibt jedoch auch Gemeinsamkeiten und übereinstimmende Ergebnisse beider Analysen. So gehen beide Arbeiten von Mehrinvestitionen auf privater, wirtschaftlicher und staatlicher Seite aufgrund des technologischen Fortschritts aus. Was den privaten Konsum betrifft, so ist die Wachstumsrate im Technologie-Szenario der Branchenszenarien 2060 mittelfristig (2021–2028) niedrig, da die Ersparnis durch den Anstieg der Investitionen zunimmt. Langfristig (2028–2060) ermöglicht die mittelfristig höhere Kapitalakkumulation jedoch ein höheres Wachstum des privaten Konsums im Technologie-Szenario. Der internationale Handel nimmt im Technologie-Szenario aufgrund niedrigerer Produktions- und Transportkosten und des Wirtschaftswachstums im Ausland zu. Die Haushalte haben eine zunehmende Vorliebe für mit dem Internet verbundene Gegenstände, was zu einer Verschiebung ihrer Präferenzen hin zu Hightech-Produkten und damit verbundenen Dienstleistungen führt. Es kommt allgemein zu einer starken technologischen Ausrichtung zugunsten des Kapitals in den Bereichen Industrie, Telekommunikation, IT und Transport sowie einer stärkeren technologischen Ausrichtung in der Landwirtschaft.

Die Beschäftigung in VZÄ nimmt in den Branchenszenarien 2060 im Techno-Szenario zwischen 2018 und 2060 in den Branchen Metallverarbeitung, pharmazeutische und chemische Erzeugnisse, Bauwesen sowie im verarbeitenden Gewerbe stark zu (zwischen 10.8 % und 40.4 %). Die Beschäftigung in VZÄ in der Branche Transport sinkt hingegen um 21.4 % bis 2060 im Vergleich zum Jahr 2018. Im Referenzszenario beträgt die Veränderung der Beschäftigung in VZÄ zwischen 2018 und 2060 hingegen +2.3 %. Die Entwicklung der VZÄ dieser Analyse im Transportsektor fällt mit -21.1 % bis -74.9 % bis 2060 im Vergleich zum Referenzszenario stark negativ aus. Gesamtwirtschaftlich wird in den Branchenszenarien 2060 von einer nahezu kon-

stant bleibenden Beschäftigung ausgegangen (mittelfristig +0.01 % und langfristig +0.04 % jährlich). Der teils starke Beschäftigungsrückgang einiger Branchen kann somit von anderen Branchen mit starkem Beschäftigungszuwachs überkompensiert werden.

Bezüglich der Wertschöpfung ist im Techno-Szenario der Branchenszenarien 2060 gesamtwirtschaftlich mit einem höheren Wert als im Basisszenario zu rechnen. Dies ist vor allem auf erhöhte Investitionen infolge der Beschleunigung der technologischen Entwicklung zurückzuführen. Für die Branche Transport wird im Techno-Szenario mit einem Wertschöpfungszuwachs von insgesamt 4 % bis 2060 im Vergleich zum Jahr 2018 gerechnet. Im Referenzszenario beträgt der Wertschöpfungszuwachs zwischen 2018 und 2060 in der Transportbranche 52.4 %. Das Techno-Szenario weist somit einen starken Wertschöpfungsrückgang auf. Dies steht im Einklang zur Wertschöpfungsabnahme, welche im Rahmen dieser Analyse für die Transportbranche im Vergleich zum Referenzszenario bestimmt wurde.

8.2.2. Szenario 2 – Sharing

Im Szenario «Sharing» verliert der Besitz von Fahrzeugen stark an Bedeutung. Fahrten und Ressourcen werden überwiegend geteilt. Dies trifft auf den Personen- und Güterverkehr gleichermaßen zu. Die Automatisierung spielt in diesem Szenario kaum eine Rolle. Die verkehrlichen Wirkungen des Szenarios 2 sind für den Personenverkehr in Kapitel 6.2.1 und für den Güterverkehr in Kapitel 6.3.1 beschrieben. Genauere verkehrliche Ergebnisse sind in den weiteren Kapiteln des Kapitels 6 dargelegt.

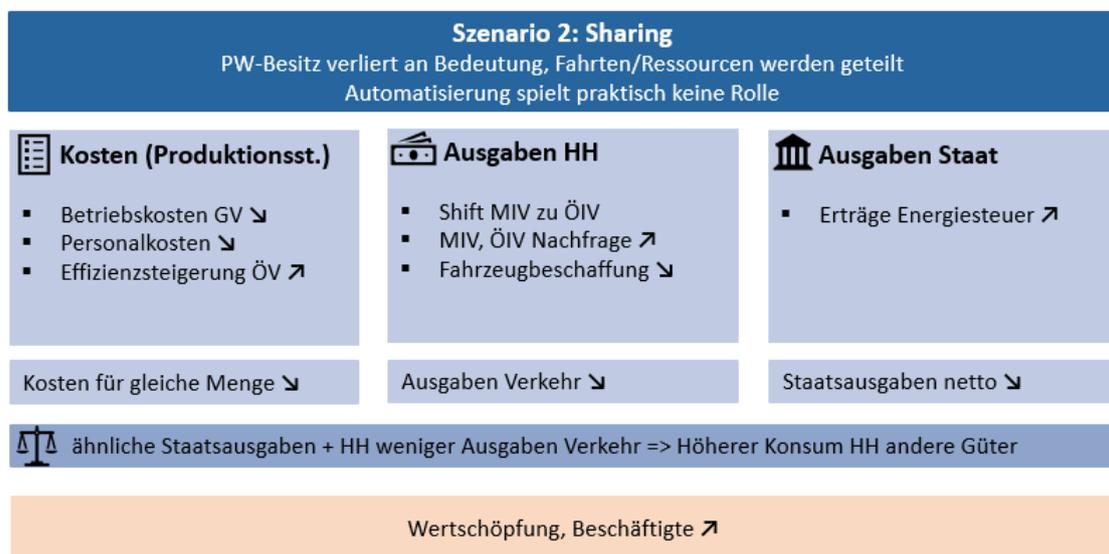
Im Szenario «Sharing» gibt es speziell eine Angebotsform des ÖV bzw. eine Branche, welche stark an Bedeutung gewinnt, den öffentlichen Individualverkehr (ÖIV). Im ÖIV werden bedarfsgerechte Fahrten geteilt. Dies kann Angebote des Ride-Pooling (eher kommerziell) oder Ride-Sharing bzw. Car-Pooling (eher privat) umfassen (vgl. Abbildung 16 in Kap. 3.2.2). Wir gehen davon aus, dass der ÖIV die Taxibranche weitgehend verdrängt. Für den ÖIV treffen wir die Annahme, dass dieser mehrheitlich kommerziell betrieben wird (Ride-Pooling). Der Rest ist Ride-Sharing, bei dem es keinen Bedarf von Fahrpersonal gibt. Für die Analyse der Produktions- und Kostenstruktur des ÖIV ist dies relevant. Durch das Teilen von Ressourcen ändert sich die Art, wie die Unternehmen Mobilitätsdienstleistungen produzieren. Insbesondere im Güterverkehr können Unternehmen durch das Teilen von Ressourcen Betriebskosten einsparen und benötigen weniger Personal, da sie ihre Transporteinheiten besser auslasten können. Diese Veränderungen in der Kostenstruktur der Unternehmen resultieren im Szenario «Sharing» in geringeren Produktionskosten pro angebotener Mobilitätseinheit (Personenkilometer, Tonnenkilometer) für den gleichen Output.

Im Szenario «Sharing» kommt es zu einer bedeutenden Abnahme des privaten, individuellen MIV zu Gunsten des neuen Segments ÖIV. In der Summe der beiden Branchen nimmt die

Verkehrsnachfrage aber nur geringfügig zu. Da der ÖIV günstiger ist als der MIV, sinken die Ausgaben der Haushalte für die bisher nachgefragte Mobilität (insbesondere für die Fahrzeugbeschaffung). Weil die Mobilitätspreise im ÖIV aber tiefer liegen als im MIV im Referenzszenario, ergibt sich eine leichte Ausdehnung der Mobilitätsnachfrage. Dies führt zu etwas höheren Erträgen aus der Energiesteuer (heute: Mineralölsteuer), wodurch sich die Staatseinnahmen ebenfalls leicht erhöhen.

Insgesamt müssen die Haushalte somit weniger Ausgaben für mindestens gleich gute Mobilitätsleistungen aufwenden und können unter der Annahme eines gleichbleibenden Budgets dadurch mehr andere Güter konsumieren. Da insbesondere eine starke Reduktion der importintensiven Fahrzeugnachfrage resultiert und die anderen Güter eine höhere Wertschöpfungstiefe ausweisen, ist dieses Szenario mit einer höheren Wertschöpfung und Beschäftigung verbunden als die Referenz.

Abbildung 79: Wirkungskette Sharing (Szenario 2)



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen und Schätzungen.

Die absolute und relative Veränderung von Wertschöpfung und Beschäftigung auf Ebene der Gesamtwirtschaft im Jahr 2060 im Vergleich zum Referenzszenario sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 56: Szenario 2 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0

	Absolut 2060	Δ Szenario 0	CH heute absolut
Reale Wertschöpfung (Mrd. CHF)	1'084	+0.4 %	ca. 700
Beschäftigung (VZÄ)	4'470'000	+0.3 % (+12'000)	ca. 4'000'000

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Mit Blick auf die Auswirkungen auf einzelne Branchen sind folgende Veränderungen hervorzuheben:

Branchen mit der grössten Zunahme von Wertschöpfung und Beschäftigten:

- Die Branche ÖIV erfährt eine starke Zunahme durch die Verlagerung weg vom MIV zum ÖIV, weil der Besitz von Autos in diesem Szenario an Bedeutung verliert und Fahrten vermehrt geteilt werden.

Branchen mit der grössten Abnahme von Wertschöpfung und Beschäftigten:

- Durch das vermehrte Teilen von Fahrten steigt die Auslastung der Fahrzeuge. Auch nimmt der Fahrzeugbestand ab. Dies führt zu Einbussen für die Branche Fahrzeugvertrieb.
- Durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen erfährt der Güterverkehr auf der Strasse eine Effizienzsteigerung. Zudem sinkt die Nachfrage im Güterverkehr auf der Strasse, was zu einer Reduktion der Wertschöpfung und der Beschäftigung dieser Branche führt.
- Auch der Güterverkehr auf der Schiene gewinnt durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen an Effizienz. Dies führt somit zu einer Abnahme der Wertschöpfung und der Beschäftigten.

Zusammengefasst kommt es im Szenario «Sharing» zu einer starken Bedeutungszunahme der Branche ÖIV. Zudem werden Ressourcen effizienter genutzt und die Mobilität wird günstiger. In der Summe geben die Haushalte aber weniger für mindestens gleich viel Mobilitätsdienstleistungen aus wie im Referenz-Szenario. Das eingesparte Geld kann für Güter ausgegeben werden mit einer höheren Wertschöpfungstiefe in der Schweiz. Schlussendlich resultieren eine etwas höhere Wertschöpfung und Anzahl Beschäftigter wie in der Referenz.

8.2.3. Szenario 3 – Servicewelt

Das Szenario «Servicewelt» ist eine Kombination aus den Szenarien «Automatisierung» und «Sharing». Fahrzeuge befinden sich nur noch zu kleinen Anteilen in Privatbesitz und auch Fahrten und Ressourcen werden geteilt. Gleichzeitig sind alle Fahrzeuge im Güterverkehr und im Personenverkehr hochautomatisiert. Das Szenario ist somit eine Kombination der Effekte der

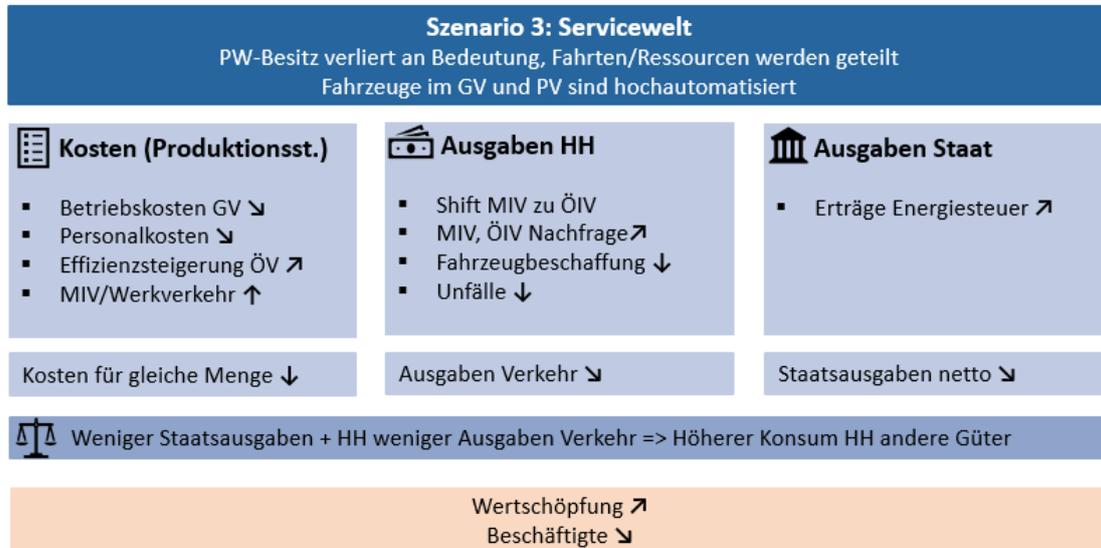
ersten beiden Szenarien. Die verkehrlichen Wirkungen des Szenarios sind für den Personenverkehr in Kapitel 6.2.1 und für den Güterverkehr in Kapitel 6.3.1 beschrieben. Genauere verkehrliche Ergebnisse sind in den weiteren Kapiteln des Kapitels 6 dargelegt.

Durch das Teilen von Ressourcen und die Reduktion von Personal durch die Automatisierung verzeichnen die Unternehmen im Güterverkehr und im ÖV eine hohe Effizienzsteigerung. Die Kosten, die anfallen, um eine gleichbleibende Menge zu produzieren, sinken. Dies führt dazu, dass Haushalte für gleiche Mobilitätsdienstleistungen weniger bezahlen müssen. Das eingesparte können sie für mehr Konsum anderer Güter verwenden (analog zu Szenario 2). Das führt zu einer Wertschöpfungszunahme im Vergleich zur Referenzentwicklung.

Im Szenario «Servicewelt» werden mehr Fahrzeuge geteilt als im Szenario «Sharing», somit sind noch weniger Fahrzeuge notwendig. Durch neue Nutzergruppen steigt die Nachfrage im MIV (inklusive ÖIV). Durch die Ausweitung der Mobilitätsnachfrage steigen auch in diesem Szenario die Einnahmen für den Staat aus der Energiesteuer (heute: Mineralölsteuer). Durch die Automatisierung sinkt die Anzahl der Unfälle, wodurch die Ausgaben der Haushalte für Gesundheitskosten und Versicherung reduziert werden. Die tiefere Fahrzeugnachfrage kompensiert die Mehrausgaben durch die höhere Mobilitätsnachfrage, wodurch total die Ausgaben der Haushalte für die Mobilität sinken.

Durch die starke Effizienzsteigerung aufgrund der Kombination der Automatisierungspotenziale und der effizienteren Nutzung von Ressourcen durch Sharing ist die Anzahl der Beschäftigten im Verkehr im Szenario «Servicewelt» kleiner als in der Referenz. Die Haushalte können das nicht mehr für Mobilitätsausgaben – diese sind ja günstiger geworden in der «Servicewelt» – benötigte Einkommen für andere Güter einsetzen. Da diese eine im Durchschnitt geringere Beschäftigungsintensität aufweisen als die Verkehrssektoren, liegt die Beschäftigung insgesamt etwas tiefer als in der Referenz. Weil der stark steigende ÖIV im Vergleich zum MIV weniger importintensiv ist und weniger Fahrzeuge benötigt werden, steigen im Unterschied zum Automatisierungs-Szenario die Importe nur leicht an und die Wertschöpfung der Schweiz insgesamt zeigt sich im Vergleich zur Referenz leicht höher.

Abbildung 80: Wirkungskette Servicewelt (Szenario 3)



Grafik INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnungen und Schätzungen.

In der folgenden Tabelle sind die absoluten und relativen Veränderungen im Szenario «Servicewelt» im Jahr 2060 im Vergleich zur Referenz dargestellt.

Tabelle 57: Szenario 3 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0

	Absolut 2060	Δ Szenario 0	CH heute absolut
Reale Wertschöpfung (Mrd. CHF)	1'083	+0.3 %	ca. 700
Beschäftigung (VZÄ)	4'398'000	-1.4 % (-60'000)	ca. 4'000'000

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Für das Szenario «Servicewelt» – analog zum Szenario «Automatisierung» – haben wir getestet, welchen Einfluss zusätzliche Ausgaben für eine smarte Infrastruktur (5 % bis 10 % Mehrausgaben) hätte. Auch im Szenario «Servicewelt» sind die Auswirkungen der zusätzlichen Staatsausgaben auf Wertschöpfung und Beschäftigung vernachlässigbar.

Auf Branchenebene sind folgende Veränderungen speziell herauszuheben.

Branchen mit der grössten Zunahme von Wertschöpfung und Beschäftigten:

- Der ÖIV gewinnt in diesem Szenario stark an Bedeutung. Die Zunahme der Nachfrage kompensiert die Reduktion der Arbeitskosten, weil nun auch im Ride-Sharing und -pooling keine FahrerInnen mehr benötigt werden.
- Die Nachfrage insgesamt nach dem MIV und ÖIV steigt, was zu einer Zunahme des Treibstoffbedarfs führt.

Branchen mit der grössten Abnahme von Wertschöpfung und Beschäftigten:

- Der Güterverkehr erfährt eine starke Effizienzsteigerung durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und die Nutzung von Automatisierungspotenzialen, zum Beispiel das Wegfallen von FahrerInnen.
- Durch die Vernetzung der Angebote und die Reduktion der Personalkosten kann der ÖV seine Effizienz steigern.
- Durch das vermehrte Teilen von Fahrten steigt die Auslastung der Fahrzeuge und der Fahrzeugbestand nimmt ab. Dies führt zu Einbussen für die Branche Fahrzeugvertrieb.

Zusammengefasst ist das Szenario «Servicewelt» eine Kombination aus den Szenarien «Sharing» und «Automatisierung» und kombiniert die beiden Effizienzsteigerungs-Kanäle auf eine volkswirtschaftlich ideale Art, in der die Nutzen der Digitalisierung genutzt und die Nachteile einer starken Fahrleistungszunahme mit gleichzeitig sinkendem Auslastungsgrad und sinkender Durchschnittsgeschwindigkeit – wie im Szenario «Automatisierung» der Fall – vermieden werden. Die Fahrzeugnutzung und Fahrten finden geteilt und automatisiert statt. Dies führt im Vergleich der drei Eckszenarien zur höchsten Effizienzsteigerung in der Mobilität. Dies resultiert in einer tieferen Beschäftigtenzahl im Vergleich zur Referenz. Die Wertschöpfung ist im Vergleich zur Referenz leicht höher. Dies wird von einem Wohlfahrtszuwachs begleitet, weil die Haushalte in der Schweiz wegen der günstigeren (effizienter hergestellten) Mobilität ein grösseres Güterbündel konsumieren können.

8.2.4. Fazit der gesamtwirtschaftlichen Effekten auf Wertschöpfung und Beschäftigung

Die aggregierten Ergebnisse zu realen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten der drei Digitalisierungs-Eckszenarien und der Vergleich mit der Referenzentwicklung werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Die nachfolgenden Unterkapitel zeigen danach separat für jedes Szenario einzeln und im Detail die wirkenden Impulse und die resultierenden Effekte für 2060. Die Effekte je Eckszenario gelten immer für das Jahr 2060 und im Vergleich zur Referenz.

Für die drei Szenarien resultieren folgende Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigte im Vergleich zur Referenz 2060:

Tabelle 58: Übersicht der gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse (Veränderung zum Referenzszenario 2060)

2060, Δ Referenz	Szenario 1 Automatisierung	Szenario 2 Sharing	Szenario 3 Servicewelt
Wertschöpfung	↘	↗	↗
Beschäftigung (VZÄ)	↘	↗	↘

VZÄ: Vollzeitäquivalent.

Legende Pfeile: ↗ leichte Zunahme, ↘ leichte Abnahme.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Im Szenario «Automatisierung» sinken Wertschöpfung und Beschäftigung im Vergleich zur Referenz aufgrund der hohen Effizienzsteigerung im Verkehr, welche vor allem aufgrund der Reduktion der Personalkosten resultiert. Durch den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen ist im Güterverkehr und im ÖV weniger Personal notwendig. Dank der Effizienzsteigerung im Verkehr wird eine Mobilitätseinheit günstiger. Die Verkehrsleistung steigt deshalb und aufgrund der Tatsache, dass neue Nutzergruppen (Personen ohne Führerausweis) erschlossen werden, stark an. Der Nutzen der Haushalte fällt in diesem Szenario höher aus als in der Referenzentwicklung. Die Wertschöpfung und Beschäftigung ist jedoch tiefer, da die durchschnittliche Importintensität ansteigt.

Im Szenario «**Sharing**» sind die Wertschöpfung und Beschäftigung im Vergleich zur Referenz leicht höher. Dank Sharing sinken die Ausgaben für dieselben Mobilitätsdienstleistungen aufgrund der Effizienzsteigerungen im Personen- und leicht im Güterverkehr (höhere Auslastung). Im Personenverkehr kommt der Durchdringung des ÖIV und der damit höheren Auslastung von Fahrzeugen eine zentrale Bedeutung zu. Der Fahrzeugverkauf – importintensive Branche – verliert an Bedeutung. Die Haushalte setzen die Einsparung für den Konsum anderer Güter, welche eine höhere Wertschöpfungstiefe in der Schweiz haben, ein. Deshalb ergibt sich in der Summe eine leicht höhere Wertschöpfung und Beschäftigung als in der Referenz.

Im Szenario «**Servicewelt**» nimmt die Wertschöpfung im Vergleich zur Referenz leicht zu und die Anzahl Beschäftigte ab. Das dritte Szenario stellt eine Kombination der beiden ersten Szenarien dar. Die Abnahme der Beschäftigten ist auch hier insbesondere auf die Effizienzsteigerung zurückzuführen, welche sich aus den Einsparungen bei den Personalkosten in den Verkehrsbranchen ergeben aufgrund der Automatisierung und der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen.

Die folgenden Tabelle 59 und Tabelle 60 zeigen die Veränderungen der Wertschöpfung sowie der Beschäftigung bei den Verkehrsbranchen direkt und den verkehrsnahen Sektoren je Eckszenario im Vergleich zur Referenz. Die Farben und Pfeile zeigen die Richtung und Intensität

der Veränderung, wobei grün einen Zuwachs, rot einen Rückgang und weiss keine Veränderung der Wertschöpfung resp. der Beschäftigung der jeweiligen Branche bedeutet.

Tabelle 59: Veränderung der Wertschöpfung verkehrsnaher Branchen 2060 im Vergleich zur Referenz

Branchen (NOGA); 2060, Abweichung zu Referenz	Szenario 1 Automat.		Szenario 2 Sharing		Szenario 3 Servicewelt	
ÖV (Öffentlicher Verkehr) (Sonstiger Personenlandverkehr ohne Taxis 4931 und Personenbeförderung im Eisenbahnfernverkehr 491)	-18.3 %	↓	-4.2 %	↘	-24.8 %	↓
GVStr Güterverkehr Strasse (Güterbeförderung im Strassenverkehr 4941)	-36.8 %	↓	-23.4 %	↓	-55.1 %	↓
GVSc Güterverkehr Schiene (Güterbeförderung im Eisenbahnverkehr 4920)	-79.0 %	↓	-1.4 %	↘	-79.2 %	↓
ÖIV (Öffentlicher Individualverkehr) (im Szenario 1 noch reine NOGA Branche Betrieb Taxis 4932)	-46.3 %	↓	+119.3 %	↑	+41.4 %	↑
Treibstoffe* (Detailhandel mit Motorenkraftstoffen (Tankstellen) 473, Mineralölverarbeitung 1920)	+12.4 %	↑	+1.6 %	↗	+10.1 %	↑
Fahrzeugherstellung* (Herstellung von Automobilen und Automobilteilen 29)	+33.1 %	↑	-15.0 %	↓	-14.9 %	↓
Verkauf und Reparatur (MIV) (Handel mit Automobilen bis 3.5 t 4511, Instandhaltung und Reparatur von Automobilen 452)	+15.1 %	↑	-10.1 %	↓	-13.7 %	↓
Verkauf Reparatur (GV, ÖV) (Handel mit Automobilen über 3.5t 4519)	-10.6 %	↓	-0.7 %	↘	-10.8 %	↓
Versicherung (651)	+1.9 %	↗	-1.7 %	↘	-1.7 %	↘
Gesundheitswesen (86)	-0.2 %	→	+1.7 %	↗	-0.4 %	↘

*Importintensive Branchen.

Legende Pfeile: ↑ starke Zunahme, ↗ leichte Zunahme, → unverändert, ↘ leichte Abnahme, ↓ starke Abnahme.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Tabelle 60: Veränderung der Beschäftigten verkehrsnaher Branchen 2060 im Vergleich zur Referenz

Branchen (NOGA); 2060, Abweichung zu Referenz	Szenario 1 Automat.		Szenario 2 Sharing		Szenario 3 Servicewelt	
ÖV (Öffentlicher Verkehr) (Sonstiger Personenlandverkehr ohne Taxis 4931 und Personenbeförderung im Eisenbahnfernverkehr 491)	-21.1 %	↓	-4.2 %	↘	-49.6 %	↓
GVStr Güterverkehr Strasse (Güterbeförderung im Strassenverkehr 4941)	-49.3 %	↓	-25.5 %	↓	-93.3 %	↓
GVSc Güterverkehr Schiene (Güterbeförderung im Eisenbahnverkehr 4920)	-74.9 %	↓	+1.1 %	↗	-94.0 %	↓
ÖIV (Öffentlicher Individualverkehr) (im Szenario 1 noch reine NOGA Branche Betrieb Taxis 4932)	-70.8 %	↓	+103.9 %	↑	-91.7 %	↓
Treibstoffe* (Detailhandel mit Motorenkraftstoffen (Tankstellen) 473, Mineralölverarbeitung 1920),	+7.6 %	↗	+1.6 %	↗	+1.1 %	↗
Fahrzeugherstellung* (Herstellung von Automobilen und Automobilteilen 29)	+33.0 %	↑	-15.0 %	↓	-15.0 %	↓
Verkauf und Reparatur (MIV) (Handel mit Automobilen bis 3.5 t 4511, Instandhaltung und Reparatur von Automobilen 452)	+15.0 %	↑	-10.1 %	↓	-14.2 %	↓
Verkauf Reparatur (GV, ÖV) (Handel mit Automobilen über 3.5 t 4519)	-12.5 %	↓	-0.7 %	↘	-23.7 %	↓
Versicherung (651)	+1.7 %	↗	-1.7 %	↘	-2.3 %	↘
Gesundheitswesen (86)	-0.2 %	→	+1.7 %	↗	-0.4 %	↘

*Importintensive Branchen.

Legende Pfeile: ↑ starke Zunahme, ↗ leichte Zunahme, → unverändert, ↘ leichte Abnahme, ↓ starke Abnahme.

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Folgende Effekte sind auf Ebene der verkehrsnahen Branchen zu beobachten:

- Die Branche **ÖV** verliert im Vergleich zum MIV durch die Automatisierung wertschöpfungsseitig an Bedeutung. Zudem steigert der ÖV seine Effizienz, vor allem aufgrund der geringeren Personalkosten. Auch in den Szenarien «Sharing» und «Servicewelt» verliert die Branche ÖV an volkswirtschaftlicher Bedeutung. Dies ist auf eine gesteigerte Effizienz und eine starke Verlagerung der Nachfrage auf den ÖIV zurückzuführen.
- Die Wertschöpfung im **Güterverkehr** (Strasse und Schiene) nimmt in allen Szenarien ab. Die Nachfrage nach Güterverkehr bleibt in allen Szenarien etwa gleich, wobei der Güterverkehr wegen abnehmender Personalkosten zu geringeren Kosten produzieren kann.

- Im Automatisierungsszenario sind auch in der **Taxibranche** keine FahrzeuglenkerInnen mehr notwendig, wodurch die Wertschöpfung im Vergleich zur Referenz sinkt. Der ÖIV als neue Verkehrsbranche, welche die Verkehrsleistung aller selbstfahrenden Fahrzeuge umfasst, spielt im Automatisierungsszenario noch keine Rolle (und umfasst in dem Szenario Taxis und Reisebusse), in den Szenarien «Sharing» und «Servicewelt» gewinnt der ÖIV aber stark an Bedeutung und löst zu grossen Teilen den MIV ab.
- Die Nachfrage nach **Treibstoffen** (fossile Brennstoffe und Strom) steigt in allen Eckszenarien an, da die Nachfrage nach MIV/ÖIV von wenig bis stark zunimmt.
- Die Branchen **Fahrzeugherstellung** und **Fahrzeugverkauf** legen im Szenario «Automatisierung» an Wertschöpfung zu, da die Nachfrage nach MIV/ÖIV und somit auch die Nachfrage nach Fahrzeugen zunimmt und automatisierte Fahrzeuge in der Anschaffung teurer sind als herkömmliche Fahrzeuge. In den Szenarien «Sharing» und «Servicewelt» werden Fahrzeuge geteilt, wodurch weniger Fahrzeuge notwendig sind als in der Referenz und somit auch die Wertschöpfung und Beschäftigung der Fahrzeugherstellung und des -verkaufs tiefer ausfällt als in der Referenz.
- In der **Reparaturbranche** für den **MIV** (inklusive ÖIV) gelten die gleichen Effekte wie in der Treibstoffbranche.
- Die Branche **Reparatur** für Fahrzeuge im **Güterverkehr** und **ÖV** verliert in den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» an Wertschöpfung, da automatisierte Fahrzeuge weniger Reparaturleistungen benötigen als konventionelle Fahrzeuge. Auch im Szenario «Sharing» fallen durch das Teilen von Ressourcen in der Summe weniger Reparaturen an, obwohl sich bei intensiverer Nutzung je Fahrzeug leicht höhere Reparaturkosten ergeben können.
- Die **Versicherungsbranche** verzeichnet im Automatisierungsszenario eine leicht höhere Wertschöpfung, weil die starke Mehrnachfrage nach MIV die sinkenden Umsätze durch die geringere Unfallrate überkompensiert. In der «Servicewelt» ist dies nicht der Fall, da die Mehrnachfrage nach MIV geringer ausfällt und somit die sinkenden Umsätze durch die geringere Unfallrate nicht überkompensieren kann. Im Szenario «Sharing» ist keine Veränderung bei der Versicherungsbranche zu verzeichnen.
- Die Branche **Gesundheit** weist in keinem der drei Szenarien eine nennenswerte Veränderung der Wertschöpfung auf, obwohl die Heilungskosten wegen Unfällen abnehmen in Szenario 1 und 3. Gemessen an der Summe der Gesundheitsdienstleistungen ist der Effekt aber gering.

Eine genauere Analyse und Beschreibung der Effekte je Szenario folgt in den nächsten drei Unterkapiteln. Für jedes Szenario folgt zuerst die Darstellung der Wirkungskette, danach folgen die Effekte auf Ebene der Gesamtwirtschaft und die Effekte auf die einzelnen Branchen.

8.3. Übersicht der volkswirtschaftlichen Analyse auf nationaler und Branchen-Ebene

In diesem Kapitel werden die Gesamteffekte der zuvor einzeln betrachteten Eckszenarien «Automatisierung», «Sharing» und «Servicewelt» zusammen dargestellt und verglichen (meso- und makroökonomische Ebene).

Beginnend mit dem Szenario «**Automatisierung**», welches eine vollständige Automatisierung der Fahrzeuge bis zum Jahr 2060 ohne geteilte Nutzung von Fahrten, Fahrzeugen und Ressourcen vorsieht, lassen sich negative Auswirkungen sowohl auf die Wertschöpfung als auch auf die Beschäftigung erkennen. Die Umsetzung dieses Szenarios führt im Jahr 2060 im Vergleich zum Referenzszenario (das von keiner nennenswerten Durchdringung hochautomatisierter Fahrzeuge ausgeht) zu einer um 0.8 % niedrigeren Wertschöpfung. Dies entspricht einem Rückgang um gut 8 Mrd. Schweizer Franken. Auf die Gesamtbeschäftigung wirkt sich das Szenario «Automatisierung» in Form eines Rückgangs der VZÄ um 1.3 % aus, was einem Beschäftigungsabbau um etwa 55'000 VZÄ entspricht. Sowohl auf die Wertschöpfung als auch auf die Beschäftigung hat das Szenario «Automatisierung» somit einen stark negativen Einfluss, obwohl die Automatisierung an sich eine Effizienzsteigerung in der Produktion von Mobilitätsdienstleistungen mit sich bringt. Die negativen gesamtwirtschaftlichen Wirkungen ergeben sich daraus, dass die starke Zunahme der Verkehrsnachfrage im MIV – aufgrund von Kindern und älteren Personen als neuen Nutzergruppen – die Importe nach automatisierten (und damit teureren) Fahrzeugen und Treibstoffen erheblich steigert. Dies mindert die Wertschöpfung und Beschäftigung im Inland.

Das Szenario «**Sharing**», welches überwiegend von einem Teilen der Fahrten, Fahrzeuge und Ressourcen ausgeht und explizit keine Automatisierung der Fahrzeuge unterstellt, hat vergleichsweise geringe Auswirkungen auf die Wertschöpfung und die Beschäftigung im Vergleich zum Referenzszenario. So ist von einem Zuwachs der Wertschöpfung um 4 Mrd. Schweizer Franken und einer leicht höheren Beschäftigung auszugehen. Im Vergleich zum Szenario «Automatisierung» sind die volkswirtschaftlichen Effekte bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung somit sehr gering. Hinter dem Szenario «Sharing» steht aber ebenfalls eine erhebliche Produktivitätssteigerung in der Mobilität, die volkswirtschaftlich positiv ist. Dank der effizienteren Nutzung von Ressourcen und Fahrten müssen die Haushalte weniger für ihre Mobilitätsbedürfnisse ausgeben und können das eingesparte Einkommen für andere – in der Schweiz wertschöpfungsintensivere – Konsumgüter nutzen. Hinter der Wertschöpfungsveränderung steht ein qualitativer Nutzenzuwachs, eine Wohlfahrtserhöhung, da man sich gegenüber der Referenzentwicklung bei gleichem Einkommen ein grösseres Güterbündel leisten kann.

Das dritte Szenario «**Servicewelt**» kombiniert die Annahmen der beiden vorherigen Szenarien und geht von einer hochautomatisierten und überwiegend geteilten Mobilität aus. In der

«Servicewelt» werden die beiden Effizienzsteigerungs-Kanäle («Reduktion Personalkosten Fahrzeuglenkung» und «Ressourcen-Teilen») kombiniert. Dadurch kommen die Nutzen der Digitalisierung zum Tragen und die Nachteile aus dem Szenario «Automatisierung» in Form einer starken Fahrleistungszunahme mit gleichzeitig sinkendem Auslastungsgrad und einer sinkenden Durchschnittsgeschwindigkeit werden vermieden. Im Szenario «Servicewelt» kommt es sogar zu einer Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit. Das Szenario «Servicewelt» weist die höchste Effizienzsteigerung in der Mobilität auf und führt zur stärksten Durchdringung des ÖIV.

Die Wertschöpfung in der «Servicewelt» fällt in der Schweiz im Vergleich zum Referenzszenario grösser aus. Der Beschäftigungsrückgang ist jedoch am grössten. Während die Wertschöpfung (mit +0.3 % oder 3 Mrd. Schweizer Franken) zunimmt, führt das Szenario «Servicewelt» zu einem Beschäftigungsrückgang um 1.4 % oder 60'000 VZÄ.

Der Vergleich der Gesamteffekte aller drei Szenarien zeigt, dass das Niveau der Wertschöpfung im Szenario «Automatisierung» wegen der zunehmenden Importquote mit grossem Abstand am stärksten abnimmt, während in den Szenarien «Servicewelt» und «Sharing» die Wertschöpfung grösser ist als in der Referenz. Die Beschäftigung in VZÄ nimmt im Szenario «Servicewelt» am stärksten ab, allerdings sinkt auch im Szenario «Automatisierung» die Beschäftigung deutlich. Im Szenario «Sharing» erfährt das Beschäftigungsniveau eine leichte Zunahme. Das Szenario «Automatisierung» weist somit sowohl bezüglich der Wertschöpfung als auch der Beschäftigung tiefere Werte aus als in der Referenz, auch im Szenario «Servicewelt» resultiert durch die Effizienzsteigerung ein Rückgang der Beschäftigung. Ursache dafür ist, dass die Produktion von Mobilitätsleistungen ohne Automatisierung arbeitsintensiv ist. Wenn in der Mobilität in der «Servicewelt» die Beschäftigtenzahl sinkt und die Mobilitätsdienstleistungen dadurch günstiger werden, müssen die Haushalte für die bisherige Mobilitätsmenge weniger bezahlen und können mehr von anderen Konsumgütern kaufen, also am Ende ein grösseres Güterbündel als in der Referenzsituation nachfragen. Dies entspricht einer Wohlfahrtszunahme.

Der Vergleich unserer Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus der Literaturanalyse (siehe Kap. 8.1) zeigt, dass wir bezüglich Vorzeichen zu Wertschöpfung und Beschäftigung insgesamt und bezüglich Struktur der unterschiedlichen Betroffenheit von Branchen vergleichbare Erkenntnisse aufweisen. Weil die Schweiz eine geringere Bedeutung des Fahrzeugbaus und der Treibstoffproduktion aufweist als andere in der Literatur bezüglich Digitalisierungswirkung untersuchte Länder, ergeben sich für die Schweiz in den Szenarien «Automatisierung» und «Servicewelt» über die Zunahme der Importe im Vergleich noch prägnantere Unterschiede bei Wertschöpfung und Beschäftigung. Diese sind aber gut begründbar und tragen der Branchenstruktur der Schweiz Rechnung.

Ein Unterschied zeigt sich im Vergleich der Erkenntnisse aus der Literaturanalyse mit unseren quantitativen Ergebnissen. Zum Teil erwarten andere Studien (vgl. Alonso Raposo et al.

2018 für die USA), dass die Gesamtumsätze der Elektrotechnik- und Softwarebranche im Szenario «Automatisierung» stark (+ 17 %) zunehmen. Die Studien begründen das damit, dass in selbstfahrenden Fahrzeugen das Marktpotenzial gross ist, weitere digitale Dienstleistungen für die (nun allen nicht mehr lenkenden) Nutzer zu verkaufen. Dies bedingt zum einen erhöhte Ausrüstungen an Elektrotechnik und Software in den Fahrzeugen und hohe Umsätze in entsprechenden digitalen Dienstleistungen an Bord der automatisierten Fahrzeuge. In der Schweiz sind die Fahrzeiten kürzer und somit die Potenziale für Dienstleistungen (Filme, Lerntools etc.) geringer. Zum anderen zählen wir diese Entwicklungen eigentlich nicht zu den Folgen der Digitalisierung in der Mobilität, sondern der Wirtschaft insgesamt.

In der vorliegenden Studie wurde mit der Digitalisierung eine der grossen Herausforderungen/Trends untersucht, welche die Mobilität und die Gesamtwirtschaft bis 2050 und darüber hinaus prägen dürften. Eine weitere zentrale Herausforderung, die wir in der Analyse nicht betrachtet haben, ist der Klimawandel und die angestrebte Dekarbonisierung der Volkswirtschaft, welche speziell im Verkehrsbereich noch nicht weit gediehen ist. In Zukunft werden die beiden Herausforderungen Digitalisierung und Dekarbonisierung nicht nur im Verkehr zunehmend gemeinsam zu betrachten sein. Aus Sicht der Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität auf die Volkswirtschaft Schweiz ergeben sich Chancen, dass die zum Teil negativen Auswirkungen, welche von der Digitalisierung v.a. bezüglich Beschäftigungswirkung zu erwarten sind, abgefedert werden können.

Zur Dekarbonisierung braucht es eine Antriebsumstellung von fossilen auf fossilfreie Treibstoffe. Dabei steht Strom im Vordergrund. Je höher der Anteil des im Inland produzierten Stroms aus erneuerbaren Quellen ist, desto geringer fallen in der «Servicewelt» die wirtschaftlich negativen Folgen erhöhter Treibstoffimporte aus. Weil die Dekarbonisierung im Verkehr zwingend nachfrageseitige Massnahmen im Sinne von Preissignalen braucht, damit die Mobilitätsniveaus nicht ungesteuert zunehmen, wird zusammen mit den Anstrengungen zu Dekarbonisierung auch die Mengenentwicklung der Mobilität (v.a. MIV, ÖIV) gedämpft. Somit dürften auch die negativen Effekte über die Fahrzeugimporte geringer ausfallen als in den reinen Digitalisierungs-Szenarien, wie wir sie in der vorliegenden Studie betrachtet haben. Somit dürften die Gesamtwirkungen von gleichzeitiger Wirkung von Dekarbonisierung und Digitalisierung im Verkehr bezüglich Wertschöpfung und vor allem Beschäftigung deutlich günstiger ausfallen, wenn man die beiden Herausforderungen zusammen angeht und – wo nötig – staatliche Leitplanken setzt.

Die Ergebnisse der quantitativen volkswirtschaftlichen Analyse der Digitalisierung sind im Folgenden tabellarisch aufgeführt. In Tabelle 61 werden die Effekte auf die Wertschöpfung und Beschäftigung aggregiert für die Schweiz im Vergleich der 3 Eckszenarien dargestellt.

Tabelle 61: Ergebnisse der weiteren volkswirtschaftlichen Analyse

2060, Δ Referenz	Szenario 1 Automat.	Szenario 2 Sharing	Szenario 3 Servicewelt
Wertschöpfung (Mrd. CHF)	-8.6 -0.8%	+3.8 +0.4%	+3.2 +0.3%
Beschäftigung (VZÄ)	-55'000 -1.2%	+12'000 +0.3%	-60'000 -1.4%

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

9. Synthese und Empfehlungen

Dieser Bericht untersucht die Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität im Jahr 2060 in der Schweiz. Entlang der Achsen «Technologie: Automatisierung» und «Verhalten: Sharing und Kollaboration» analysieren wir für den Personen- und Güterverkehr vier Szenarien – Szenario 0 als Referenzentwicklung und drei Eckszenarien 1–3. Die Eckszenarien – «Automatisierung», «Sharing», «Servicewelt» – haben nicht zum Ziel, möglichst realistische Zustände im Sinne von Prognosen abzubilden, sondern sollen den Raum möglicher Entwicklungen abstecken und aufzeigen.

Der Fokus des Berichts liegt auf den verkehrlichen und volkswirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität im Jahr 2060. Für die Analyse der verkehrlichen Auswirkungen kamen die UVEK-Verkehrsmodelle NPVM und die AMG zum Einsatz. Die volkswirtschaftliche Analyse erfolgt mit einem Input-Output-Modell. Für die Annahmen und die Plausibilisierung wurde eine ausführliche Analyse der nationalen und internationalen Literatur durchgeführt. Die Auswirkungen der drei Eckszenarien im Jahr 2060 werden immer im Vergleich zur Referenz 2060 ausgewiesen.

Der Trend bzw. die Entwicklung in Richtung Dekarbonisierung ist aus der vorliegenden Analyse bewusst ausgeschlossen, um die erwartbaren Wirkungen der Digitalisierung in der Mobilität zu erkennen. Der Anteil von E-Fahrzeugen ist in den Eckszenarien somit gleich hoch wie in der Referenz.

Im Folgenden fassen wir die wichtigsten verkehrlichen und volkswirtschaftlichen Auswirkungen der drei Szenarien – «Automatisierung», «Sharing», «Servicewelt» – zusammen und leiten je Szenario die daraus folgenden Chancen und Risiken her. Zum Schluss vergleichen wir die drei Szenarien und schliessen mit einem Gesamtfazit.

9.1. Szenario 1 – Automatisierung

Grundelemente

Im Szenario «Automatisierung» ist der Personen- und Güterverkehr zu einem hohen Grad automatisiert. Das aktive Lenken der Fahrzeuge oder die Anwesenheit einer Person, welche die Fahrt beaufsichtigt, ist nicht mehr nötig. Die Präferenz für die gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen oder Fahrten ist hingegen gering und gleich wie im Szenario 0 «Referenz». Die Fahrzeuge befinden sich damit überwiegend im Privatbesitz.

Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

Personenverkehr. Der Personenverkehr nimmt massiv zu. Die zusätzliche Nachfrage von neuen Nutzergruppen (Personen ohne Führerausweis, d.h. Kinder und ältere Personen) resultiert in einem höheren Verkehrsaufkommen (+2 %) und einer höheren Verkehrsleistung (+25 %). Die produktivere Nutzung der Reisezeit im MIV, die geringeren Besetzungsgrade (Zunahme von Leerfahrten) und die resultierenden längeren Wegdistanzen treiben die starke Zunahme der Fahrleistung im MIV (+50 %). Der ÖV verliert an Bedeutung, weil das Angebot der autonomen Fahrzeuge im Verhältnis zum ÖV attraktiver wird (-13 % der Verkehrsleistung). Verlagerungen hin zum MIV zeigen sich insbesondere bei Pendelwegen zur Arbeit und zur Ausbildung. Anders als beim Wegeaufkommen zeigen sich auch räumliche Unterschiede, kommt die Möglichkeit einer alternativen Zeitnutzung doch vor allem auf längeren Distanzen zum Tragen. Auch der Fuss- und Veloverkehr verliert in diesem Szenario an Bedeutung (-2 % bzw. -8 % der Verkehrsleistung).

Güterverkehr. Die Auswirkungen auf den Güterverkehr sind im Vergleich zum Personenverkehr gering. Das gesamte Güterverkehrsaufkommen verändert sich in den Szenarien 1–3 im Vergleich zur Referenz nicht. Durch die tieferen Kostensätze (u.a. Reduktion Personalkosten) und höhere Durchschnittsgeschwindigkeit im Schienengüterverkehr gewinnt dieser im Vergleich zur Strasse an Anteil (+1.9 % der Verkehrsleistung).

Volkswirtschaftliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

Im Szenario «Automatisierung» resultiert mikroökonomisch ein Zusatznutzen im Vergleich zur Referenz. Insbesondere der gewonnene Komfortgewinn im MIV trägt zu diesem höheren Nutzen bei. Die starke Erhöhung der MIV-Nachfrage ist der einzige direkte Effekt, welcher in Zusatzkosten in Form von steigenden Betriebskosten mündet. Diese Kosten werden aber durch die Zusatznutzen mehr als kompensiert.

Die Automatisierung führt zu einer Effizienzsteigerung in der Produktion – v.a. der Reduktion von Arbeitskosten durch den Wegfall der FahrerInnen – und einer Ausweitung der MIV-Nachfrage, was gesamtwirtschaftlich in einer geringeren Wertschöpfung und einer geringeren Anzahl Beschäftigter mündet als in der Referenz. Die Zunahme der MIV-Nachfrage führt zu einer zunehmenden Bedeutung von einzelnen importintensiven Branchen (Treibstoffe und Fahrzeugverkauf), wodurch die Wertschöpfungsintensität der Schweiz insgesamt etwas sinkt. Neben dem Verkauf von Treibstoffen und Fahrzeugen sind auch die Anzahl Reparaturen und Ausgaben für Versicherung im Inland höher als in der Referenz. Die Branchen Güterverkehr, ÖV und Taxigewerbe erfahren einen starken Abbau an Beschäftigten, weil für die Ausführung von Fahrten kein oder bedeutend weniger Personal notwendig ist.

Chancen/Risiken und Empfehlungen

Im Szenario «Automatisierung» resultieren verschiedene Chancen und Risiken (Tabelle 62). Das Szenario «Automatisierung» bringt starke Effizienzsteigerungen, welche mikroökonomisch in Form von tieferen Preisen bei den Haushalten/NutzerInnen ankommen, makroökonomisch zur Reduktion von Personal in den Verkehrsbranchen führen. Zudem gewinnen durch die starke Zunahme des MIV einzelne importintensive Branchen an Bedeutung, was die Wertschöpfungsintensität der Schweiz mindert. Die Chancen und Risiken sind nach Akteursgruppe in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Tabelle 62: Chancen und Risiken des Szenarios «Automatisierung» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personen ohne Führerausweis (Kinder und ältere Personen) erhalten Zugang zum MIV. ▪ Haushalte profitieren von tieferen Preisen durch die Produktivitätssteigerung v.a. im ÖV, GV und Taxigewerbe. ▪ Es resultieren Zusatznutzen durch einen Komfortgewinn im MIV (Zeit kann produktiver oder zur Unterhaltung genutzt werden). ▪ Durchschnittsgeschwindigkeiten auf der Strasse steigen. ▪ Unfälle und damit Unfallkosten können reduziert werden. ▪ Verbesserte Erreichbarkeit, insbesondere in intermediären Räumen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Zugang zur Mobilität im MIV wird teurer; Zunahme der sozialen Ungleichheit ▪ Durch die Abnahme von Fuss- und Veloverkehr sinken die Gesundheitsnutzen. ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im ÖV könnten zu einer Ausdünnung entsprechender Angebote, insbesondere in ländlichen Räumen, führen und damit die Verlagerung hin zum MIV zusätzlich forcieren. ▪ Zunahme von langen Freizeitwegen in peripheren Gegenden
Unternehmen/Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Effizienzsteigerung von Unternehmen in der Produktion (ÖV, GV, Taxigewerbe) ▪ Tiefere Produktionskosten für alle Branchen, welche Transport als Vorleistung benötigen ▪ Entwicklung neuer, innovativer Angebote und Geschäftsmodelle (z.B. zusätzliche Dienstleistungen im Fahrzeug) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufgrund der starken Zunahme des MIV gewinnen importintensive Branchen – Verkauf von Treibstoffen und Fahrzeugen – stark an Bedeutung, was zu einer Abnahme der durchschnittlichen Wertschöpfungsintensität der Schweizer Volkswirtschaft führt. ▪ Wegfall von Arbeitsplätzen in der Verkehrsbbranche
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Strassenkapazität ohne Ausbau der Infrastruktur ▪ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Widerspricht bestehenden Zielen in Klimapolitik, Biodiversität, Luftqualität und ressourcenschonender Mobilität ▪ Längere Pendelwege und möglicherweise dispersere Siedlungsentwicklung mit entsprechenden Folgen u.a. bei Infrastrukturen ▪ Möglicher finanzieller Mehrbedarf für eine intelligente Infrastruktur ▪ Reduktion der Subventionseffizienz, wenn Effizienzsteigerung via Preise weitergegeben werden und Angebot im ÖV trotz Nachfragerückgang aufrechterhalten wird

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individualverkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um die Chancen zu nutzen und die Risiken zu minimieren sind deshalb folgende Massnahmen anzudenken:

- Frühzeitige Umschulung von Personal im ÖV, GV und Taxigewerbe auf die gefragten Kompetenzen im digitalisierten Verkehr und Gesamtwirtschaft, damit diese Personen in anderen Branchen/Bereichen eingesetzt werden können (Bezug zu Risiko Unternehmen/Wirtschaft).
- Dekarbonisierung des Strassenverkehrs, damit die negativen Umweltwirkungen nicht im gleichen Masse steigen wie die Fahrleistungen im MIV und die Abhängigkeit von importintensiven Branchen sinkt (falls Wechsel auf inländischen, erneuerbaren Strom) (Bezug zu Risiko Staat/Gesellschaft).
- Lenkung der MIV-Nachfrage z.B. über eine differenzierte fahrleistungsabhängige Abgabe, damit die bestehende Infrastruktur möglichst effizient genutzt wird. Wegen des starken Mehrverkehrs im Vergleich zur Referenz braucht es im Szenario «Automatisierung» eine fahrleistungs- und zeitabhängige Bepreisung der Mobilität, um eine bessere Verteilung der Nachfrage über den Tag zu gewährleisten und das Wachstum und v.a. Leerfahrten einzudämmen. Lenkungswirkung mit Blick auf Leer- und Einzelfahrten könnte zusätzlich auch durch eine Bepreisung in Abhängigkeit des Besetzungsgrades erzielt werden (Bezug zu Risiko Staat/Gesellschaft).
- Entwicklung expliziter Strategien, die den negativen Auswirkungen einer etwaigen Zunahme von Suburbanisierungstendenzen und einer disperseren Siedlungsentwicklung entgegenwirken: Neben regionalplanerischen Konzepten sind hier vor allem Massnahmen zur Stärkung der MIV-Alternativen Fuss, Velo und ÖV zentral. Insbesondere zur Vermeidung langer MIV-Pendelwege in ländlichen und intermediären Räumen kommen hier der Sicherstellung von adäquaten Anbindungen an ÖV-Netze und flankierenden Massnahmen (Park& Ride, Ausbau von Velo-Netzen, Parkraumbewirtschaftung etc.) grosse Bedeutung zu (Bezug zu Risiko Haushalte sowie Risiko Staat/Gesellschaft). Förderung von Teilen von Fahrzeugen und Fahrten, damit der Flächenverbrauch des ruhenden Verkehrs sinkt und der Besetzungsgrad im MIV steigt (vgl. Szenarien 2 und 3). Das dadurch reduzierte Verkehrsaufkommen würde sich gesamtwirtschaftlich in höheren Wertschöpfungs- und Beschäftigtenzahlen niederschlagen (niedrige Nachfrage nach Fahrzeugen und Treibstoffen bedeutet weniger Importe und mehr inländische Wertschöpfung) (Bezug zu Risiko Staat/Gesellschaft).
- Spezialisierung der relevanten Branchen für die Produktion von Vorleistungen für den Fahrzeugbau und die ICT-basierten Elemente in den Fahrzeugen und ausserhalb. Hier könnte die öffentliche Hand entsprechende Bereiche in der Forschung und Ausbildung stärken (Bezug zu Chancen Unternehmen).

Aus ökonomischer Sicht birgt das Szenario «Automatisierung» Chancen und Risiken. Die Effizienzsteigerungen, welche die Digitalisierung in der Mobilität bringt, sind erheblich und positiv.

Mit Blick auf die Umwelt widerspricht die Ausweitung des MIV den bestehenden Zielen bezüglich Klimawandel, Biodiversität, Luftqualität und der Förderung einer effizienten und ressourcenschonenden Mobilität. Die Automatisierung von Fahrzeugen ohne Kombination mit einer Dekarbonisierung und vermehrtem Teilen von Ressourcen ist als Einzelstrategie volkswirtschaftlich nicht anzustreben.

Exkurs: Infrastruktur

Im Modell haben wir die Infrastruktur in der Ausdehnung konstant gelassen. Bezüglich der Entwicklung der Infrastruktur infolge der Digitalisierung in der Mobilität wurden alle relevanten Bundesämter befragt, jedoch gibt es bisher keine belastbaren Einschätzungen. Die Literatur zeigt zwei Meinungen: entweder es werden in etwa gleiche Infrastrukturkosten/pro Jahr erwartet (wenn ein erheblicher Teil der notwendigen Technologie in den autonomen Fahrzeugen drin ist) oder eine gewisse Erhöhung. Aus der verkehrlichen Analyse ergibt sich im Ergebnis keine Veränderung in der Infrastrukturausdehnung. In der volkswirtschaftlichen Analyse haben wir dies ebenso umgesetzt aber zudem eine Sensitivität gerechnet, wenn die Infrastrukturkosten um 5 % zunehmen würden. Die Ergebnisse der Sensitivität und der Basisrechnung unterscheiden sich wenig und führen zu denselben oben ausgeführten Einschätzungen.

Es sollte aber nicht in Vergessenheit geraten, dass wir im Zuge der Digitalisierung unserer Mobilität eine andere Infrastruktur brauchen als bisher. So muss insbesondere eine digitale Infrastruktur errichtet werden, welche auch die klassische Infrastruktur betreffen wird. Es stehen also hohe Investitionen bevor, damit die Digitalisierung im Bereich der Mobilität überhaupt Anwendung finden kann. Selbst wenn in Summe nicht *mehr* Infrastruktur benötigt werden sollte, so muss zumindest eine *andere* Infrastruktur errichtet werden.

Auch wenn die untersuchten Szenarien Eckszenarien darstellen, in denen eine hohe Durchdringung einzelner Entwicklungen angenommen wird, muss berücksichtigt werden, dass in der Transformationsphase, die immerhin über mehrere Jahre stattfinden wird, ein hoher Anteil an Mischverkehr zu erwarten ist. Auf den Verkehrswegen werden sich somit über viele Jahre sowohl vollautomatisierte als auch teilautomatisierte als auch konventionelle Fahrzeuge fortbewegen. Dies könnte einen Ausbau der Infrastruktur erfordern, um die verschiedenen Fahrzeugentwicklungsstufen räumlich voneinander trennen zu können. Unsere Analyse hat aber nicht den Zeitpfad untersucht, sondern 2060 im Vergleich zu heute.

9.2. Szenario 2 – Sharing

Grundelemente

Im Szenario «Sharing» verliert der Besitz von Autos stark an Bedeutung. Fahrten und Ressourcen werden überwiegend geteilt. Dies trifft auf den Personen- und Güterverkehr gleichermaßen zu. So werden Güter vorwiegend an Umschlagsterminals gesammelt und gebündelt transportiert. Im Personenverkehr kommt insbesondere der Durchdringung des neuen ÖIV eine zentrale Rolle zu. Der ÖIV führt sowohl zu einer Reduktion im privaten, individuellen MIV als auch im klassischen ÖV. Anbieter können sowohl kommerziell als auch nicht-kommerziell orientiert sein. Wir gehen davon aus, dass der ÖIV überwiegend kommerziell durch neue Mobilitätsanbieter (wie z.B. mybuxi) aber auch bestehende Transportunternehmen (wie z.B. Pikmi in Zürich) angeboten wird. Wir gehen somit davon aus, dass der ÖIV mehrheitlich nicht durch Privatpersonen angeboten wird und daher Ride-Pooling-Angebote überwiegen. Inwiefern solche Angebote durch die öffentliche Hand als Grundversorgung bestellt werden, wurde vorliegend nicht vertieft untersucht. Die Automatisierung hat in diesem Szenario kaum eine Bedeutung, weil es technisch nicht machbar ist oder gesellschaftlich nicht akzeptiert wird.

Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

Personenverkehr. Die heute so noch nicht existierende Verkehrsbranche ÖIV (öffentlicher Individualverkehr) gewinnt im Szenario «Sharing» stark an Bedeutung. Neue Nutzergruppen – ohne eigenes Auto – erhalten durch den ÖIV neuen Zugang zur Mobilität, wodurch das gesamte Verkehrsaufkommen um 1 % steigt. Im Vergleich zu den anderen Szenarien ist dieser Anstieg jedoch gering, somit entstehen durch die zunehmende Kollaboration wenig induzierte Fahrten. Die Zunahme des Verkehrsaufkommens wird leicht gedämpft durch den deutlich höheren Besetzungsgrad im MIV inkl. ÖIV (+25 %), welcher zu einer geringeren Anzahl Fahrzeuge und einer geringeren Fahrleistung führt. Der ÖIV würde vor allem den Anteil des privaten, individuellen MIV an der Verkehrsleistung (-20 Prozentpunkte), aber auch den des ÖV (-2 Prozentpunkte) verringern. Die Auswirkungen auf den Fuss- und Veloverkehr sind gering. Das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung im Velo- und Fussverkehr sinken leicht, da vermehrt auf den ÖIV zurückgegriffen wird. Die Durchschnittsgeschwindigkeit steigt leicht an (+2 %), da die Effizienzsteigerung durch Ride-Pooling die höhere Fahrleistung überkompensiert.

Güterverkehr. Die Auswirkungen auf den Güterverkehr sind im Vergleich zum Personenverkehr gering. Aufgrund der Kostenreduktion – durch das gemeinsame Nutzen von Ressourcen – gewinnt die Schiene im Vergleich zur Strasse an Anteil.

Volkswirtschaftliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

Aus der mikroökonomischen Analyse der Wirkungen von «Sharing» resultiert insgesamt ein Zusatznutzen. Insbesondere die geringeren Kosten für die Mobilität durch die starke Nutzung des

ÖIV und der Zusatznutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden (höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten im Stammverkehr) führen zu einem Zusatznutzen für die Verkehrsteilnehmenden im Vergleich zu Szenario 0. Im Vergleich zu den Szenarien 1 und 3 fällt der mikroökonomische Zusatznutzen im Szenario «Sharing» am geringsten aus.

Der Effizienzgewinn kommt wie in Szenario 1 gesamtwirtschaftlich über eine günstigere Mobilität zum Tragen. Das dadurch eingesparte Geld der Haushalte wird für andere Konsumgüter ausgegeben, welche wertschöpfungsintensiver sind in der Schweiz. Dies führt zu einer höheren Wertschöpfung und einer höheren Anzahl Beschäftigter als in der Referenz. Auf Ebene der einzelnen Branchen gewinnt insbesondere der ÖIV stark an Bedeutung im Vergleich zur Referenz (bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigte). Dies geht zu Lasten des ÖV, welcher dadurch an Wertschöpfung und Beschäftigten verliert. Auch das Taxigewerbe erfährt einen Strukturwandel, weil ein Teil davon vom ÖIV (Ride-Pooling, Ride-Sharing) verdrängt wird. Durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen erfährt auch der Güterverkehr auf der Strasse eine Effizienzsteigerung. Zudem sinkt der Umsatz im Strassengüterverkehr, weil zwar die transportierten Mengen stabil bleiben, aber die Transportpreise wegen des forcierten Sharing sinken. Diese Effizienzsteigerung im Strassengüterverkehr führt zu einer, im Vergleich zur Referenz, geringeren Wertschöpfung und Beschäftigung dieser Branche. Auch der Güterverkehr auf der Schiene legt durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen an Effizienz zu.

Chancen/Risiken und Empfehlungen

Die zentralen Auswirkungen im Szenario «Sharing» sind die Effizienzsteigerung durch das Teilen von Ressourcen und damit die starke Durchdringung der ÖIV. Die Mobilitätsleistungen im ÖIV werden über Plattformen vertrieben. Diese können im Prinzip von den etablierten Transportunternehmen oder jedem Unternehmen einer anderen heutigen Branche in der Schweiz oder von neuen Firmen angeboten werden. Welche Geschäftsmodelle sich im Jahr 2060 durchsetzen werden, kann beim heutigen Stand der Forschung nicht genauer skizziert werden.

Diese Auswirkungen führen zu folgenden Chancen und Risiken:

Tabelle 63: Chancen und Risiken des Szenarios «Sharing» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusatznutzen für Haushalte, u.a. aufgrund Reduktion der Mobilitätskosten kollektiver bzw. geteilter Angebote ▪ Zugang zu Mobilität für neue Nutzergruppen (autolose Personen) ▪ Zusatznutzen aufgrund der Veränderung der Bewertung der Reisezeit und verbesserte Erreichbarkeit, insbesondere in intermediären Räumen ▪ Verbesserter Anschluss an klassische ÖV-Angebote 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusatzkosten aufgrund von Unfällen und Reduktion der Gesundheits- und Umweltkosten wegen Mehrverkehr bzw. durch Rückgang der Velonutzung und von Fusswegen ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im klassischen ÖV ▪ Konzentration von Sharing-Angeboten auf wirtschaftlich interessante, städtische Gebiete; geringere flächige Verfügbarkeit vor allem in ländlichen, aber auch intermediären Räumen ▪ Umfassende Verhaltensänderung hin zu einer geteilten Mobilität statt individuellem Besitz notwendig
Unternehmen/Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizienzgewinne und somit tiefere Kosten durch Kooperation und Teilen von Ressourcen (v.a. im GV) ▪ Entwicklung neuer, innovativer Angebote und Geschäftsmodelle (neue Sharing-Angebote v.a. im ÖIV) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ablösung der Taxibranche durch den ÖIV
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizientere Nutzung der natürlichen Ressourcen Reduktion des Flächenbedarfs für den MIV, insbesondere für den ruhenden Verkehr und in städtischen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Subventionseffizienz, wenn Effizienzsteigerung via Preise weitergegeben werden und Angebot im ÖV trotz Nachfragerückgang aufrechterhalten wird ▪ Flächen- und Infrastrukturbedarf für Sharing-Angebote (Ladeinfrastruktur, Haltepunkte, Abstellmöglichkeiten und Mobilitätshubs, adäquate Fahrspuren z.B. für E-Scooter)

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individual Verkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um diese Chancen optimal zu nutzen, sollen geeignete Rahmenbedingungen für kollektive Angebote im Personenverkehr (ÖV und ÖIV) bzw. Erhöhung der Besetzungsgrade im privaten MIV geschaffen werden:

- Die öffentliche Hand setzt fördernde Rahmenbedingungen für (neue) Sharing-Angebote. Sie sorgt beispielsweise für angemessene Flächen zum Halten und Parken von geteilten Fahrzeugen (z.B. Einrichten virtueller Haltestellen), Mobility Hubs und eine adäquate Ladeinfrastruktur, damit der ÖIV sein Potenzial entfalten kann. Die Relevanz einer zumindest kommunalen Strategie für die Ausweisung geeigneter Flächen insbesondere im städtischen Raum illustrieren die momentanen Diskussionen in der Öffentlichkeit. Ein starker Zuwachs bei der Velo- oder Scooter-Nutzung setzt zudem entsprechende Wegenetze voraus. Die Einführung

separater Sharing-Fahrspreisen ist ebenfalls eine Option, wo dies machbar ist (aufgrund der Raumknappheit nicht flächendeckend einsetzbar in der Schweiz) (Bezug zu Chancen Haushalte und Unternehmen/Wirtschaft). Mit der Einführung und entsprechenden Ausgestaltung eines Mobility Pricing können finanzielle Anreize zur Unterstützung des Sharing gesetzt werden, da die Kosten pro Personenkilometer mit zunehmendem Besetzungsgrad sinken (Bezug zu Chancen alle Ebenen).

- ÖV, und multi- und intermodale Mobilität fördern: Der (klassische) ÖV könnte auf sehr schlecht ausgelasteten Linien bzw. Linienabschnitten durch bedarfsgesteuerte Verkehre des ÖIV (Ride-Pooling) ersetzt bzw. ergänzt werden, wo der Einsatz von ÖIV effizienter und effektiver umsetzbar ist. Dies kann einerseits zu Randzeiten (z.B. in den späteren Abendstunden bzw. in der Nacht) und andererseits in weniger dicht besiedelten Gebieten (ländlicher Raum) sinnvoll sein. Dies ergibt Chancen für eine Verbesserung/Ausdehnung der Grundversorgung. Hierbei ist die Frage der abgeltungsberechtigten Verkehre zu klären. Dies betrifft insbesondere auch Ride-Pooling-Angebote in der Fläche bzw. in einem bestimmten Gebiet, die regelmässige Linienverkehre ersetzen könnten. Durch Ausweitung des Angebots von kollektiven Verkehren im ÖIV kann auch die multi- und intermodale Mobilität gefördert werden. Gleichzeitig besteht das Risiko, dass sich Anbieter entsprechender Angebote auf wirtschaftlich interessante, meist städtische Gebiete konzentrieren und es in der Fläche, insbesondere in ländlichen Räumen zu einer unzureichenden Angebotsstruktur kommt. Hier sollten entsprechende Gegenstrategien, bspw. die Konzessionszuteilung in einem gemischten Los aus städtischen und weniger attraktiven Geschäftsgebieten, erwogen werden (Bezug zu Risiken Staat/Gesellschaft und Risiken Haushalte).
- Mit der Open-Data-Plattform auf Basis der Systemführerschaft Kundeninformation (SKI, Open-Data-Plattform Kundeninformation bzw. Mobilität Schweiz⁴⁵), die zur Nationalen Dateninfrastruktur Mobilität (NaDIM) weiterentwickelt wird, ist die Grundlage für den Datenaustausch und damit Integration im ÖV geschaffen. Mit der Festlegung von Normen und Standards beim Datenaustausch und insbesondere der Entwicklung standardisierter Application Programming Interface (API) ist die Basis für einen effizienten Datenaustausch gelegt. Ein Wildwuchs von unzähligen unabgestimmten Standards würde die Effizienzpotenziale mindern. Neue Angebote im ÖIV sind hierbei ebenfalls zu berücksichtigen, auch wenn für diese bisher keine Koordinationspflicht wie im konzessionierten ÖV besteht. Die öffentliche Hand kann diese Entwicklungen auch durch finanzielle Beiträge wie beispielsweise die Bestellung und Finanzierung der Systemführerschaft SKI unterstützen (Bezug zu Chancen Haushalte und Unternehmen/Wirtschaft).

⁴⁵ <https://opentransportdata.swiss/de/>.

- Multimodale Mobilitätsplattformen bedürfen der Kooperation verschiedener Marktteilnehmer. Die Kooperation sollte durch den Markt bzw. private Akteure initiiert werden. Um die Kooperation verschiedener Anbieter auch ausserhalb des ÖV zu fördern sind entsprechende Normen und Standards zu entwickeln. Hierbei kann die öffentliche Hand durch entsprechende Vorgaben zu den Normen und Standards, aber auch den auszutauschenden Daten unterstützen (vgl. vorangegangene Ausführungen) (Bezug zu Chancen Haushalte und Unternehmen/Wirtschaft).

Der Güterverkehr gewinnt durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen an Effizienz. Dies ist eine Verstärkung einer Entwicklung, die bereits heute stattfindet und mit der LSVA und diversen anderen Instrumenten unterstützt wird. Damit diese Chance weiterhin und verstärkt genutzt werden kann, muss sichergestellt werden, dass eine internationale Abstimmung stattfindet, insbesondere im internationalen Schienengüterverkehr. Hierfür braucht es auch entsprechende Infrastruktur wie z.B. Güterterminals. Auch der Güterverkehr ist auf internationale Standards zum Datenaustausch angewiesen.

Aus ökonomischer, verkehrlicher und ökologischer Sicht ist das Szenario «Sharing» ein vielversprechendes Szenario. Aus der Literatur wird jedoch ersichtlich, dass es insbesondere im Personenverkehr ungewiss ist, ob sich das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen wirklich durchsetzen wird. Insbesondere mit der Verbreitung von COVID-19 und möglicherweise künftig höherer Relevanz ähnlicher Themen hat sich dies nochmals verstärkt. Das Szenario könnte sich aus technischer Sicht auch kurzfristiger verwirklichen. Heute bestehen die technischen Voraussetzungen in Form von Plattformen und mobilen Endgeräten bereits, um im grossen Umfang geteilte Fahrten und Transportdienstleistungen durchzuführen. Dagegen sprechen aber das hohe Einkommensniveau und der sich nur langsam ändernde positive Status vom Autobesitz.

9.3. Szenario 3 - Servicewelt

Grundelemente

In der «Servicewelt» ist die Automatisierung im Personen- und Güterverkehr hoch. Gleichzeitig ist der Sharing-Gedanke weit verbreitet bzw. Kooperation, Kollaboration und Intermodalität haben eine sehr hohe Bedeutung. Im Zentrum stehen Mobilitätsdienstleistungen, welche über Plattformen vermittelt werden. Der Besitz verliert stark an Bedeutung. Fahrzeuge befinden sich nur noch zu kleinen Anteilen in Privatbesitz. Das Szenario «Servicewelt» ist eine Kombination aus den Szenarien 1 und 2. Hier kombinieren sich damit auch zwei Effizienzpotenziale, die Reduktion der Arbeitskosten und die stärkere Teilung von Ressourcen (Fahrten/Fahrzeugen).

Verkehrliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

Personenverkehr. In der «Servicewelt» nimmt die Fahrleistung aufgrund neuer Nutzergruppen zu, jedoch weniger stark als im Szenario «Automatisierung» (+18 %). Denn die Besetzungsgrade (Auslastung) sind höher als in der Referenz, weil Fahrzeuge und Fahrten geteilt werden. Insbesondere der ÖIV gewinnt in diesem Szenario stark an Bedeutung. Durch die hochautomatisierten, geteilten Fahrzeuge nimmt die Durchschnittsgeschwindigkeit in diesem Szenario am stärksten zu (+12 %). Der (klassische) ÖV verliert in diesem Szenario an Bedeutung, insbesondere der regelmässige, fahrplangebundene Linienverkehr zu Randzeiten und in weniger dicht besiedelten Gebieten. Der ÖIV als weitere kollektive Mobilitätsform ist in den Bereichen die flexiblere und günstigere Option.

Güterverkehr. Auch im Szenario «Servicewelt» sind die Änderungen im Güterverkehr geringer als im Personenverkehr. Aufgrund der Zunahme der Intermodalität, einem flüssigeren Fahrstil und Platooning steigen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten im Strassengüterverkehr (+6.3 %). Die Auslastung auf der Strasse erhöht sich. Aufgrund von Kostenreduktionen gewinnt die Schiene an Bedeutung. Das Verkehrsaufkommen insgesamt bleibt im Vergleich zur Referenz unverändert.

Volkswirtschaftliche Wirkungen im Vergleich zu Szenario 0

In der «Servicewelt» resultiert aus der Kosten-Nutzen-Analyse der grösste Zusatznutzen für die Verkehrsteilnehmenden im Vergleich aller Szenarien. Dies ist vor allem auf den Nutzen aus den schnelleren Durchschnittsgeschwindigkeiten und den Komfortgewinn zurückzuführen.

Im Szenario «Servicewelt» resultiert die höchste Effizienzsteigerung im Vergleich der drei Eckszenarien: Kombination der Effizienzsteigerung durch das Teilen von Ressourcen (Szenario 2) und Automatisierungspotenzialen, vor allem aus der Reduktion der Arbeitskosten (Szenario 1). Dies resultiert gesamtwirtschaftlich in einer tieferen Beschäftigtenzahl im Vergleich zur Referenz. Dies betrifft insbesondere die Branchen ÖV, GV und ÖIV, weil Fahrpersonal obsolet wird. Die Beschäftigungswirkung ist aber deutlich negativ, weil beide Effizienzwirkungen, die in dem Szenario kombiniert sind, das Verhältnis von Mobilitätsleistung pro Personalaufwand stark erhöhen. Die Durchdringung der geteilten, automatisierten Fahrzeuge/Fahrten führt zwar – wie im Szenario 1 – zu einer höheren Mobilitätsnachfrage, dabei handelt es sich aber mehrheitlich um die starke Durchdringung des ÖIV. Insgesamt sind die Ausgaben für die Mobilität der Haushalte jedoch tiefer als in der Referenz. Die Haushalte setzen die Einsparung für den Konsum anderer Güter, welche eine höhere Wertschöpfungstiefe in der Schweiz haben, ein. Deshalb resultiert in der Summe eine leicht höhere Wertschöpfung.

Chancen/Risiken und Empfehlungen

Die Effizienzsteigerung ist in der «Servicewelt» im Vergleich der Eckszenarien am höchsten. Dies bringt jedoch auch eine, im Vergleich zur Referenzentwicklung, geringere Beschäftigung in den Verkehrsbranchen und abgeschwächt gesamtwirtschaftlich mit sich. Daraus ergeben sich folgende Chancen und Risiken (Kombination der bereits aufgeführten Chancen und Risiken für Szenario 1 und 2):

Tabelle 64: Chancen und Risiken des Szenarios «Servicewelt» nach Akteursgruppen

	Chancen	Risiken
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergünstigung Mobilitätsangebote des Sharing (ÖV, ÖIV), verbesserter Zugang zur Mobilität auch für Personen mit geringem Einkommen und aus periphereren Gebieten ▪ Personen verschiedener Altersklassen ohne Führerausweis bzw. PW erhalten Zugang zum MIV. ▪ Zusatznutzen durch einen Komfortgewinn im MIV sowie Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf der Strasse ▪ Verbesserte Erreichbarkeit, insbesondere in intermediären Räumen ▪ Verbesserter Anschluss an klassische ÖV-Angebote ▪ Reduktion von Unfällen und damit Unfallkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachfragerückgang und damit Finanzierungsprobleme im klassischen ÖV könnten zu einer Ausdünnung entsprechender Angebote insbesondere in ländlichen Räumen führen und damit die Verlagerung hin zum MIV forcieren. ▪ Konzentration von Sharing-Angeboten auf wirtschaftlich interessante, städtische Gebiete; keine flächige Verfügbarkeit ▪ Umfassende Verhaltensänderung hin zu einer geteilten Mobilität statt individuellem Besitz notwendig ▪ Zunahme von langen Freizeitwegen in periphere Gegenden.
Unternehmen/Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Effizienzsteigerung von Transportunternehmen in der Produktion (ÖV, GV, ÖIV). ▪ Tiefere Produktionskosten für alle Branchen, welche Transport als Vorleistung benötigen. ▪ Kooperation und Kollaboration unterstützt Entwicklung innovativer Angebote und Geschäftsmodelle (z.B. für etablierte Transportunternehmen). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wegfall von Arbeitsplätzen in der Verkehrsbranche
Staat/Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Strassenkapazität ohne Ausbau der Infrastruktur ▪ Reduktion des Flächenbedarfs für den MIV, insbesondere für den ruhenden Verkehr und in städtischen Gebieten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Möglicher finanzieller Mehrbedarf für eine intelligente Infrastruktur ▪ Reduktion der Subventionseffizienz, wenn Effizienzsteigerung via Preise weitergegeben und Angebot im ÖV trotz Nachfragerückgang aufrechterhalten werden ▪ Flächen- und Infrastrukturbedarf für Sharing-Angebote (Ladeinfrastruktur, Haltepunkte, Abstellmöglichkeiten und Mobilitätshubs, geeignete Fahrspuren z.B. für E-Scooter) ▪ Höhere Gesundheits- und Umweltkosten wegen Mehrverkehr (betrifft Allgemeinheit und Haushalte)

GV: Güterverkehr, MIV: motorisierter Individualverkehr, ÖV: öffentlicher Verkehr.

Tabelle INFRAS/DLR.

Um die Chance der hohen Effizienzsteigerung in der «Servicewelt» zu nutzen und die damit einhergehenden Risiken zu minimieren, braucht es dieselben politischen Rahmenbedingungen wie

für Szenario 2 beschrieben. Dies ist zentral, um die Erhöhung der Mobilitätsnachfrage resultierend durch die Automatisierung tief zu halten. Gleichzeitig sollte das Personal im ÖV und GV frühzeitig auf die gefragten Kompetenzen im digitalisierten Verkehr und in der Gesamtwirtschaft umgeschult werden, Forschung und Ausbildung im Bereich der Vorleistungen für automatisierte Fahrzeuge und digitale Infrastruktur gestärkt und die Dekarbonisierung im Strassenverkehr gefördert werden.

Aus ökonomischer, verkehrlicher und ökologischer Sicht ist das Szenario «Servicewelt» ein im Vergleich zur Referenzentwicklung günstiges Szenario, wenn die Ausweitung der Verkehrsmenge im Vergleich zur Referenz nicht zu hoch ausfällt, weil sonst Ineffizienzen (Auslastung, Leerfahrten, Infrastrukturüberlast etc.) zunehmen und angestrebte Umweltziele verfehlt werden. Wie bereits in Szenario 2 angetönt, ist jedoch ungewiss, ob sich das Teilen von Fahrten und Fahrzeugen wirklich durchsetzen wird.

9.4. Gesamtfazit

Tabelle 65 fasst die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität zusammen.

Im **Szenario «Sharing»** steigen sowohl das Verkehrsaufkommen aufgrund neuer Nutzergruppen als auch die Durchschnittsdistanzen im MIV (inkl. ÖIV) aufgrund der Reduktion des VoT und der Fahrzeugkosten. Die Verkehrsleistung und der Modal Split des MIV inkl. ÖIV steigen zu Lasten des ÖV. Die Fahrleistung im MIV steigt weniger (um 1 %) aufgrund höherer Besetzungsgrade. Diese Zunahme des Besetzungsgrades ist durch eine starke Zunahme der neuen Angebotsform ÖIV zu begründen. Aufgrund des Teilens erhöht sich der Nutzen um insgesamt 7.4 Mrd. CHF im Vergleich zur Referenz (Szenario 0). Die direkten Effekte (Reduktion Kilometerkosten MIV bzw. Preise ÖV und Veränderung der VoT) hat den grösseren Anteil daran als die indirekten Effekte. Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind insgesamt gering und die Kenngrössen (Wertschöpfung, Beschäftigung, Kosten und Nutzen) etwas höher als in der Referenz. Während die Wertschöpfung insgesamt um 0.4 % oder 3.8 Mrd. CHF ggü. der Referenz zunimmt, steigt die Zahl der VZÄ um 0.3 % bzw. 12'000 Vollzeitbeschäftigte ggü. der Referenz an. Die mikroökonomische Betrachtung ergibt insgesamt einen Zusatznutzen von 7 Mrd. CHF ggü. der Referenz. Die verstärkte Kooperation und das Teilen von Fahrzeugen/Fahrten führt somit zu einem effizienteren Einsatz von Ressourcen bei einer leicht höheren Wertschöpfung und Beschäftigung. Im Szenario «Sharing» kann der ÖIV bezüglich Wertschöpfung (+119.3 %) und Beschäftigung (+103.9 %) am meisten profitieren. Einen starken Rückgang bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung verbucht neben dem Strassengüterverkehr (-23.4 % bzw. -

25.5 %) auch die Branche Fahrzeugverkauf (Beschäftigung und Wertschöpfung -10.1 %). Dies ist auf die Effizienzsteigerung und eine höhere Auslastung der Fahrzeuge zurückzuführen.

Der Personenverkehr nimmt mit der **Automatisierung** massiv zu. Die zusätzliche Nachfrage von neuen Nutzergruppen und die Attraktivierung des MIV (inkl. ÖIV) führen zu einer höheren Verkehrsleistung (+25 %). Die produktivere Nutzung der Reisezeit im MIV, die geringeren Besetzungsgrade und die resultierenden längeren Wegdistanzen treiben die starke Zunahme der Fahrleistung im MIV (+50 %). Der ÖV verliert an Bedeutung.

Im Szenario «Automatisierung» resultiert ein Zusatznutzen von insgesamt 19.6 Mrd. CHF. Der Zusatznutzen steigt v.a. aus der Veränderung der Value of Time im MIV und der Reduktion der Unfallkosten aufgrund der Automatisierung. Auf der räumlichen Ebene profitieren von der raschen Durchdringung der Automatisierung zunächst Stadtrandgebiete sowie suburbane und ländliche Gebiete. Die Attraktivität der Innenstädte sinkt. Gewerbe und Industrie ziehen aus der Stadt. Auch der Wegzug von Personen mit hohem Einkommen aus der Stadt wird gefördert: Die Anzahl Pendlerwege und deren Weiten steigen. Die Effizienzsteigerung durch die Automatisierung – v.a. durch die Reduktion von Personal – und der mikroökonomische Zusatznutzen fallen grösser aus als im Sharing-Szenario. Konkret sinkt die Beschäftigung um 1.2 % oder 55'000 VZÄ. Der mikroökonomische Zusatznutzen beträgt rund 20 Mrd. CHF, während die Wertschöpfung insgesamt um 0.8 % oder 8.6 Mrd. CHF ggü. der Referenz abnimmt. Die MIV-Mobilitätsnachfrage nimmt stark zu, was gesamtwirtschaftlich zu einer tieferen Wertschöpfungsintensität führt. Die hohe MIV-Nachfrage führt zu höheren Ausgaben in den Branchen Treibstoff, Reparatur und Fahrzeugverkauf, Fahrzeugherstellung sowie Versicherungen, welche folglich zu den Gewinnern bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung gehören. So weist die Branche Fahrzeugherstellung eine Zunahme von jeweils 33 % auf. Die hohe Nachfrage nach MIV führt gleichzeitig dazu, dass die Wertschöpfung und Beschäftigung in den Branchen ÖV und ÖIV stark sinkt. So beläuft sich die Abnahme im ÖIV auf 46.3 % bzw. 70.8 %. Aufgrund der Effizienzsteigerung in der Produktionsstruktur ist als weiterer grosser Verlierer der Güterverkehr (Strasse und Schiene) mit einem Rückgang der Wertschöpfung um bis zu 79 % und der Beschäftigung um 74.9 % zu identifizieren.

In der «**Servicewelt**» steigt die Fahrleistung im MIV (inkl. ÖIV) trotz Zunahme des Aufkommens weniger stark als im Szenario «Automatisierung» (+18 %). Die Besetzungsgrade sind höher, weil Fahrzeuge und Fahrten geteilt werden. Insbesondere der ÖIV gewinnt in diesem Szenario stark an Bedeutung.

Der Zusatznutzen von insgesamt 25 Mrd. CHF resultiert v.a. aus der Reduktion der Unfallkosten (+8.4 Mrd. CHF), der Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeiten auf der Strasse und dadurch Zeitgewinnen (+7.9 Mrd. CHF), der Veränderung der VoT (+5.5 Mrd. CHF) und einer

Reduktion der Kilometerkosten MIV bzw. Preise im ÖV (4.3 Mrd. CHF). Dank den «Sharing»-Elementen im Szenario «Servicewelt» kann dem Trend einer Zunahme der Fahrleistung aufgrund höherer Wegeaufkommen, längerer Distanzen sowie sinkender Besetzungsgrade, der aus der reinen «Automatisierung» erwartet wird, durch geteilt genutzte Angebote entgegengewirkt werden, die zur Erhöhung der Besetzungszahlen und der Stärkung kollektiver Mobilitätsformen beitragen. Die «Servicewelt» profitiert – durch die Kombination von effizienterem Einsatz von Ressourcen und automatisierten Fahrzeugen – von zwei Potenzialen zur Effizienzsteigerung. Somit ist die Effizienzsteigerung in der «Servicewelt» am höchsten, wodurch der Rückgang der Beschäftigten mit 1.4 % bzw. 60'000 ggü. der Referenz am höchsten ausfällt. Die Wertschöpfung fällt in der «Servicewelt» etwas höher aus als in der Referenz, nämlich um 0.3 % oder 3.2 Mrd. CHF ggü. Referenz. Verbunden mit der Effizienzsteigerung im Verkehr bedeutet dies, dass die Haushalte in der «Servicewelt» für dasselbe Einkommen ein grösseres Güterbündel nachfragen können, und der Nutzen der Haushalte in der Summe somit höher ausfällt als in der Referenz. Der mikroökonomische Zusatznutzen beläuft sich auf 25 Mrd. CHF und erreicht folglich den höchsten Wert aller Szenarien. Das grösste Risiko durch die automatisierten Fahrzeuge – starke Verkehrszunahme – wird dabei durch die starke Durchdringung vom ÖIV und der dadurch höheren Auslastung gedämpft. Eine Branche, welche im Szenario «Servicewelt» besonders bezüglich Wertschöpfung profitieren kann, stellt der ÖIV dar (+41.4 %). Gleichzeitig verbucht der ÖIV mit -91.7 % eine sehr hohe Abnahme der Beschäftigung. Zu den grössten Verlierern bezüglich Wertschöpfung und Beschäftigung gehören neben dem ÖV und dem Güterverkehr (Strasse und Schiene) auch die Branche Fahrzeugverkauf. Mit -79.2 % bzw. -94 % sticht hierbei insbesondere der Schienengüterverkehr heraus. Die Abnahme ist auf die gestiegene Effizienz und die höhere Auslastung der Fahrzeuge zurückzuführen.

Kompakte urbane Strukturen mit einem ressourcenschonenden Verkehrsangebot, kurzen Wegen ohne Belästigung durch Verkehrslärm und -emissionen sind ein aktuell angestrebtes Ziel. Geteilt genutzte, ggf. auch automatisierte und individuell nutzbare Angebote wie im Szenario «Servicewelt» tragen zu diesem Ziel bei, insbesondere dann, wenn sie die individuelle Nutzung automatisierter Fahrzeuge ersetzen.

Tabelle 65: Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Analyse im Vergleich zur Referenz in der Übersicht

2060, Δ Referenz	Szenario 1 Automat.	Szenario 2 Sharing	Szenario 3 Servicewelt
Wertschöpfung (Mrd. CHF)	↘ -8.6 Mrd. (-0.8 %)	↗ +3.8 Mrd. (+0.4 %)	↗ +3.2 Mrd. (+0.3 %)
Beschäftigung (VZÄ)	↘ -55'000 (-1.2 %)	↗ +12'000 (+0.3 %)	↘ -60'000 (-1.4 %)
KNA total (Mrd. CHF)	↑ +20 Mrd.	↗ +7 Mrd.	↑ +25 Mrd.
davon Veränderung der Reisezeit im Stammverkehr MIV	↗ +2.8 Mrd.	↗ +3.9 Mrd.	↗ +7.9 Mrd.
davon Veränderung der Bewertung der Reisezeit	↗ +9.2 Mrd.	↗ +1.8 Mrd.	↗ +5.5 Mrd.
davon Veränderung der Unfallkosten	↗ +8.6 Mrd.	↘ -0.8 Mrd.	↗ +8.4 Mrd.
davon andere Effekte	↘ -1.0 Mrd.	↗ +2.5 Mrd.	↗ +3.2 Mrd.

Legende Pfeile: ↑ starke Zunahme, ↗ leichte Zunahme, → unverändert, ↘ leichte Abnahme, ↓ starke Abnahme
KNA = Kosten-Nutzen-Analyse (mikroökonomische Betrachtung).

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: eigene Berechnung.

Die drei Eckszenarien – «Automatisierung», «Sharing» und «Servicewelt» – stecken den Raum möglicher Entwicklungen der Digitalisierung in der Mobilität in der Schweiz im Jahr 2060 ab. Welche Entwicklung sich schlussendlich durchsetzen wird, bleibt offen. Die vorliegende Analyse beleuchtet die verschiedenen Chancen und Risiken, welche sich durch die Digitalisierung in der Mobilität ergeben. Abhängig davon, ob sich die Automatisierung, Sharing oder eine Kombination von beidem durchsetzt, sind unterschiedliche Massnahmen zu ergreifen, um die Chancen zu nutzen und Risiken zu minimieren. In der vorliegenden Studie haben wir nicht untersucht, welche Instrumente und Politiken genau erforderlich sind, um gewisse Potenziale der untersuchten Szenarien zu realisieren.

Mit der Dekarbonisierung existiert zudem ein weiterer, parallel ablaufender Trend, welcher für die zukünftige Mobilität mitzudenken ist. Aus Sicht der Auswirkungen der Digitalisierung in der Mobilität ergeben sich Chancen, dass Risiken – insbesondere der Automatisierung – abgedeckt werden können. Zur Dekarbonisierung braucht es eine Antriebsumstellung von fossilen auf fossilfreie Treibstoffe. Dabei steht Strom im Vordergrund. Je höher der Anteil des im Inland produzierten Stroms aus erneuerbaren Quellen ist, desto geringer fallen in den Szenarien «Servicewelt» und «Automatisierung» die negativen Auswirkungen auf Wertschöpfung

und Beschäftigte aufgrund der Ausweitung der MIV (stärkere Bedeutung von importintensiven Branchen) aus.

Annex

A1. Grundlagen NPVM

Tabelle 66: Grundlagen des VoT im MIV (PW)

Bewertung Fahrtzeit PW, Box-Tukey-Transformation (Spalte B), Logit-Parameter (Spalte C)				Bewertung Kosten PW, Box-Tukey-Transformation (Spalte G), Logit-Parameter (Spalte H)			
P/Fahrtzeit intern./101_W_AA	Arbeit	1.05	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./101_W_AA	1.05	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./102_W_ASK	Arbeit	1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./102_W_ASK	1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./103_W_BS	Ausbildung	1.8	-0.0498	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./103_W_BS	1.8	-0.0917
P/Fahrtzeit intern./104_W_BU	Ausbildung	1.45	-0.0498	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./104_W_BU	1.45	-0.0917
P/Fahrtzeit intern./105_W_Ek	Einkauf	1.45	-0.0507	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./105_W_Ek	1.45	-0.1890
P/Fahrtzeit intern./106_W_EI	Einkauf	1.2	-0.0507	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./106_W_EI	1.2	-0.1890
P/Fahrtzeit intern./107_W_N	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	0.95	-0.0557	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./107_W_N	0.95	-0.1240
P/Fahrtzeit intern./108_W_BgK	Service- und Begleitung	1.45	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./108_W_BgK	1.45	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./109_W_Fk	Freizeit	1.65	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./109_W_Fk	1.65	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./110_W_FI	Freizeit	0.9	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./110_W_FI	0.9	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./111_AA_W	Arbeit	1.05	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./111_AA_W	1.05	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./112_ASK_W	Arbeit	1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./112_ASK_W	1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./113_BS_W	Ausbildung	1.8	-0.0498	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./113_BS_W	1.8	-0.0917
P/Fahrtzeit intern./114_BU_W	Ausbildung	1.45	-0.0498	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./114_BU_W	1.45	-0.0917
P/Fahrtzeit intern./115_Ek_W	Einkauf	1.45	-0.0507	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./115_Ek_W	1.45	-0.1890
P/Fahrtzeit intern./116_EI_W	Einkauf	1.2	-0.0507	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./116_EI_W	1.2	-0.1890
P/Fahrtzeit intern./117_N_W	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	0.95	-0.0557	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./117_N_W	0.95	-0.1240
P/Fahrtzeit intern./118_BgK_W	Service- und Begleitung	1.45	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./118_BgK_W	1.45	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./119_Fk_W	Freizeit	1.65	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./119_Fk_W	1.65	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./120_FI_W	Freizeit	0.9	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./120_FI_W	0.9	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./121_A_S	Arbeit	1.1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./121_A_S	1.1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./122_S_A	Arbeit	1.1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./122_S_A	1.1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./123_A_EkFk_A	Arbeit	1.1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./123_A_EkFk_A	1.1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./124_EkFk_A	Arbeit	1.1	-0.0623	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./124_EkFk_A	1.1	-0.2150
P/Fahrtzeit intern./125_EkFk_EkFk	Sonstiges	1.15	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./125_EkFk_EkFk	1.15	-0.1720
P/Fahrtzeit intern./126_S_S	Sonstiges	1.15	-0.0465	Fahrtzeit intern.	P/Kosten intern./126_S_S	1.15	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./101_W_AA	Arbeit	1.1	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./101_W_AA	1.1	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./102_W_ASK	Arbeit	1.15	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./102_W_ASK	1.15	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./103_W_BS	Ausbildung	1.05	-0.0979	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./103_W_BS	1.05	-0.2860
P/Fahrtzeit länd./104_W_BU	Ausbildung	1.15	-0.0979	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./104_W_BU	1.15	-0.2860
P/Fahrtzeit länd./105_W_Ek	Einkauf	1.4	-0.0507	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./105_W_Ek	1.4	-0.2160
P/Fahrtzeit länd./106_W_EI	Einkauf	1.1	-0.0507	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./106_W_EI	1.1	-0.2160
P/Fahrtzeit länd./107_W_N	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	1	-0.0557	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./107_W_N	1	-0.1540
P/Fahrtzeit länd./108_W_BgK	Service- und Begleitung	1.4	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./108_W_BgK	1.4	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./109_W_Fk	Freizeit	1.85	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./109_W_Fk	1.85	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./110_W_FI	Freizeit	0.95	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./110_W_FI	0.95	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./111_AA_W	Arbeit	1.1	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./111_AA_W	1.1	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./112_ASK_W	Arbeit	1.15	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./112_ASK_W	1.15	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./113_BS_W	Ausbildung	1.05	-0.0979	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./113_BS_W	1.05	-0.2860
P/Fahrtzeit länd./114_BU_W	Ausbildung	1.15	-0.0979	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./114_BU_W	1.15	-0.2860
P/Fahrtzeit länd./115_Ek_W	Einkauf	1.4	-0.0507	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./115_Ek_W	1.4	-0.2160
P/Fahrtzeit länd./116_EI_W	Einkauf	1.1	-0.0507	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./116_EI_W	1.1	-0.2160
P/Fahrtzeit länd./117_N_W	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	1.1	-0.0557	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./117_N_W	1.1	-0.1540
P/Fahrtzeit länd./118_BgK_W	Service- und Begleitung	1.4	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./118_BgK_W	1.4	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./119_Fk_W	Freizeit	1.85	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./119_Fk_W	1.85	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./120_FI_W	Freizeit	0.95	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./120_FI_W	0.95	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./121_A_S	Arbeit	1.2	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./121_A_S	1.2	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./122_S_A	Arbeit	1.2	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./122_S_A	1.2	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./123_A_EkFk_A	Arbeit	1.2	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./123_A_EkFk_A	1.2	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./124_EkFk_A	Arbeit	1.2	-0.0536	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./124_EkFk_A	1.2	-0.1810
P/Fahrtzeit länd./125_EkFk_EkFk	Sonstiges	1.2	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./125_EkFk_EkFk	1.2	-0.1720
P/Fahrtzeit länd./126_S_S	Sonstiges	1.2	-0.0429	Fahrtzeit länd.	P/Kosten ländl./126_S_S	1.2	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./101_W_AA	Arbeit	1.05	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./101_W_AA	1.05	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./102_W_ASK	Arbeit	1.05	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./102_W_ASK	1.05	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./103_W_BS	Ausbildung	1.5	-0.0641	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./103_W_BS	1.5	-0.2230
P/Fahrtzeit städt./104_W_BU	Ausbildung	1.35	-0.0641	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./104_W_BU	1.35	-0.2230
P/Fahrtzeit städt./105_W_Ek	Einkauf	1.5	-0.0507	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./105_W_Ek	1.5	-0.1810
P/Fahrtzeit städt./106_W_EI	Einkauf	1.25	-0.0507	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./106_W_EI	1.25	-0.1810
P/Fahrtzeit städt./107_W_N	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	1.05	-0.0557	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./107_W_N	1.05	-0.1320
P/Fahrtzeit städt./108_W_BgK	Service- und Begleitung	1.45	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./108_W_BgK	1.45	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./109_W_Fk	Freizeit	1.7	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./109_W_Fk	1.7	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./110_W_FI	Freizeit	0.95	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./110_W_FI	0.95	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./111_AA_W	Arbeit	1.1	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./111_AA_W	1.1	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./112_ASK_W	Arbeit	1	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./112_ASK_W	1	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./113_BS_W	Ausbildung	1.5	-0.0641	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./113_BS_W	1.5	-0.2230
P/Fahrtzeit städt./114_BU_W	Ausbildung	1.35	-0.0641	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./114_BU_W	1.35	-0.2230
P/Fahrtzeit städt./115_Ek_W	Einkauf	1.6	-0.0507	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./115_Ek_W	1.6	-0.1810
P/Fahrtzeit städt./116_EI_W	Einkauf	1.25	-0.0507	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./116_EI_W	1.25	-0.1810
P/Fahrtzeit städt./117_N_W	geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	1.05	-0.0557	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./117_N_W	1.05	-0.1320
P/Fahrtzeit städt./118_BgK_W	Service- und Begleitung	1.5	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./118_BgK_W	1.5	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./119_Fk_W	Freizeit	1.65	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./119_Fk_W	1.65	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./120_FI_W	Freizeit	0.95	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./120_FI_W	0.95	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./121_A_S	Arbeit	1.05	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./121_A_S	1.05	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./122_S_A	Arbeit	1.05	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./122_S_A	1.05	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./123_A_EkFk_A	Arbeit	1	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./123_A_EkFk_A	1	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./124_EkFk_A	Arbeit	1	-0.0697	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./124_EkFk_A	1	-0.2220
P/Fahrtzeit städt./125_EkFk_EkFk	Sonstiges	1.2	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./125_EkFk_EkFk	1.2	-0.1720
P/Fahrtzeit städt./126_S_S	Sonstiges	1.2	-0.0430	Fahrtzeit städt.	P/Kosten städt./126_S_S	1.2	-0.1720

Tabelle INFRAS/DLR. Quelle: ARE:

Tabelle 67: Streckenkapazitäten NPVM

§LINKTYPE:NO	GTYPE	NAME	NUMLANES	Kapazität_Original / 0 Referenz 2060	1 (Automatisierung)	2 (Sharing / Intermodalität)	3 (Mobilitäts- servicewelt)
0	0	Autobahn_ao_1FS_80	1	1150	2024	1150	2024
1	0	Autobahn_ao_2FS_80	2	4000	7040	4000	7040
2	0	Autobahn_ao_3FS_80	3	5800	10208	5800	10208
3	0	Autobahn_ao_4FS_80	4	7850	13816	7850	13816
4	0	Autobahn_ao_1FS_100	1	1250	2200	1250	2200
5	0	Autobahn_ao_2FS_100	2	4000	7040	4000	7040
6	0	Autobahn_ao_3FS_100	3	5800	10208	5800	10208
7	0	Autobahn_ao_4FS_100	4	7850	13816	7850	13816
8	0	Autobahn_ao_1FS_120	1	1175	2068	1175	2068
9	0	Autobahn_ao_2FS_120	2	4000	7040	4000	7040
10	1	Autobahn_ao_3FS_120	3	5800	10208	5800	10208
11	1	Autobahn_ao_4FS_120	4	7850	13816	7850	13816
12	1	Autostrasse_ao_1FS_80	1	1250	2062.5	1250	2062.5
13	1	Autostrasse_ao_2FS_80	2	4000	6600	4000	6600
14	1	Autostrasse_ao_3FS_80	3	5800	9570	5800	9570
15	1	Autostrasse_ao_4FS_80	4	7850	12952.5	7850	12952.5
16	1	Autostrasse_ao_1FS_100	1	1250	2062.5	1250	2062.5
17	1	Autostrasse_ao_2FS_100	2	4000	6600	4000	6600
18	1	Autostrasse_ao_3FS_100	3	5800	9570	5800	9570
19	1	Autostrasse_ao_4FS_100	4	#NV	#NV	#NV	#NV
20	2	HVS_ao_1FS_50	1	1050	1732.5	1050	1732.5
21	2	HVS_ao_2FS_50	2	2150	3547.5	2150	3547.5
22	2	HVS_ao_3FS_50	3	3400	5610	3400	5610
23	2	HVS_ao_1FS_60	1	1200	1980	1200	1980
24	2	HVS_ao_2FS_60	2	2300	3795	2300	3795
25	2	HVS_ao_3FS_60	3	3400	5610	3400	5610
26	2	HVS_ao_1FS_80	1	1150	1897.5	1150	1897.5
27	2	HVS_ao_2FS_80	2	2300	3795	2300	3795
28	2	HVS_ao_3FS_80	3	3400	5610	3400	5610
29	2	HVS_io_1FS_50	1	1100	1540	1100	1540
30	3	HVS_io_2FS_50	2	1700	2380	1700	2380
31	3	HVS_io_3FS_50	3	2800	3920	2800	3920
32	3	HVS_io_1FS_60	1	1100	1540	1100	1540
33	3	HVS_io_2FS_60	2	1700	2380	1700	2380
34	3	HVS_io_3FS_60	3	2800	3920	2800	3920
35	3	HVS_io_1FS_80	1	1100	1540	1100	1540
36	3	HVS_io_2FS_80	2	1700	2380	1700	2380
37	3	HVS_io_3FS_80	3	2800	3920	2800	3920
38	3	Uebrig Strasse_ao_1FS_30	1	1100	1815	1100	1815
39	3	Uebrig Strasse_ao_2FS_30	2	1700	2805	1700	2805
40	4	Uebrig Strasse_ao_3FS_30	3	#NV	#NV	#NV	#NV
41	4	Uebrig Strasse_ao_1FS_50	1	1100	1815	1100	1815
42	4	Uebrig Strasse_ao_2FS_50	2	1700	2805	1700	2805
43	4	Uebrig Strasse_ao_3FS_50	3	#NV	#NV	#NV	#NV
44	4	Uebrig Strasse_ao_1FS_60	1	1100	1815	1100	1815
45	4	Uebrig Strasse_ao_2FS_60	2	1700	2805	1700	2805
46	4	Uebrig Strasse_ao_3FS_60	3	#NV	#NV	#NV	#NV
47	4	Uebrig Strasse_ao_1FS_80	1	1100	1815	1100	1815
48	4	Uebrig Strasse_ao_2FS_80	2	1700	2805	1700	2805
49	4	Uebrig Strasse_ao_3FS_80	3	2800	4620	2800	4620
50	5	Uebrig Strasse_io_1FS_30	1	1100	1540	1100	1540
51	5	Uebrig Strasse_io_2FS_30	2	1700	2380	1700	2380
52	5	Uebrig Strasse_io_3FS_30	3	#NV	#NV	#NV	#NV
53	5	Uebrig Strasse_io_1FS_50	1	1100	1540	1100	1540
54	5	Uebrig Strasse_io_2FS_50	2	1700	2380	1700	2380
55	5	Uebrig Strasse_io_3FS_50	3	2800	3920	2800	3920
56	5	Uebrig Strasse_io_1FS_60	1	1100	1540	1100	1540
57	5	Uebrig Strasse_io_2FS_60	2	1700	2380	1700	2380
58	5	Uebrig Strasse_io_3FS_60	3	#NV	#NV	#NV	#NV
59	5	Uebrig Strasse_io_1FS_80	1	1100	1540	1100	1540
60	6	Uebrig Strasse_io_2FS_80	2	1700	2380	1700	2380
61	6	Uebrig Strasse_io_3FS_80	3	1150	1610	1150	1610
62	6	Rampe_ao_1FS_50	1	1100	1100	1100	1100
63	6	Rampe_ao_2FS_50	2	1950	1950	1950	1950
64	6	Rampe_ao_3FS_50	3	2800	2800	2800	2800
65	6	Rampe_ao_1FS_60	1	1100	1100	1100	1100
66	6	Rampe_ao_2FS_60	2	1775	1775	1775	1775
67	6	Rampe_ao_3FS_60	3	2800	2800	2800	2800
68	6	Rampe_ao_1FS_80	1	1100	1100	1100	1100
69	6	Rampe_ao_2FS_80	2	1950	1950	1950	1950
70	7	Rampe_ao_3FS_80	3	2800	2800	2800	2800
71	7	Rampe_ao_1FS_100	1	1150	1150	1150	1150
72	7	Rampe_ao_2FS_100	2	4000	4000	4000	4000
73	7	Rampe_ao_3FS_100	3	#NV	#NV	#NV	#NV
97	9	Fähre	1	250	250	250	250
98	9	Autozug	1	304	304	304	304
99	9	Autoverlad Zug	1	152	152	152	152

ao: ausserorts, FS: Fahrspur, HVS: Hauptverkehrsstrasse, io: innerorts

Tabelle INFRAS/DLR

A2. Sensitivitätsrechnungen verkehrlicher Wirkungen im Personenverkehr

Im Folgenden werden die Ergebnisse der in Kap. 5.1.7 zusammengefassten Sensitivitätsrechnungen im Personenverkehr für das jeweilige (Haupt-)Szenario zusammengefasst. Es wurden insgesamt fünf Sensitivitäten mit dem UVEK Verkehrsmodell (NPVM) berechnet:

3. Weitere Reduzierung des VoT in Szenario 1
4. Weitere Reduzierung des VoT in Szenario 3
5. Geringere Kapazitätssteigerung in Szenario 1
6. Geringere Kapazitätssteigerung in Szenario 3 (gleiche Änderung wie in Szenario 1)
7. Verkürzte Zu-/Abgangszeiten ÖV in Szenario 2

Der Einfluss der Veränderung der drei Parameter wird in Abschnitt A2.1 zusammengefasst. Die Ergebnisse je Szenario und jeweiliger Sensitivität werden in den Abschnitten A2.2–A2.4 im Detail dargestellt.

A2.1. Zusammenfassung

Die **höhere Reduktion des VoT** im MIV (inkl. ÖIV) führt v.a. zu einer stärkeren Verkehrsverlagerung und deutlich längeren Wegen im MIV. Im Szenario 1 steigt die Verkehrsleistung im MIV (inkl. ÖIV) um 25 % gegenüber Szenario 0. In der Sensitivität 1 nehmen die Verkehrsleistungen um 50 % zu. In der Sensitivität 2 steigen die Verkehrsleistungen um 43 % (im Vergleich zu +25 % zwischen Szenario 0 und Szenario 3). Mit anderen Worten: Die Änderungen der Verkehrsleistungen sind in den Sensitivitätsanalysen etwa doppelt so gross wie in den Szenarien 1 und 3. Die Fahrleistungserhöhung ist im Szenario 1 und in der Sensitivität 1 aufgrund der Zunahme der durchschnittlichen Weglänge im MIV am höchsten. Dies lässt daraufschliessen, dass der VoT einen extrem starken Einfluss auf die Attraktivität des MIV und dessen Verkehrsleistung hat. Die durchschnittliche Geschwindigkeit verändert sich mit einer höheren Reduktion der VoT hingegen kaum.

Die **geringere Kapazitätssteigerung der Strasseninfrastruktur** wirkt v.a. auf die Fahrzeugstunden und durchschnittlichen Geschwindigkeiten, d.h. die Durchschnittsgeschwindigkeit steigt weniger stark an. Steigt in Szenario 1 bzw. 3 ggü. Szenario 0 die Geschwindigkeit um 8 % bzw. 12 %, so nimmt diese in der Sensitivität 3 bzw. 4 lediglich um 3 % bzw. 8 % zu. Die durchschnittlichen Weglängen und Fahrleistungen sind etwas geringer ggü. Szenario 1 bzw. 3. Die Verkehrsverlagerung auf den MIV (inkl. ÖIV) fällt ebenfalls etwas geringer aus.

D.h. der VoT hat den stärkeren Einfluss auf die Verkehrsleistung aufgrund der Verkehrsverlagerung und Verlängerung der Weglänge im MIV als die Kapazitätssteigerung der Strasseninfrastruktur.

Verkürzte Zu-/Abgangszeiten im ÖV wirken erwartungsgemäss zu Gunsten des ÖV, da dieser v.a. für kürzere Strecken kostengünstiger wird. Aufgrund dessen wird Verkehr auf den ÖV verlagert. Das Aufkommen im ÖV steigt in der Sensitivität 5 um 9 % ggü. Szenario 2. Aufgrund der sinkenden durchschnittlichen Weglängen im ÖV (-3 %) nimmt die Verkehrsleistung im Vergleich zum Aufkommen im ÖV mit rund 7 % etwas weniger stark zu. Im MIV steigt der Besetzungsgrad an und erreicht den höchsten Wert in der Sensitivität 5. Die Durchschnittsgeschwindigkeit erhöht sich ggü. Szenario 0 um lediglich 2 %, was die niedrigste Erhöhung darstellt.

Im Folgenden werden die Detaillergebnisse je Szenario und jeweiligen Sensitivitäten aufgezeigt und kurz kommentiert.

A2.2. Szenario 1

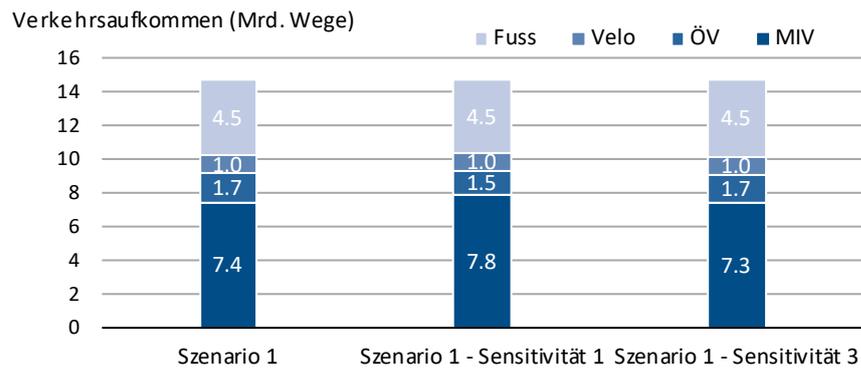
In der **Sensitivität 1** sinkt der Value of Time im MIV (inkl. ÖIV) deutlich stärker, d.h. je nach Fahrtzweck bis zu 70 % statt 40 %. Aufgrund dessen werden einerseits deutlich mehr Wege auf den MIV (inkl. ÖIV) verlagert. Andererseits ist die durchschnittliche Weglänge im MIV mit durchschnittlich 22 km am höchsten. Gegenüber dem Szenario 0 nimmt die Weglänge im MIV um rund 31 % zu und im ÖV um rund 12 % ab. In der Folge resultiert in der Sensitivität 1 die höchste Verkehrs- und Fahrleistung im MIV (inkl. ÖIV). Gegenüber dem Szenario 0 steigt die Verkehrs- bzw. Fahrleistung im MIV um 50 bzw. 84 %. Im Ergebnis resultiert der geringste durchschnittliche Besetzungsgrad (Personen pro PW) von rund 1.2. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist gegenüber dem Szenario 0 um 7 % höher, aber gegenüber dem Szenario 1 leicht tiefer (-1 Prozentpunkt). Die Veränderung des VoT – d.h. der stark reduzierte Widerstand der Fahrtzeit – im MIV wirkt demnach v.a. auf die Verkehrsverlagerung auf den MIV als auch die Weglängen.

Beim Blick auf die Leistungen nach Streckentypen zeigen sich nachvollziehbare Unterschiede: Sensitivität 1, welche die mit Abstand höchste Fahrleistung ausweist, zeigt einen Anteilzuwachs auf Autobahnen ggü. der Referenz (+7 Prozentpunkte), wenn auch nicht den höchsten aller Läufe (Sensitivität 2 mit + 9 Prozentpunkten). Das heisst, dass zwar sehr viel des hohen Nachfragezuwachs durch die Autobahnen aufgenommen werden kann, aber die zunehmend ausgelasteten Kapazitäten wirken.

In der **Sensitivität 3** wird nur eine halb so hohe Kapazitätssteigerung je nach Streckentyp angenommen. Aufgrund dessen ist die Verkehrsverlagerung auf den MIV sowie auch die Verlängerung der Wege im MIV etwas geringer als im Szenario 1. Hingegen sinkt die durchschnittliche Weglänge ggü. Szenario 1 nur minimal. Der Fahrleistungsanstieg ggü. Szenario 0 ist mit rund 45 % am zweithöchsten. Der stärkste Effekt resultiert bei der Veränderung der durchschnittlichen Geschwindigkeit, welche ggü. Szenario 0 lediglich um 3 % ansteigt.

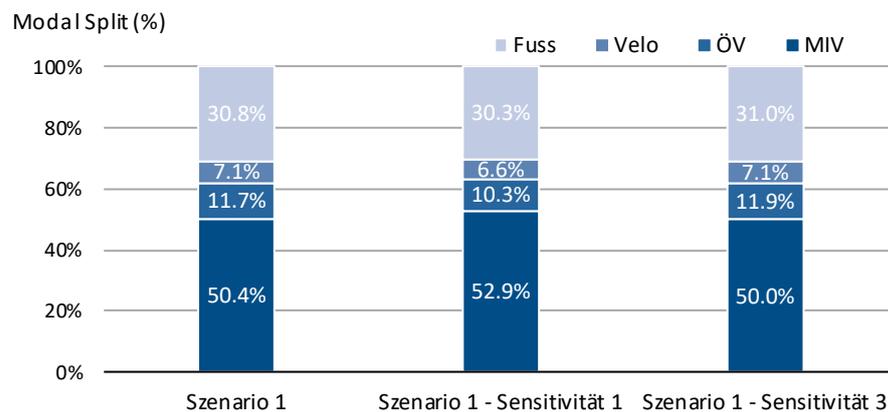
Sensitivität 3 hat eine zu Sensitivität 2 nur leicht höhere Fahrleistung, aber die Reduktion des Kapazitätszuwachses auf +25 % scheint hier zu höheren Reisezeitverlusten auf Autobahnen und damit Verlagerungen auf Alternativrouten zu führen (Hauptverkehrsstrassen ausser- und innerorts nehmen in der Sensitivität 3 jeweils 2–3 Prozentpunkte mehr Nachfrage auf, als in Sensitivität 2).

Abbildung 81: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 1 und Sensitivitäten 1 und 3 im Jahr 2060



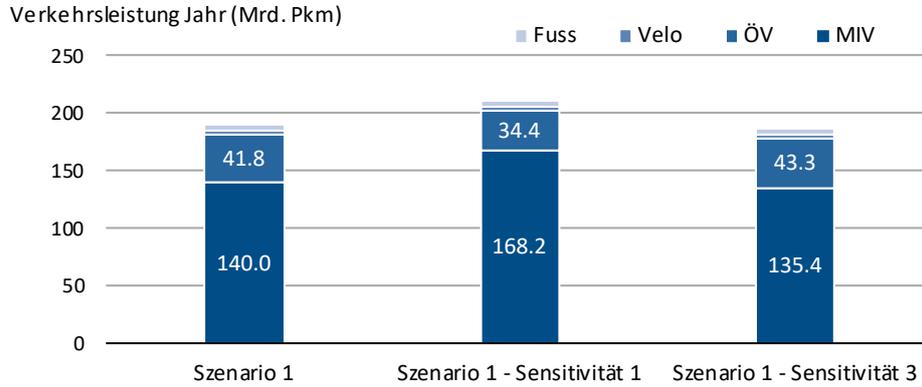
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 82: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 1 und Sensitivitäten 1 und 3 im Jahr 2060



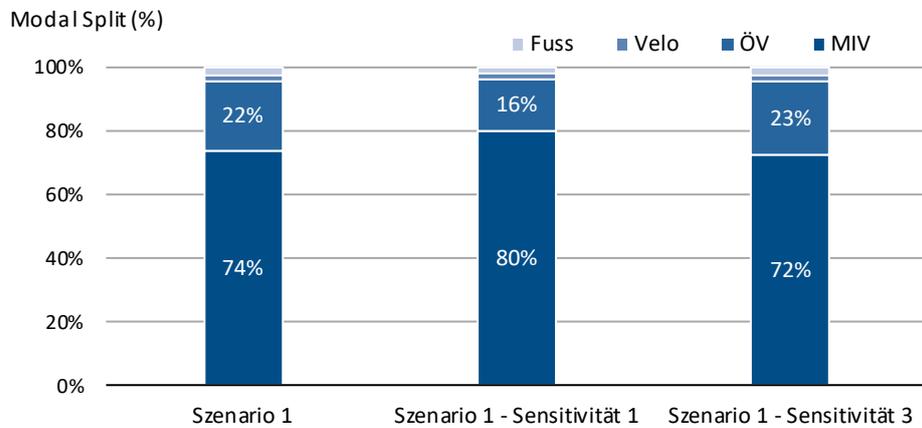
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 83: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060

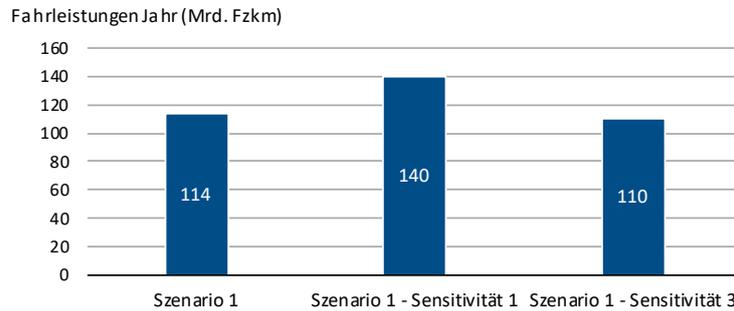


Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

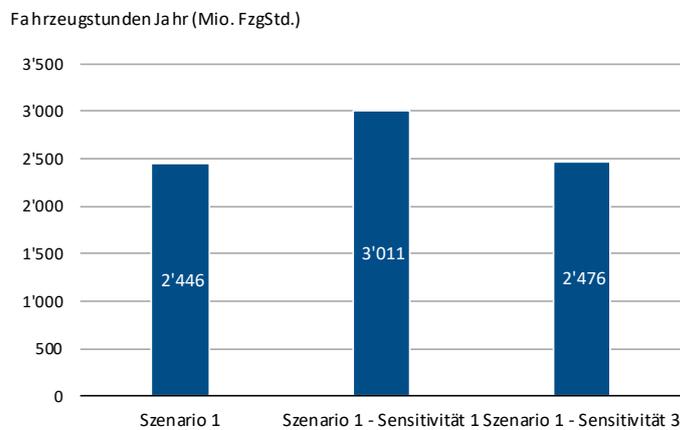
Abbildung 84: Modal Split Verkehrsleistung– Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060



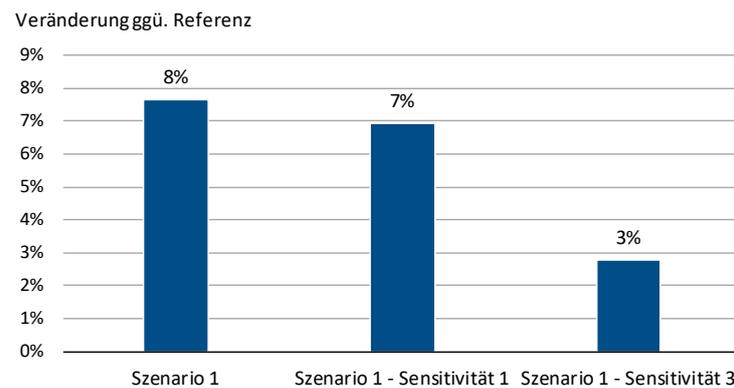
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 85: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

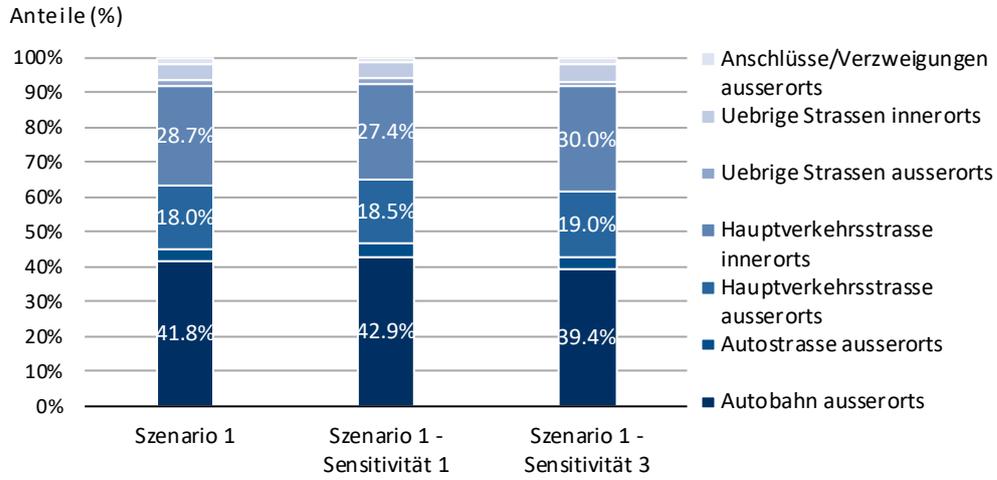
Abbildung 86: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 87: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060

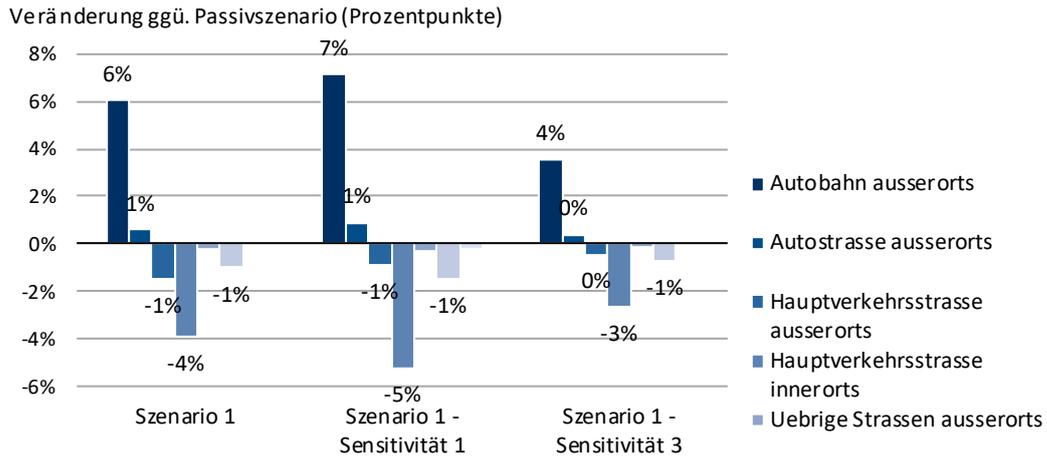
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 88: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 89: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060

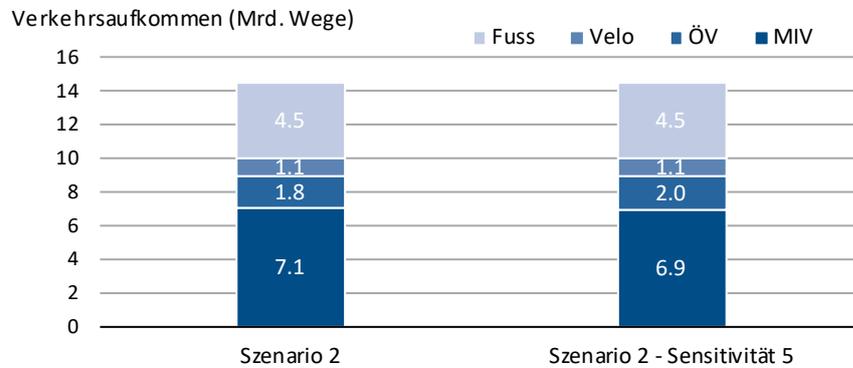


Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

A2.3. Szenario 2

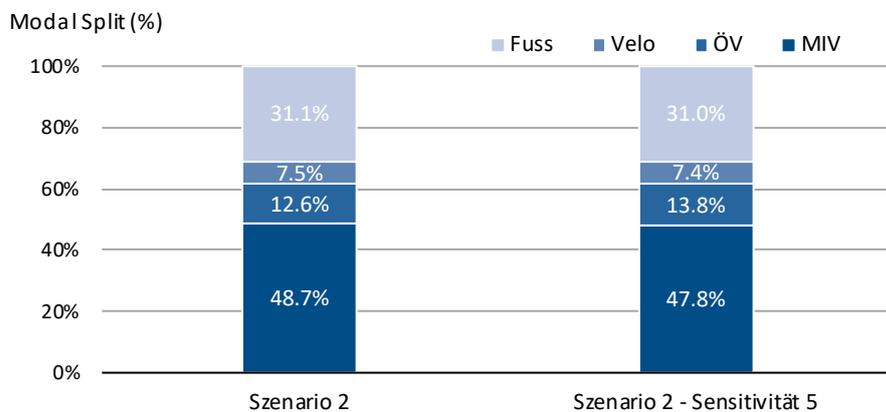
In der **Sensitivität 5** wird angenommen, dass sich im Gegensatz zu Szenario 2 die Zu-/Abgangszeiten im ÖV pauschal um 50 % reduzieren. Diese Änderung senkt die Kosten für den Zugang zum ÖV und macht diesen attraktiver, insbesondere für kurze Strecken. Das Ergebnis ist ein Anstieg der Fahrten im ÖV um 9 % bzw. rund 470'000 Fahrten pro Tag im Vergleich zu Szenario 2. Interessant ist, dass diese Fahrten hauptsächlich vom MIV (inkl. ÖIV) auf den ÖV verlagert werden (-400'000 Fahrten pro Tag). Da die Attraktivitätssteigerung vor allem bei kurzen Fahrten zum Tragen kommt, ist der Effekt auf die Verkehrsleistung des ÖV geringer (+7 % ggü. Szenario 2), während die durchschnittliche Weglänge der ÖV-Fahrten um 3 % sinkt. Der Anteil des ÖV an der Verkehrsleistung ist daher – trotz leicht reduzierter Weglänge – in der Sensitivität 5 am höchsten. Die Fahrleistung im MIV liegt auf dem Niveau des Szenarios 0.

Abbildung 90: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060



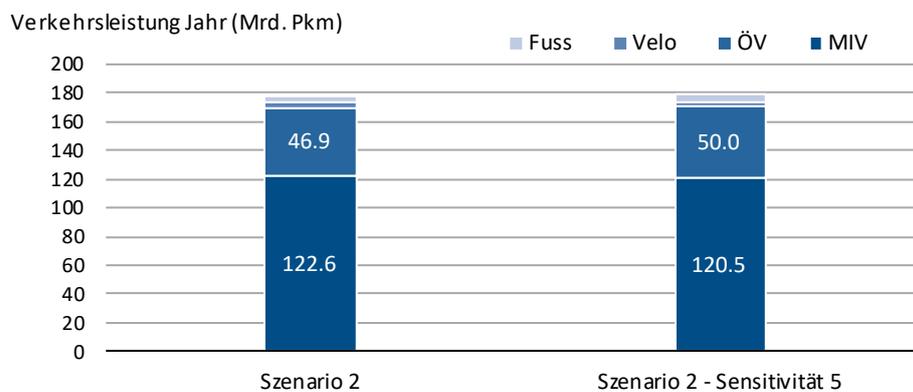
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 91: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060

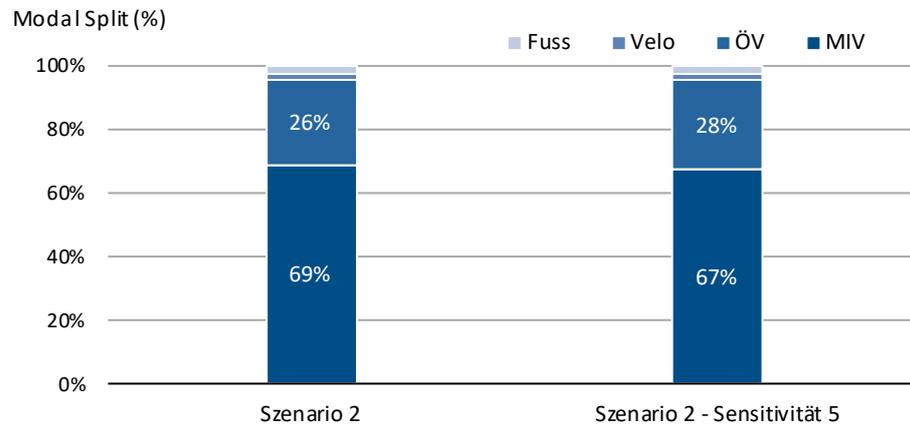


Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

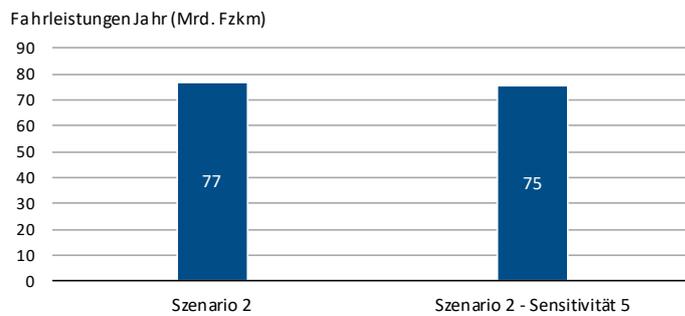
Abbildung 92: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060



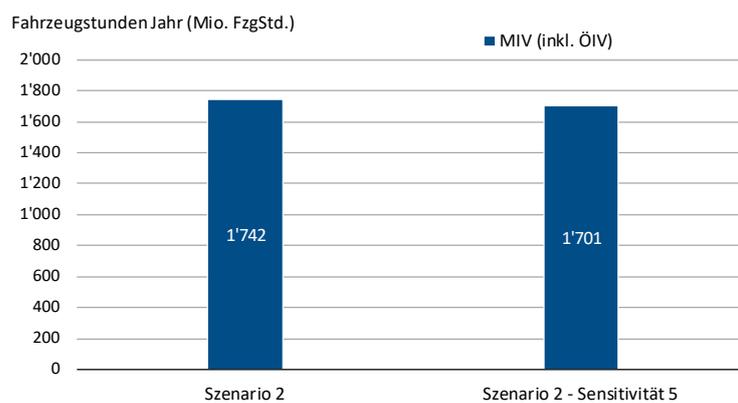
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 93: Modal Split Verkehrsleistung– Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

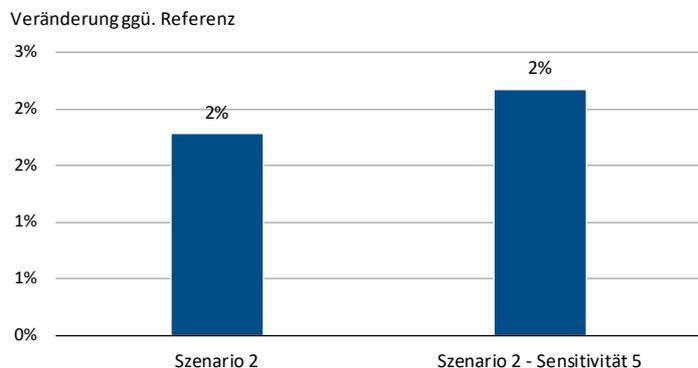
Abbildung 94: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 95: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060

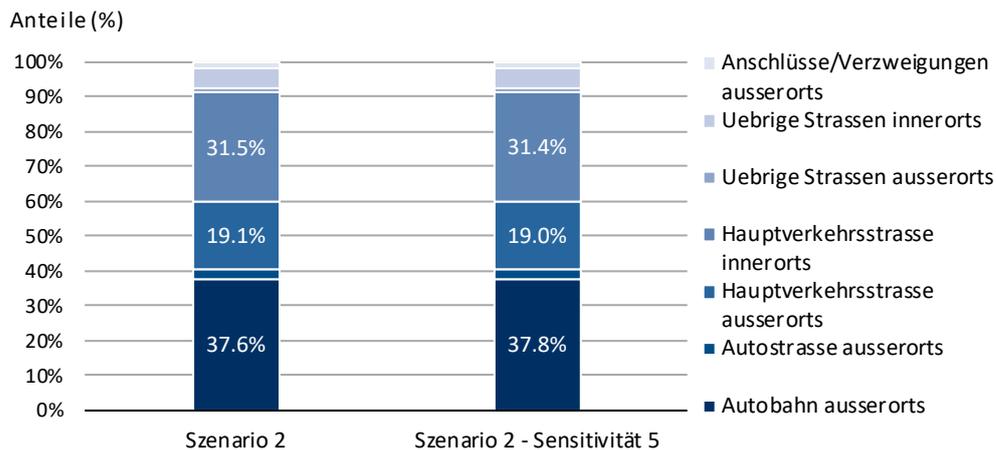
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 96: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060



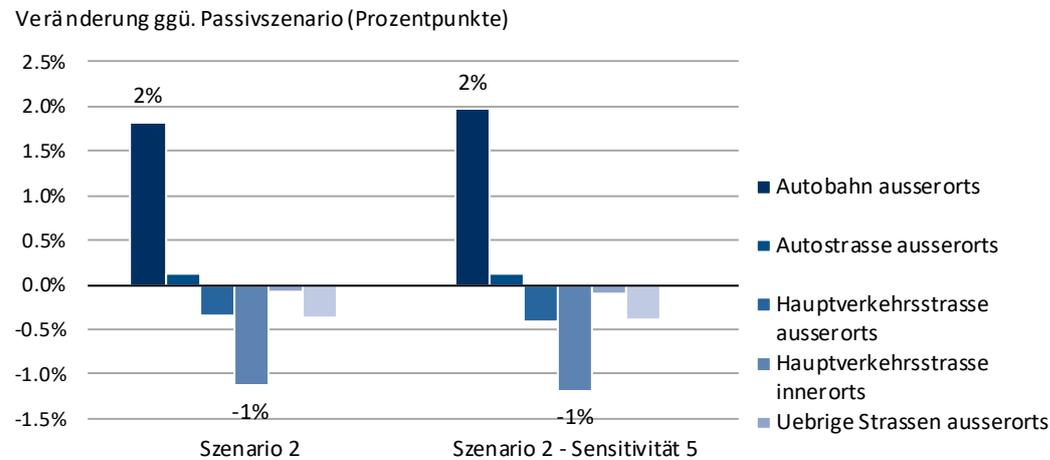
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 97: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 98: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

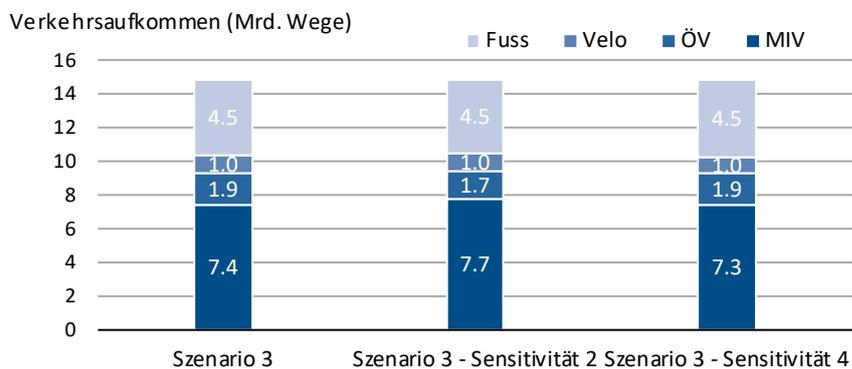
A2.4. Szenario 3

In der **Sensitivität 2** sinkt – analog der Sensitivität 1 – der Value of Time im MIV (inkl. ÖIV) deutlich stärker, d.h. je nach Fahrtzweck bis zu 43 % statt 21 % in Szenario 3. In der Folge erhöhen sich Verkehrsaufkommen aufgrund einer Modalverlagerung als auch -leistung aufgrund deutlich längerer Wege im MIV (inkl. ÖIV). Die Fahrleistung nimmt zu, jedoch weniger stark als in Sensitivität 1. Der Besetzungsgrad verändert sich ggü. Szenario 3 kaum.

Sensitivität 2 zeigt den höchsten Anteilzuwachs auf Autobahnen ggü. der Referenz (+ 9 Prozentpunkten). Das heisst, dass zwar sehr viel des hohen Nachfragezuwachs durch die Autobahnen aufgenommen werden kann, aber die zunehmend ausgelasteten Kapazitäten wirken. Entsprechend werden in Sensitivität 2 mit knapp 30 % weniger Fahrleistungen die Autobahnen relativ gesehen noch stärker genutzt.

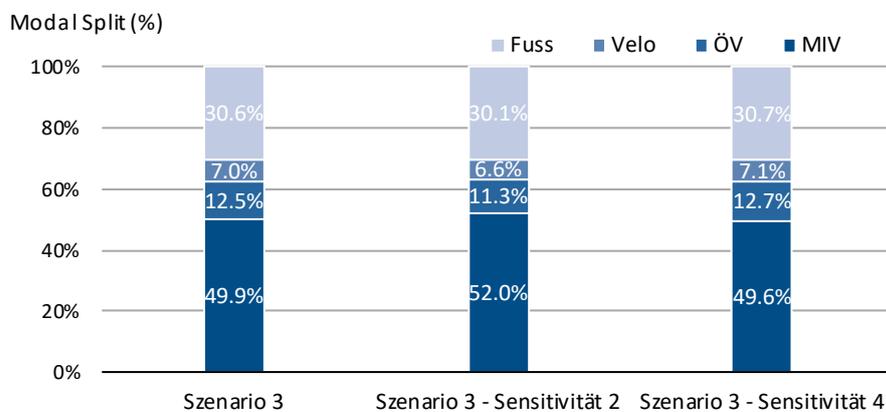
Mit einer halb so hohen Kapazitätssteigerung je nach Streckentyp resultiert in der **Sensitivität 4** – analog der Sensitivität 1 zu Szenario 1 – eine minimal geringere Verkehrsverlagerung auf den MIV (inkl. ÖIV) ggü. Szenario 3. Der Fahrleistungsanstieg ggü. Szenario 0 ist mit rund 15 % etwas niedriger als im Szenario 3. Der stärkste Effekt resultiert bei der Veränderung der durchschnittlichen Geschwindigkeit, welche ggü. Szenario 0 um 8 % (statt 12 % in Szenario 3) ansteigt.

Abbildung 99: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



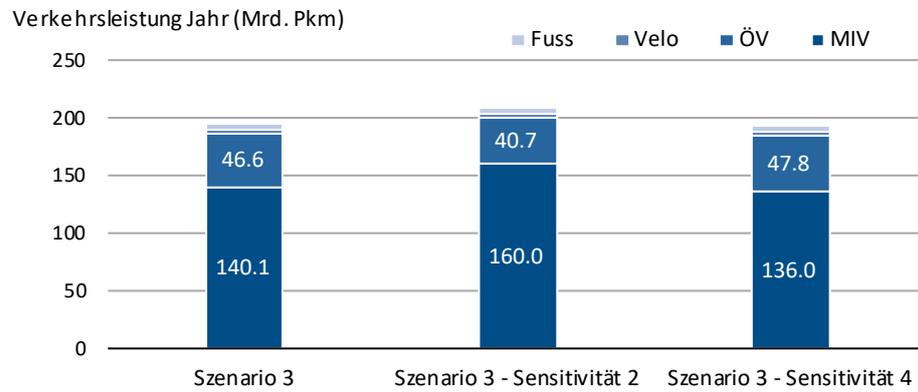
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 100: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



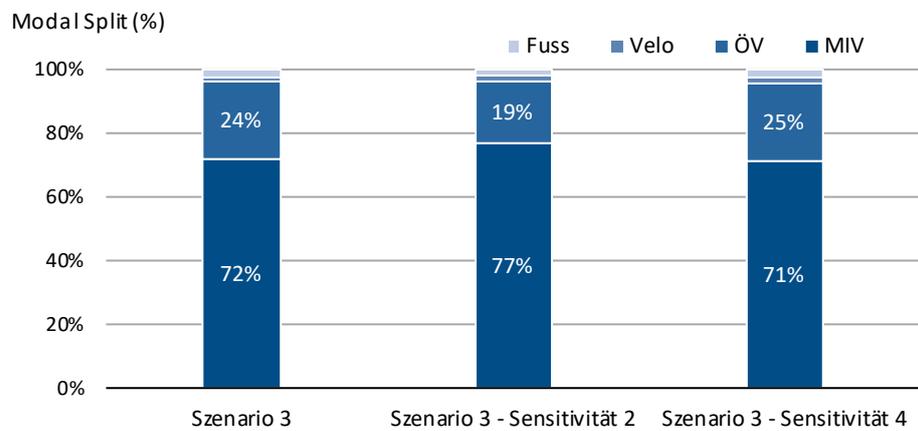
Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 101: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060

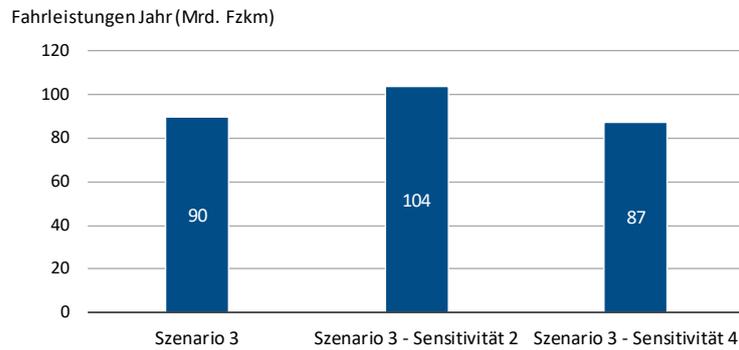


Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

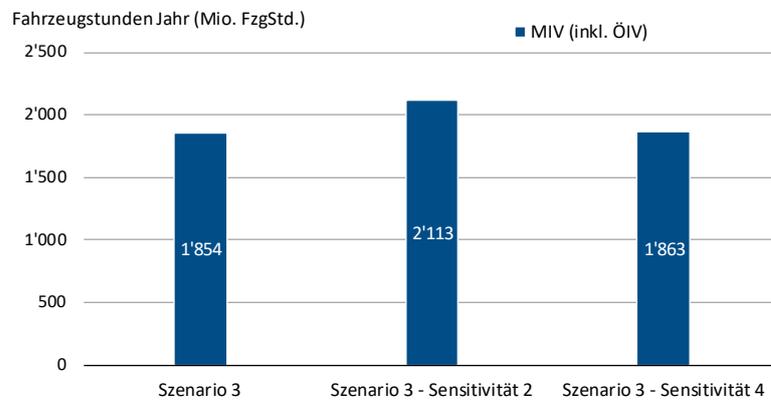
Abbildung 102: Modal Split Verkehrsleistung– Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

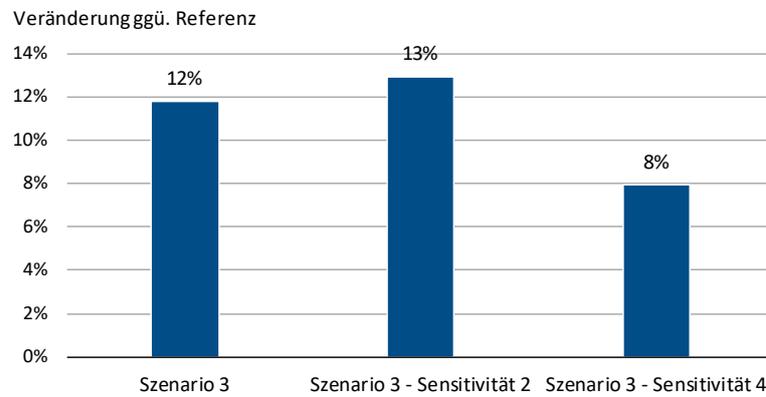
Abbildung 103: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060

Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 104: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060

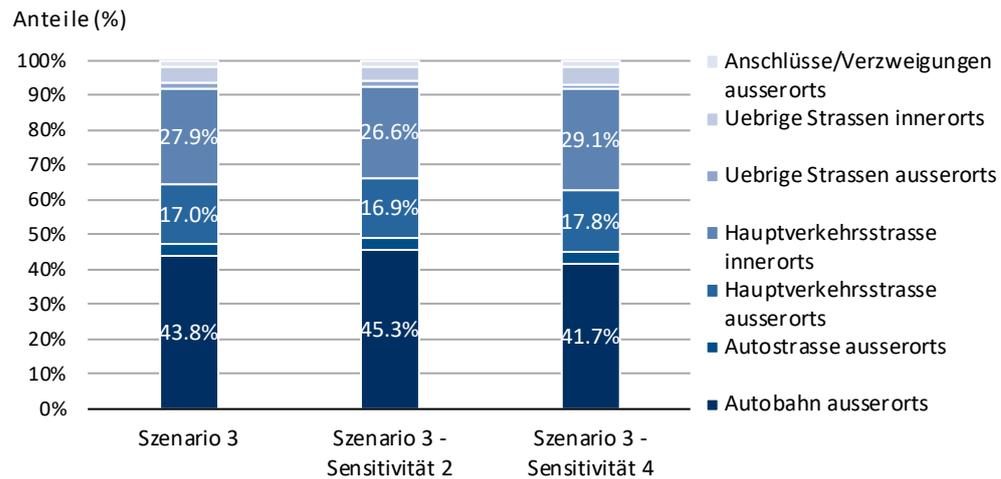
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 105: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



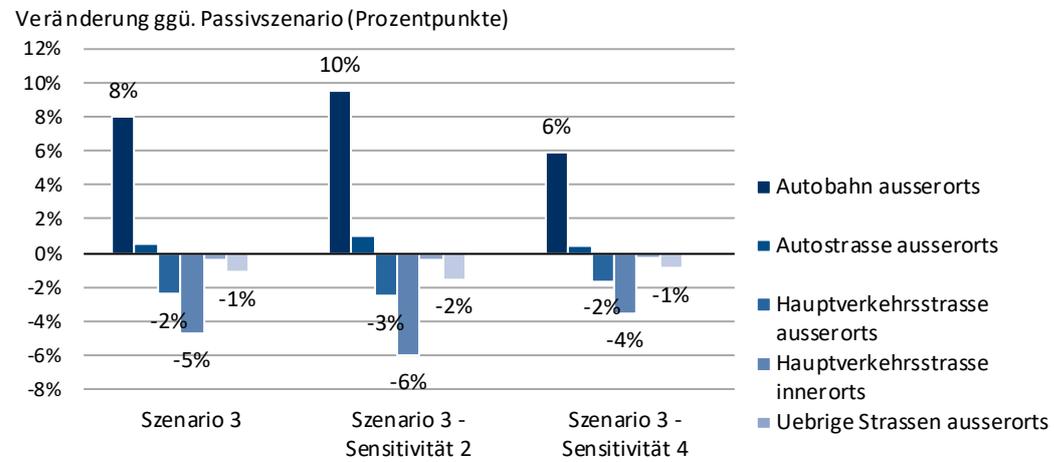
Grafik INFRAS. Quelle: ARE NPVM.

Abbildung 106: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildung 107: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060



Grafik INFRAS. Quelle: ARE (NPVM).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projekteinbettung und Abhängigkeiten	40
Abbildung 2: Konzept Vorgehen Wirkungsanalyse	48
Abbildung 3: Vorgehen zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen im Personen- und Güterverkehr	49
Abbildung 4: Anwendung NPVM	51
Abbildung 5: Vorgehen zur Abschätzung der Inputgrössen für das NPVM	53
Abbildung 6: Ebenen der volkswirtschaftlichen Analyse	54
Abbildung 7: Vorgehen volkswirtschaftliche Analyse	55
Abbildung 8: Automatisierungsstufen im Strassenverkehr nach SAE J3016	60
Abbildung 9: Module einer Gesamtarchitektur des kooperativen Strassenverkehrs	61
Abbildung 10: Automatisierungsgrade im Schienenverkehr	63
Abbildung 11: Digitale Plattformen am Beispiel des Personenverkehrs	65
Abbildung 12: Mögliche Typisierung von Sharing-Angeboten im Personenverkehr (Stand März 2020)	67
Abbildung 13: Eingrenzung Sharing-Angebote im Personenverkehr im Rahmen der Anwendung der Verkehrsmodelle	68
Abbildung 14: Herleitung der vier Szenarien	73
Abbildung 15: Welleneffekte oder «ripple effects» des automatisierten Fahrens	76
Abbildung 16: Abgrenzung Geschäftsmodelle, Angebotsformen und Verkehrsmittel	141
Abbildung 17: Verschiedene Ausprägungen der Geschäftsbeziehungen innerhalb des Geschäftsmodells	142
Abbildung 18: Entwicklungsstufen neuer Mobilitätsdienstleistungen	143
Abbildung 19: Zuständigkeiten Konzessionierung und Bestellung/Finanzierung im ÖV	148
Abbildung 20: Schematische Aufteilung der Fahrten nach Verkehrsmittel je Szenario	153
Abbildung 21: Beispiel einer Logistikkette	175
Abbildung 22: Kostenstrukturen AMG, Referenz 2060 (CHF je tkm)	176
Abbildung 23: Übersicht zu den Indikatoren der Verkehrsmodelle des UVEK zur Beurteilung der verkehrlichen Wirkungen	192
Abbildung 24: Verkehrsleistung und Modal Split im Personenverkehr 2017 und im Szenario 0-3 im 2060	193
Abbildung 25: Verkehrsaufkommen im Personenverkehr 2060	200
Abbildung 26: Modal Split nach Verkehrsaufkommen Personenverkehr 2060	201
Abbildung 27: Verkehrsleistung Personenverkehr 2060	204

Abbildung 28: Veränderung des Modal Split an der Verkehrsleistung im Personenverkehr 2060	204
Abbildung 29: Veränderung der durchschnittlichen Wegdistanz ggü. Referenz 2060	205
Abbildung 30: Jährliche Fahrleistungen im MIV 2060	206
Abbildung 31: Veränderung der Fahrleistungen im MIV 2060	206
Abbildung 32: Durchschnittliche Besetzungsgrade MIV (inkl. ÖIV)	207
Abbildung 33: Veränderung der durchschnittlichen Besetzungsgrade	207
Abbildung 34: Jährliche Fahrzeugstunden im MIV 2060	208
Abbildung 35: Veränderungen der Fahrzeugstunden im MIV 2060	208
Abbildung 36: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV (inkl. ÖIV)	209
Abbildung 37: Durchschnittliche Besetzungsgrade im MIV und ÖIV	210
Abbildung 38: Abschätzung der Fahrleistungsanteile neuer Angebotsformen von MIV und ÖV (gleiche durchschnittliche Weglänge) 2060	210
Abbildung 39: Abschätzung der Fahrleistungsanteile neuer Angebotsformen von MIV und ÖV (um 20 % höhere durchschnittliche Weglänge im MIV privat/individuell) 2060	211
Abbildung 40: Anteil an der Verkehrsleistung in den Szenarien 0–3 im 2060	211
Abbildung 41: Verkehrsaufkommen im Güterverkehr 2060	216
Abbildung 42: Anteile am Verkehrsaufkommen im Güterverkehr 2060	217
Abbildung 43: Verkehrsleistung im Güterverkehr 2060	217
Abbildung 44: Anteile an der Verkehrsleistung im Güterverkehr 2060	218
Abbildung 45: Veränderung der Durchschnittsdistanzen im Güterverkehr ggü. Referenz 2060	219
Abbildung 46: Jährliche Fahrleistungen im Strassengüterverkehr 2060	220
Abbildung 47: Veränderung der Fahrleistungen im Strassengüterverkehr 2060	220
Abbildung 48: Jährliche Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr 2060	221
Abbildung 49: Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr 2060	221
Abbildung 50: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit auf der Strasse	222
Abbildung 51: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen 2060	223
Abbildung 52: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen 2060	223
Abbildung 53: Übersicht direkte und indirekte Effekte im Personenverkehr	225
Abbildung 54: Direkte Effekte: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Kosten der Betriebsmittel MIV (inkl. ÖIV) im Jahr 2060	229
Abbildung 55: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der ÖV-Tarife im Jahr 2060	230
Abbildung 56: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der Bewertung der Reisezeit (VoT) im MIV (inkl. ÖIV) im Jahr 2060	232
Abbildung 57: Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung des Aufkommens im MIV inkl. ÖIV (Neuverkehr aufgrund neuer Nutzende) 2060	233

Abbildung 58: Zusatzkosten/-nutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Stammverkehr MIV (inkl. ÖIV) 2060 _____	234
Abbildung 59: Zusatzkosten- bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Änderungen der Verkehrsleistungen und des Modal Split 2060 _____	235
Abbildung 60: Zusatznutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Automatisierung auf der Strasse 2060 _____	236
Abbildung 61: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten 2060 der beiden Effekte zusammen (Netto) _____	237
Abbildung 62: Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten _____	238
Abbildung 63: Zusatzkosten aus der Veränderung der externen Gesundheitsnutzen im Fuss- und Veloverkehr 2060 _____	239
Abbildung 64: Übersicht der direkten und indirekten Effekte im Güterverkehr _____	240
Abbildung 65: Direkte Effekte: Zusatznutzen aus der Veränderung der Kilometerkosten im Güterverkehr auf Strasse und Schiene im Jahr 2060 _____	242
Abbildung 66: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Verkehrsleistung (Modal Shift) _____	243
Abbildung 67: Zusatznutzen aus der Veränderung der Fahrzeugstunden im Strassengüterverkehr _____	243
Abbildung 68: Zusatzkosten- bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Änderung der Verkehrsleistungen bzw. Modal Split im Güterverkehr 2060 _____	244
Abbildung 69: Zusatznutzen aus der Veränderung der Unfallkosten aufgrund der Automatisierung im Güterverkehr auf der Strasse 2060 _____	245
Abbildung 70: Zusatzkosten bzw. -nutzen aus der Veränderung der Unfallkosten im Güterverkehr 2060 _____	245
Abbildung 71: Veränderung der Umwelt- und Gesundheitskosten im Güterverkehr 2060 _____	246
Abbildung 72: Ergebnisse der Machbarkeitsstudie im Szenario «Automatisierung» _____	248
Abbildung 73: Zusatzkosten bzw. – nutzen in den Szenarien im Jahr 2060 _____	250
Abbildung 74: Wirkungskette Automatisierung (Szenario 1) _____	260
Abbildung 75: Wirkungskette Sharing (Szenario 2) _____	265
Abbildung 76: Wirkungskette Servicewelt (Szenario 3) _____	268
Abbildung 77: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 1 und Sensitivitäten 1 und 3 im Jahr 2060 _____	302
Abbildung 78: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 1 und Sensitivitäten 1 und 3 im Jahr 2060 _____	302
Abbildung 79: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	303

Abbildung 80: Modal Split Verkehrsleistung–Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	303
Abbildung 81: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	304
Abbildung 82: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	304
Abbildung 83: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	304
Abbildung 84: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen –Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	305
Abbildung 85: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 1 und Sensitivitäten im Jahr 2060	305
Abbildung 86: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	306
Abbildung 87: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	307
Abbildung 88: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	307
Abbildung 89: Modal Split Verkehrsleistung–Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	308
Abbildung 90: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	308
Abbildung 91: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	308
Abbildung 92: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	309
Abbildung 93: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Vergleich Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	309
Abbildung 94: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 2 und Sensitivität 5 im Jahr 2060	310
Abbildung 95: Verkehrsaufkommen Personenverkehr – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060	311
Abbildung 96: Modal Split Verkehrsaufkommen – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060	311
Abbildung 97: Verkehrsleistung Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060	312
Abbildung 98: Modal Split Verkehrsleistung–Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060	312

Abbildung 99: Fahrleistungen MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	313
Abbildung 100: Fahrzeugstunden MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	313
Abbildung 101: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit im MIV Personenverkehr – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	314
Abbildung 102: Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Vergleich Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	314
Abbildung 103: Veränderung der Fahrleistungsanteile nach Streckentypen – Szenario 3 und Sensitivitäten im Jahr 2060 _____	315

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In der Studie oft verwendete Abkürzungen und deren Bedeutung _____	39
Tabelle 2: Teilprojekte des ASTRA-Forschungspaket «Auswirkungen des Automatisierten Fahrens» _____	41
Tabelle 3: Teilprojekte des ASTRA-Forschungspakets «Verkehr der Zukunft» _____	42
Tabelle 4: Strukturelemente Verkehr _____	44
Tabelle 5: Beispiele für Anwendungsfälle einer Sharing Economy im Gütertransport und der Logistik _____	71
Tabelle 6: Zusammenfassender Überblick der zentralen Achsen _____	72
Tabelle 7: Kategoriensystem für die Literaturverschlagnwortung _____	77
Tabelle 8: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken für den Personenverkehr _____	103
Tabelle 9: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken für den Güterverkehr _____	114
Tabelle 10: Übersicht der für die Operationalisierung der Szenarien relevantesten in der Literatur zu findenden Wirkungsstärken hinsichtlich der Verkehrsinfrastruktur _____	125
Tabelle 11: Personenverkehr - Gesundheit und Umwelt _____	135
Tabelle 12: Unfallvermeidungspotenzial nach Busch et al. (2020) für die Schweiz _____	137
Tabelle 13: Güterverkehr - Gesundheit und Umwelt _____	139
Tabelle 14: Zentrale Annahmen der Szenarien im Personenverkehr im Überblick _____	152
Tabelle 15: ÖV Tarifstruktur _____	156
Tabelle 16: Besetzungsgrade im NPVM (Basiszustand 2017 = Szenario 0 im 2060) _____	156
Tabelle 17: Veränderung der Mobilitätsrate im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0 _____	158
Tabelle 18: Veränderung des VoT im MIV im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0 _____	160
Tabelle 19: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0 _____	162
Tabelle 20: Veränderung der Mobilitätsrate im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 für Personen ohne PW _____	164
Tabelle 21: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf den Fahrtzweck _____	167
Tabelle 22: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf die Distanzklasse _____	167
Tabelle 23: Veränderung der Mobilitätsrate ggü. dem Szenario 0 im Szenario 3 von Personen ohne PW _____	168
Tabelle 24: Veränderung des VoT im Szenario 3 ggü. dem Szenario 0 _____	169

Tabelle 25: Veränderung der Besetzungsgrade im Szenario 3 ggü. dem Szenario 0 bezogen auf die Distanzklasse _____	171
Tabelle 26: Entwicklung zentraler Stellschrauben der Szenarien 1-3 im Vergleich zur Referenz im Personenverkehr im Überblick _____	172
Tabelle 27: Gewählte Themen bzw. Parameter der Sensitivitätsanalysen _____	173
Tabelle 28: Zentrale Annahmen der Szenarien im Güterverkehr im Überblick _____	174
Tabelle 29: Gesamtkostensätze AMG Referenz 2060 (CHF je ntkm) _____	176
Tabelle 30: Bedeutung der Warengruppen für den Strassentransport und Zuordnung zu Logistikklassen, 2060 (Referenz) _____	177
Tabelle 31: Bedeutung der Warengruppen für den Schienentransport und Zuordnung zu Logistikklassen, 2060 (Referenz) _____	178
Tabelle 32: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 1 ggü. dem Szenario 0	180
Tabelle 33: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 2 ggü. dem Szenario 0	183
Tabelle 34: Veränderung der Kostensätze im Güterverkehr im Szenario 3 _____	186
Tabelle 35: Zentrale Stellschrauben der Szenarien im Güterverkehr im Überblick _____	187
Tabelle 36: Zentrale Stellschraube des NPVM im Bereich Strasseninfrastrukturkapazität und deren Veränderung in den Szenarien 1–3 _____	189
Tabelle 37: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 1 «Automatisierung»	195
Tabelle 38: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 2 «Sharing» _____	196
Tabelle 39: Grundelemente und Wirkungen Personenverkehr Szenario 3 «Servicewelt» _____	197
Tabelle 40: Veränderungen im Personenverkehr gegenüber der Referenz 2060 _____	198
Tabelle 41: Veränderung des Wegeaufkommens nach Fahrtzwecken ggü. dem Szenario 0 im 2060 (%) _____	201
Tabelle 42: Veränderung des Wegeaufkommens nach Fahrtzwecken und Modus ggü. Referenz 2060 (%) _____	202
Tabelle 43: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 1 «Automatisierung» _____	213
Tabelle 44: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 2 «Sharing» _____	214
Tabelle 45: Grundelemente und Wirkungen Güterverkehr Szenario 3 «Servicewelt» _____	214
Tabelle 46: Veränderungen im Güterverkehr gegenüber der Referenz 2060 _____	215
Tabelle 47: Veränderungen der Fahrleistungen im PV und GV gegenüber Szenario 0 _____	222
Tabelle 48: Übersicht zu den Zusatzkosten (-) bzw. -nutzen (+) der Digitalisierung im Personenverkehr (Mrd. CHF p.a., Preisstand 2018) _____	227
Tabelle 49: Angenommene Kilometerkosten ÖV aus Sicht der Nutzenden (CHF/Pkm) _____	230
Tabelle 50: Value of Time (CHF/h) in den Szenarien 2060 _____	231
Tabelle 51: Unfallkostensätze der Referenz inkl. und exkl. Automatisierungseffekt _____	236

Tabelle 52: Übersicht zu den Zusatznutzen der Digitalisierung im Güterverkehr (Mrd. CHF, Preisstand 2018) _____	241
Tabelle 53: Veränderung der Branchenumsätze durch Automatisierung aus Literatur _____	255
Tabelle 54: Auswirkungen der Servicewelt auf Branchenumsätze _____	256
Tabelle 55: Szenario 1 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0 _	261
Tabelle 56: Szenario 2 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0 _	266
Tabelle 57: Szenario 3 – Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Vergleich zu Szenario 0 _	268
Tabelle 58: Übersicht der gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse (Veränderung zum Referenzszenario 2060) _____	270
Tabelle 59: Veränderung der Wertschöpfung verkehrsnaher Branchen 2060 im Vergleich zur Referenz _____	271
Tabelle 60: Veränderung der Beschäftigten verkehrsnaher Branchen 2060 im Vergleich zur Referenz _____	272
Tabelle 61: Ergebnisse der weiteren volkswirtschaftlichen Analyse _____	277
Tabelle 62: Chancen und Risiken des Szenarios «Automatisierung» nach Akteursgruppen _____	281
Tabelle 63: Chancen und Risiken des Szenarios «Sharing» nach Akteursgruppen _____	286
Tabelle 64: Chancen und Risiken des Szenarios «Servicewelt» nach Akteursgruppen _____	291
Tabelle 65: Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Analyse in der Übersicht _____	295
Tabelle 66: Grundlagen des VoT im MIV (PW) _____	298
Tabelle 67: Streckenkapazitäten NPVM _____	299

Glossar

Begriff	Beschreibung/Definition	Quelle(n)
Automatisierung	Automatisierung bedeutet, dass bestimmte Abläufe oder Tätigkeiten automatisiert mit Hilfe von neuen digitalen Technologien ablaufen. Automatisierung ermöglicht den selbständigen Betrieb von Maschinen. In Bezug auf die Mobilität spielt das automatisierte Fahren eine zentrale Rolle.	angelehnt an Eco-plan (2018)
Car-Pooling	Car-Pooling wird teilweise synonym sowohl für → Ride-Pooling als auch → Ride-Sharing verwendet, im Folgenden wird Ride-Pooling als Ride-Sharing verstanden	Mogge 2018, BMW 2019
Car-Sharing	Organisierte gemeinschaftliche Nutzung eines Fahrzeugs. Die Nutzung des Fahrzeugs findet nacheinander (sequenziell) statt. Das Angebot kann stationsgebunden (fixer Start- und Zielort) oder Free Floating (Start- und Zielort nach Bedarf) organisiert sein. Das Angebot auf kommerzieller oder privater Basis stattfinden.	BMW 2019
Digitalisierung	Ganzer oder teilweiser Ersatz der analogen Leistungserbringung durch Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell	Wolf und Strohschen 2018
Intermodalität	Das Verwenden von verschiedenen Verkehrsmodi während einer Reise von A nach B (sogenannte intermodale Mobilitätskette); Form der → Multimodalität.	UVEK 2018a
Mobility as a 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 multimodale Reisen auch ohne eigenes Fahrzeug geplant und durchgeführt werden können.	UVEK 2018a, ITS 2018
Multimodalität	Die Nutzung von verschiedenen Verkehrsmitteln innerhalb eines bestimmten Zeitraums, z.B. innerhalb eines Tages oder einer Reise. Diese Definition weicht ab von der gängigen Definition, wonach innerhalb eines Zeitraums verschiedene Verkehrsmodi genutzt werden.	UVEK 2018a, ITS 2018
Platooning	Fahren von mehreren Fahrzeugen in Kolonne, mit einem sehr geringen Abstand untereinander aufgrund Vernetzung und Automatisierung der Fahrzeuge	angelehnt an Jer-mann et al. 2017
Ride-Hailing	Teilen eines Fahrzeuges und eine Fahrt nach exklusivem Wunsch des Kunden. Der Kunde bucht die Fahrt über eine App/Vermittlungsplattform und legt den Start und das Ziel der Fahrt fest. Wird auch Ride-Selling genannt.	BMW 2019
Ride-Pooling	Teilen eines Fahrzeuges und bedarfsorientierte Bündelung verschiedener Fahrtwünsche von Personen, die Umwege/längere Fahrzeiten in Kauf nehmen (i.d.R. Fahrzeuge und Lenker kommerzieller Anbieter mit oder ohne Gewinnorientierung),	angelehnt an SOB und EBP 2018
Ride-Sharing	Teilen eines Fahrzeuges und einer Fahrt, die ohnehin stattfinden würde, von Personen mit gleichen Fahrtwünschen (i.d.R. Mitfahrgelegenheiten auf privater Basis (private PW und Lenker)	BMW 2019
Sharing (in der Mobilität)	gemeinschaftliche Nutzung von Verkehrsmitteln und Fahrten (sequenziell → Car-Sharing; simultan → Car-Pooling, Ride-Sharing, Car-Pooling, Ride-Pooling)	

Literatur

- 6-t bureau de recherche 2019:** Uses and Users of Free-Floating Electric Scooters in France.
<https://6-t.co/en/free-floating-escooters-france/>, letzter Zugriff am 23.10.2020.
- Abegg et al. 2018:** Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz, Schlussbericht Modul 3d «Städte und Agglomerationen».
- Aboukacem, E., Combes, F. 2020:** May autonomous vehicles transform freight and logistics, Beitrag auf dem 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board Washington, D.C., 2020.
- Alonso-González, M., van Oort, N.; Cats, O., Hoogendoorn-Lanser, S., Hoogendoorn, S. 2020:** Value of time and reliability for urban pooled on-demand services, in: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 115, S. 102621, 2020.
- Alonso Raposo, M., Grosso, M., Després, J., Fernández Macias, E., Galassi, C., Krasenbrink, A., Krause, J., Levati, L., Mourtzouchou, A., Saveyn, B., Thiel, C., Ciuffo, B. 2018:** An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe. JRC Science for Policy Report, JRC111477, EUR 29226EN, European Union, Luxembourg, 2018.
- Altenburg, S., Kienzler, H.-P., Auf der Maur, A. 2018:** Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte. Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit, Prognos im Auftrag von ADAC e.V., August 2018.
- Angst, V., Colesanti Senni, C., Maibach, M., Peter, M., Reidt, N., van Nieuwkoop, R. 2021:** Economic impact of decarbonization scenarios of the Swiss passenger transport sector, Nationales Forschungsprogramm 73 "Nachhaltige Wirtschaft", Schweizerischer Nationalfonds, ETHZ Economic Working Paper Series, 21/352, May 2021.
- ARE 2015:** Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG) – Methodenbeschreibung, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, 2015.
- ARE 2016a:** Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 – Synthesebericht, Bern, 2016.
- ARE 2016b:** Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 – Projektion 2050, Bern, September 2016.
- ARE 2019a:** Aktualisierung der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) auf den Basiszustand 2016, Bundesamt für Raumentwicklung, Schlussbericht, erarbeitet durch INFRAS und SSP Consult, Bern, März 2019.
- ARE 2019b:** Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017, Schlussbericht, Bundesamt für Raumentwicklung, erarbeitet durch TransOptima, TransSol, PTV und Strittmatter Partner Bern, Dezember 2019.

- ARE 2020a:** Modelletablierung Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017, Schlussbericht, Bundesamt für Raumentwicklung, erarbeitet durch TransOptima, TransSol, PTV und Strittmatter Partner Bern, Mai 2020.
- ARE 2020b:** Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2017, Juni 2020.
- ARE 2020c:** Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2017, Bern, 2020.
- Azevedo et al. 2016:** Microsimulation of Demand and Supply of Autonomous Mobility On Demand. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2564 (January 2016): Seiten 21–30.
- Axhausen, K.W., Livingston, C., Hörl, S., Bruns, F., Fischer, R., Tasnady, B. 2020:** Auswirkungen des Automatisierten Fahrens: Teilprojekt 2, Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf. Forschungsprojekt ASTRA 2018/002.
- Axhausen, K.W., Sammer, G. 2001:** Stated responses: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten. Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, Nr. 73, ETH Zürich, 2001.
- Bauwens, M., Mendoza, N. & Iacomella, F. 2012.** Synthetic Overview of the Collaborative Economy. P2P Foundation. 2012.
- BAV 2020:** Bundesrat will Kombination verschiedener Verkehrsmittel erleichtern und dazu eine Dateninfrastruktur schaffen, Medienmitteilung vom 01.07.2020, abgerufen am 22.07.2020 [https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/medienmitteilungen.msg-id-79690.html].
- Bertoncello et al. 2016:** Monetizing car data. New service business opportunities to create new customer benefits. McKinsey&Company. Advanced Industries, September 2016.
- BFS 2019:** Statistik der Kosten und der Finanzierung des Verkehrs 2015, Neuchâtel, 2019.
- BFS 2020a:** Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020–2050, Neuchâtel, Mai 2020.
- BFS 2020b:** Statistik der Kosten und der Finanzierung des Verkehrs 2017, Neuchâtel 2020.
- Birner et al. 2017:** Autonomes Fahren findet Stadt, Szenarien, Wirkungen und Bedeutung für kommunale Stadt- und Verkehrsplanung, Technische Universität Berlin; 2017.
- Bischoff, J. 2019:** Mobility as a Service and the transition to driverless systems. Dissertation, TU Berlin, Mai 2019.
- Bischoff, J., Maciejewski, M. 2016:** Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin, in: Procedia Computer Science, 83, S. 237–244.
- BMVI 2017:** Automatisiertes und vernetztes Fahren, Bericht der Ethik-Kommission, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, Juni 2017.

- BMW 2019:** Die wichtigsten Begriffe der «Shared Mobility», abgerufen am 03.03.2020
[<https://www.bmw.com/de/innovation/Car-Sharing-und-shared-mobility.html#pwjt-ride-hailing>], November 2019.
- BMW, DLR, DB Rent GmbH, Landeshauptstadt München, Universität der Bundeswehr München, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2016:** Wirkung von E-Car Sharing Systemen auf Mobilität und Umwelt in urbanen Räumen (WiMobil). Abschlussbericht. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- Böheim et al. 2018:** Auswirkungen der Digitalisierung auf die Entwicklung von Wirtschaftsräumen, WIFO-Monatsberichte, 91(12), S. 881-890.
- Boenigk, S., Möhlmann, M. 2015:** Eine empirische Studie über das StadtrAD Hamburg. Universität Hamburg, <http://mobility-workspace.eu/wp-content/uploads/Studie-der-Universita%C2%A6%C3%AAt-Hamburg-u%C2%A6%C3%AAb-der-StatdRAD-Hamburg.pdf>, letzter Zugriff am 23.10.2020.
- Bösch, P.M., Becker, F., Becker, H., Axhausen, K.W. 2018:** Cost-based analysis of autonomous mobility services, Transport Policy, 64, S. 76-91.
- Bösch, P.M., Müller, K., Ciari, F. 2016:** The ivt 2015 baselinescenario, 16th Swiss Transport Research Conference, zitiert in Hörl et al. (2019), Ascona, Mai 2016.
- Bratzel, S., Tellermann, R., Girardi, L. 2020:** MobilitySERVICES Report (MSR) 2020
Entwicklungstrends der Mobilitätsdienstleistungen von Automobilherstellern und Mobility Providern. CAM Report 09 2020, Center of Automotive Management, Bergisch Gladbach
- Bruns, F., Abegg, C., Pahud-Schiesser, N. 2020:** Verkehr der Zukunft 2060: Wechselwirkungen Verkehr und Raum, Forschungsprojekt SVI 2017/002.
- Bruns, F., de Haan, P., Bianchetti, R., Stetter, A. 2018:** Weiterentwicklung der Fahrzeugbetriebskostensätze für Kosten-Nutzen-Analysen. Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsprojekt auf Antrag des VSS 1635.
- Bruns, F., Rothenfluh, M., Neuenschwander, M., Sutter, M., Belart, B., Egger, M. 2018:** Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz“, Schlussbericht Modul 3c: «Mögliche Angebotsformen im kollektiven Verkehr (ÖV und ÖIV)», EBP Schweiz AG, Zürich, Schlussbericht.
- Buffat, M., Sommer, H., Amacher, M., Mohagheghi, R., Beckmann, J., Brügger, A. 2018:** Individualisierung des ÖV-Angebots - Analyse der Auswirkungen der Individualisierung und weiterer angebots- und nachfragerrelevanten Trends auf die zukünftige Ausgestaltung des ÖV-Angebots. Ecoplan, Bern, Forschungsprojekt auf Antrag der SVI 1633.
- Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., Macharis, C. 2017:** Crowd logistics: an opportunity for more sustainable urban freight transport?, European Transport Research Review, 9:3, S. 39.

- Bullis, K. 2011:** How vehicle automation will cut fuel consumption - Cars that park themselves and automatically convoy with other cars could reduce congestion and emissions, MIT's Technology Review, <https://www.technologyreview.com/s/425850/how-vehicle-automation-will-cut-fuel-consumption>, letzter Zugriff am 07.04.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2016:** Grünbuch: Digitale Plattformen, Berlin.
- Bundesrat 2016:** Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 «Automobilität», Bern, 21. Dezember 2016.
- Bundesrat 2017:** Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft, Bern.
- Bundesrat 2018a:** Strategie «Digitale Schweiz», vom Bundesrat verabschiedet am 5. September 2018.
- Bundesrat 2018b:** Aktionsplan Digitale Schweiz, 5. September 2018.
- Busch, F., Krause, S., Fehn, F., Richner, M., Armbruster, S., Winzer, T. 2020:** Auswirkungen des automatisierten Fahrens, Teilprojekt 5: Mischverkehr, TU München und Gruner AG, Forschungsprojekt ASTRA 2018/005 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA, Oktober 2020.
- Childress, S., Nichols, B., Charlton, B., Coe, S. 2015:** Using an Activity-Based Model to Explore the Potenzial Impacts of Automated Vehicles. Transportation Research Record, 2493:1, S. 99–106.
- Ciari, F., Axhausen, K.W. 2012:** Choosing carpooling or car sharing as a mode: Swiss stated choice experiments. Beitrag auf dem 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- Circella, G., Handy, S. 2019:** Panel Study of Emerging Transportation Technologies and Trends in California: Phase 2 Data Collection. UC Davis: National Center for Sustainable Transportation, 2019.
- Clements, Lewis M., Kockelman, Kara M. 2017:** Economic Effects of Automated Vehicles. Transportation Research Record, 2606:1, S.106-114.
- Clewlow, R., Mishra, G.S. 2017:** Disruptive Transportation: The Adoption, Utilization, and Impacts of Ride-Hailing in the United States. Forschungsbericht. Davis: Institute of Transportation Studies, University of California.
- Correia G.H., Loeff, E., van Cranenburgh, S., Snelder, M., van Arem, B. 2019:** On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 119, S. 359–382.

- Cyganski, R., Fraedrich E., Lenz, B. 2015:** Travel time valuation for automated driving: A use-case driven study. Beitrag auf dem 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- D’Achille, G., Dumauthioz, M., Löhrer, T., Singler, S. 2019:** Shape the Future of Mobility – Für ein zukunftsfähiges Schweizer Mobilitätssystem, pwc und Universität St. Gallen.
- Daimler Benz 2015:** Vorbote einer Mobilitätsrevolution Der Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion. Stuttgart.
- De Haan, P., Erny, I., Perch-Nielsen, S., Steurs, L. 2018:** Relevante Faktoren für ein Mobilitätssystem mit geringen Umweltwirkungen, EBP Schweiz AG, Zollikon, Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- De Haan, P., Straumann, R., Bianchetti, R., Stetter, A., Oehry, B. 2020:** Verkehr der Zukunft 2060: Technologischer Wandel und seine Folgen für Mobilität und Verkehr, Forschungsprojekt SVI 2017/003.
- Del Duce, A., Trachsel, T., Hoerler, R. 2020:** Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 6: Räumliche Auswirkungen, Forschungsprojekt ASTRA 2018/006.
- Deloitte 2016:** The rise of the sharing economy. Impact on the transportation space.
- Deloitte 2017:** Global Truck Study 2016: The truck industry in transition.
- Dennisen, T., Kritzingler, S., Altenburg, S., Auf der Mauer, A., Mayer, N. 2016:** Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040 - Schlussbericht zum Projekt im Kontext der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040. Prognos im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), Bern.
- Deutsch, V. 2019:** Mehr oder weniger Autos: Car-Sharing-Betriebsformen und Auswirkungen auf die Autoabschaffung, in: Strassenverkehrstechnik 63, 3, S. 177–80.
- Deublein, M. 2020:** Automatisiertes Fahren. Mischverkehr, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern.
- Dierkes, F., Friedrich, B., Heinrich, T., Hoffmann, S., Maurer, M., Reschka, A., Schendzielorz, T., Ungureanu, T., Vogt, S. 2019:** Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 130, Dezember 2019.
- EBP 2018:** Weiterentwicklung der Fahrzeugbetriebskostensätze für Kosten-Nutzen-Analysen, Forschungsprojekt VSS 2015/116 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Juli 2018.
- EBP und Interface 2015:** Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Initialprojekt, Forschungsprojekt SVI 2011/021, Dezember 2015.
- Ecoplan/Mobilitätsakademie 2018:** Individualisierung des ÖV-Angebots – Analyse der Auswirkungen der Individualisierung und weiteren angebots- und nachfragerrelevanten Trends auf

die zukünftige Ausgestaltung des ÖV-Angebots, Forschungsprojekt SVI 2014/004 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), Mai 2018.

Ecoplan 2015: Branchenszenarien 2011 bis 2030/2050, Aktualisierung 2015, Schlussbericht, im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE und des Bundesamts für Energie BFE, Oktober 2015.

Ecoplan 2018: Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität, Machbarkeitsstudie, Schlussbericht, im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE, Bern, 2. Juli 2018.

Eichhorst, W., Speermann A. 2015: Sharing Economy – Chancen, Risiken und Gestaltungsoptionen für den Arbeitsmarkt, IZA Research Report, 69.

EMPA Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt 2021: Sehtest für autonome Autos, abgerufen am 14.07.2021 [<https://www.empa.ch/web/s604/eq70-autonomes-fahren>].

Engelke et al. 2019: Raumwirksamkeit der Digitalisierung – Ergebnisse einer breit angelegten Delphi Umfrage, Hochschule für Technik Rapperswil. DOI 10.5281/zenodo.3459431.

Fagnant, D.J., Kockelman, K.M. 2014: The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios, in: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40, S. 1–13.

Fagnant, D.J., Kockelman, K.M. 2015: Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on Self-Driven vehicles, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Bd. 77, S. 1–20.

Fagnant, D.J., Kockelman, K.M. 2018: Dynamic Ride-Sharing and Fleet Sizing for a System of Shared Autonomous Vehicles in Austin, Texas, in: Transportation, 45: 1, S. 143–58.

Fischer, R., Perret, F., Bruns, F. 2018: Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz“, EBP Schweiz AG, Zürich, Schlussbericht.

Fitzpatrick, D., Cordahi, G., Hamilton, B.A. 2017: Challenges to CV and AV Applications in Truck Freight Operations. National Academies of Sciences, Washington, D.C.

Flämig, H. 2015: Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes, in: Maurer et al. (Hrg.): Autonomes Fahren. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 377–398.

Flämig, H., Lunkeit, S., Fieltsch, P., Müller, S., Thaller, C., Liedker, G., Voigtländer, F., Janke, C. 2020: ATLaS: Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik -Chancen für mehr Wertschöpfung. Projektbericht des Verbundvorhabens. Hamburg, 2020.

Follmer, R., Prisig, T., Belz, J., Eggs, J., Gruschwitz, D., Kellerhoff, J., Roggendorf, M. 2019: Mobilität in Deutschland – MiD Regionalbericht Metropolregion Hamburg und Hamburger

Verkehrsverbund GmbH. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur und der Stadt Hamburg. Bonn, Berlin.

Forum bikesharing Schweiz 2020: Was bedeutet die geteilte Mikromobilität für das Schweizer Verkehrssystem? Infoletter Nr. 11-2020, https://www.bikesharing.ch/fileadmin/ministries/redaktion/bikesharing/Dokumente/Newsletter/Infoletter_Bikesharing_Juni_2020_Web_de.pdf, letzter Zugriff am 22.10.2020.

Fraedrich et al. 2015: Transition pathways to fully automated driving and its implications for the sociotechnical system of automobility, in: *Eur J Futures Res* 3, 11. <https://doi.org/10.1007/s40309-015-0067-8>.

Fraedrich, E., Kröger, L., Bahamonde-Birke, F., Frenzel, I., Liedke, G., Trommer, S., Lenz, B., Heinrichs, D. 2017: Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen, Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg GmbH, Stuttgart, https://www.emobil-sw.de/fileadmin/media/emobilbw/Publikationen/Studien/Studie_AutomatisiertesFahren.pdf, letzter Zugriff am 11.03.2020.

Friedrich, B. 2015: Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge, in: Maurer et al. (Hrg.) *Autonomes Fahren*, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 331-350.

Gesing, B. 2017: Sharing Economy Logistics - Rethinking logistics with access over ownership, DHL Trend Report, https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/DHLTrend_Report_Sharing_Economy.pdf, letzter Zugriff am 14.05.2020.

Giuffrè, T., Siniscalchi, S., Tesoriere, G. 2012: A Novel Architecture of Parking Management for Smart Cities, in: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, S. 16–28.

Gloor, U., Guillaume-Gentil, S., Allenspach, A., Vincent, T., Weber, R., Blum, C., Smith, A., Grabbe, J., Neuenschwander, R., Joray, R. 2020: Verkehr der Zukunft 2060: Stadtverträgliche Mobilität – mobilitätsgerechte Stadt der Zukunft, Forschungsprojekt SVI 2017/004.

Grass, E., Brinkmann, F., Scheier, B. 2020: TAVF – Abschlussbericht AP 4.2 Analyse des Nutzens und der Kosten des automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF). DLR, unveröffentlichter Bericht.

Guerra, E., Morris, E.A. 2018: Cities, Automation, and the Self-parking Elephant in the Room, in: *Planning Theory & Practice*, 19:2, S. 291–297.

Günthner 2017: Neue digitale Bequemlichkeiten und die europäische Stadt. Digitale Technologien und Raumnutzung, BBSR-Analysen Kompakt, Nr.02/2017, ISBN 978-3-87994-753-9.

Haefeli, U., Matti, D., Schreyer, C., Maibach, M. 2006: Evaluation Car-Sharing. Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schlussbericht.

- Haefeli, U., Artho, J., Oechslin, L., Studer, S., Weber, U. 2020:** Auswirkungen des Automatisierten Fahrens: Teilprojekt 1, Folgen der demographischen Alterung für den Verkehr. Forschungsprojekt ASTRA 2018/001.
- Hahn, A., Pakusch, C., Stevens, G. 2020:** Die Zukunft der Bushaltestelle vor dem Hintergrund von Mobility-as-a-Service – Eine qualitative Betrachtung des öffentlichen Personennahverkehrs in Deutschland, in: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 57:2, S. 348–365.
- Hasse et al. 2017:** Digital mobil in Deutschlands Städten. Projektbericht. PricewaterhouseCoopers GmbH.
- Haucap, J. 2015:** Ökonomie des Teilens – nachhaltig und innovativ? Die Chancen der Sharing Economy und ihre möglichen Risiken und Nebenwirkungen, DICE Ordnungspolitische Perspektiven, 69.
- Heinrichs, D. 2015:** Autonomes Fahren und Stadtstruktur, in: Maurer et al. (Hrg.) Autonomes Fahren, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 220-239.
- Herzog, E., Wehrli, R., Hassler, M., Schärer, S., Sigrist, S. 2017:** Zukunft digitale Schweiz. Wirtschaft und Gesellschaft weiter denken, economieuisse und W.I.R.E., Zürich.
- Hess, A., Polst S. 2017:** Mobilität und Digitalisierung: Vier Zukunftsszenarien, Bertelsmann Stiftung, Gütersloh.
- Hofer, M., Raymann, L., Perret, F. 2018:** Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz, Modul 3f Güterverkehr / City Logistik (Strasse), März 2018.
- Hollingsworth, J., Copeland, B., Johnson, J. 2019:** Are E-Scooters Polluters? The Environmental Impacts of Shared Dockless Electric Scooters, in: Environmental Research Letters 14, Nr. 8, S. 084031.
- Hörl, S., Becker, F., Dubernet, T., Axhausen, K.W. 2019:** Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge – Eine Abschätzung, Forschungsprojekt SVI 2016/001 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), ETH Zürich, Februar 2019.
- Huang, Y., Kockelman, K.M., Quarles, N. 2019:** How will self-driving vehicles affect U.S. megaregion traffic? The case study of the Texas-Triangle, the 98th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Conference Paper.
- Hülsmann, F., Wiepking, J., Zimmer, W., Sunderer, G., Götz, K., Sprinke, Y. 2018:** share – Wissenschaftliche Begleitforschung zu car2go mit batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen. Forschung zum free-floating Car-Sharing. Abschlussbericht. Forschungsvorhaben gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Berlin: Ökoinstitut, ISOE, car2go.

- INFRAS 2016:** Volkswirtschaftliche Aspekte und Auswirkungen des Projekts Cargo sous terrain (CST), Schlussbericht, Zürich, September 2016.
- INFRAS 2017:** Quo vadis Werkplatz? Entwicklungen und Perspektiven von Industrie und Gewerbe in der Stadt Zürich, im Auftrag der Stadtentwicklung Zürich und des Schweizerischen Städteverbands SSV, August 2017.
- INFRAS/TranSol/TransOptima/Ecoplan 2019:** Mobility Pricing – Wirkungsanalyse am Beispiel der Region Zug, im Auftrag des Bundesamts für Strassen, Schlussbericht, Zürich/Wolterau/Olten/Bern, April 2019.
- INFRAS/KCW/HSG 2020:** Evaluation des Konzessionsrechts in den Bereichen Bahninfrastruktur und Personenbeförderung, im Auftrag des Bundesamts für Verkehr, Schlussbericht, Zürich/Berlin/St.Gallen, 2020.
- Interface/EBP 2020:** Potenzialanalyse multimodale Mobilität – Verlagerungswirkungen, Erhöhung des Fahrzeugbesetzungsgrades sowie Reduktion Organisationsaufwand für Reisende im ÖV bis 2030, Bericht zuhanden des Bundesamts für Verkehr (BAV Oktober 2020, unveröffentlicht).
- ITF 2015:** Urban Mobility System Upgrade: How self-driving cars could change city traffic. OECD Publishing.
- ITF 2016:** Shared Mobility. Innovation for Liveable Cities. Corporate Partnership Board.
- ITF 2017:** Managing the Transition to Driverless Road Freight Transport, OECD Publishing.
- ITF 2018:** Cooperative Mobility Systems and Automated Driving: Summary and Conclusions of the ITF Roundtable on Cooperative Mobility Systems and Automated Driving 06-07 December 2016, Ottawa. OECD Publishing.
- ITF 2020:** Shared Mobility Simulations for Lyon - Case-specific policy analysis, OECD Publishing, Nr. 74, Paris.
- ITS 2018:** Mobilitäts-Plattformen, Abschlussbericht Arbeitsgruppe, September 2018.
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I., de Kruijff, J. 2015:** Truck Platooning. Driving the future of transportation, TNO Whitepaper, <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:778397eb-59d3-4d23-9185-511385b91509>, letzter Zugriff am 11.03.2020.
- Javanmardi, M., Auld, J., Verbas, O. 2018:** Analyzing Intra-household Fully Autonomous Vehicle Sharing, Beitrag auf der 98th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Jermann, J., Steinle, M., Luisoni, A., Bohne, S., Schweizer, N., Schmid, T. 2020:** Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 4: Neue Angebotsformen, Rapp Trans AG, Forschungsprojekt ASTRA 2018/004 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), November 2020.

- Jermann, J., Oehry, B., Bosch, R., Schmid, T., Gasser, Y., Driel, C., Kryeziu, G. 2017:** Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandhaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen – Machbarkeitsanalyse, im Auftrag des Bundesamts für Strassen ASTRA, Basel, 11. August 2017.
- Juliussen, E. 2015:** Google's Self-Driving Car Strategy and Implications. IHS Automotive Technology, IHS Markit, London, 2015. [http://www.oesa.org /Publikationen/OESA-News/November-2015/Googles-Self-Driving-Car-Strategy-and-Implications.html](http://www.oesa.org/Publikationen/OESA-News/November-2015/Googles-Self-Driving-Car-Strategy-and-Implications.html)
- Kaufman, S.M., Buttenwieser, L. 2018:** The State of Scooter Sharing in United States Cities. Rudin Center for Transportation.
- Keese, S., Aulbur, W., van Marwyk, K., Rentzsch, W. 2018:** Shifting up a gear. Automatisierung, Elektrifizierung und Digitalisierung in der Transportindustrie, Roland Berger, München.
- Kenney, M., Zysman, J. 2015:** Choosing a future in the platform economy: Implications and consequences of digital platforms, Kauffman Foundation New Entrepreneurial Growth Conference, Discussion Paper, Amelia Island Florida.
- Killich, S. 2001:** Formen der Unternehmenskooperation. In Becker T., Dammer I., Howaldt J., Loose A. (Hrsg.) Netzwerkmanagement. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- Klausner, S., Irtenkauf, P. 2013:** Autonome Kolonnenfahrt auf Autobahnen: Stand der Technik, Umsetzung, Auswirkungen auf den Verkehrsfluss. Masterarbeit, Universität Stuttgart.
- Kohli, S., Willumsen, L. 2016:** „Traffic Forecasting and Autonomous Vehicles“, Beitrag auf der European Transport Conference 2016, Barcelona.
- Kolarova, V., Cyganski, R., Lenz, B. 2019:** Activities while travelling? Travel time perception and time use in an era of automated driving, in: Ben-Elia (Hrsg.) The evolving impact of ICT on activities and travel behavior. Advances in Transport Policy and Planning, 3. Elsevier, S. 171-206.
- Kolarova, V., Steck, F. 2020:** Estimating impact of autonomous driving on value of travel time savings for long-distance trips using revealed and stated preference methods, in: Goulias und Davis (Hrsg.) Mapping the Travel Behavior Genome. The Role of disruptive technologies, automation, and experimentation. Elsevier, S. 561–575.
- KPMG Australia und Ecoplan 2020:** Scénarios par branche et leur régionalisation, rapport finale, Bericht zuhanden des Amtes für Raumentwicklung ARE, Bundesamt für Energie BFE und Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Oktober 2020.
- Krause, S, Motamedidehkordi, N., Hoffman, S., Busch, F., Hartmann, M., Vortisch, P. 2017:** Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur“, Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Krueger, R., Rashidi, T.H., Rose, J.M. 2016:** Preferences for shared autonomous vehicles, in: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 69, S. 343–355.

- Lavieri, P.S., Bhat, C.R. 2019:** Investigating objective and subjective factors influencing adoption, frequency and characteristics of ride-hailing trips, in: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, S. 100–125.
- Lex, C., Grasser, S., Jäger, F. 2017:** Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfeldern beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen“, VDA, FAT-Schriftenreihe 297.
- Linden, E., Wittmer, A. 2018:** Zukunft Mobilität: Gigatrend Digitalisierung und Megatrends in der Mobilität, CFAC-HSG, St. Gallen, Januar 2018.
- Liu, T., Zhao, C. 2019:** Study the Impacts of Freight Consolidation and Truck Sharing on Freight Mobility, Oklahoma State University.
- Loose, W. 2016:** Mehr Platz zum Leben – wie Car-Sharing Städte entlastet. Ergebnisse des bcs-Projektes ‚Car-Sharing im innerstädtischen Raum – eine Wirkungsanalyse‘. Berlin: bcs.
- Lutzenberger, M., Trinker, U., Federspiel, E., Frölicher, J., Georgi, D., Ulrich, S., Wozniak, T. 2018:** Shared Economy und der Verkehr in der Schweiz, Swiss Economics und HSLU, Forschungsprojekt auf Antrag des SVI 1641.
- MAN, DB Schenker, Hochschule Fresenius 2019:** EDDI - Elektronische Deichsel - Digitale Innovation, Kurzbericht mit Ergebnispräsentation, https://www.truck.man.eu/man/media/de/content_medien/doc/global_corporate_website_1/presse_und_medien_1/2019_5/190510_MTB_Platooning_EDDI_Zusammenfassung.pdf, letzter Zugriff am 07.04.2020.
- Manke et al. 2015:** Strukturwandel im deutschen Einzelhandel - Warum gerade Klein- und Mittelstädte von den Folgen des Strukturwandels im Einzelhandel besonders betroffen sind. Red Paper | Retail & Consumer N° 8, BearingPoint & IHD.
- Martin, E., Shaheen, S. 2016:** The Impacts of Car2go on Vehicle Ownership, Modal Shift, Vehicle Miles Traveled, and Greenhouse Gas Emissions: An Analysis of Five North American Cities. University of California, Berkeley, tsrc working paper.
- McKenzie, G. 2020:** Urban mobility in the sharing economy: A spatiotemporal comparison of shared mobility services, in: *Computers, Environment and Urban Systems*, Bd. 79, S. 101418.
- Melo, S., Macedo, J., Baptista, P. 2019:** Capacity-sharing in logistics solutions: A new pathway towards sustainability, in: *Transport Policy*, Bd. 73, S. 143–151
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P.M., Axhausen, K.W. 2017:** Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?, in: *Research in Transportation Economics*, Bd. 62, S. 80–91.
- Milakis, D., Gebharth, L., Ehebrecht, D., Lenz, B. 2020:** Is micro-mobility sustainable? An overview of implications for accessibility, air pollution, safety, physical activity and subjective

wellbeing. In: Curtis, C. (Hrsg.), Handbook of Sustainable Transport. UK: Edward Elgar, Preprint.

- Milakis, D., van Arem, B., van Wee, B. 2017:** Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research, in: Journal of Intelligent Transportation Systems, 21:4, S. 324–48.
- Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, B. 2017:** Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: Scenarios for 2030 and 2050, in: European Journal of Transport and Infrastructure Research, 17:1, S. 63–85.
- Mitteregger, M., Bruck, E., Soteropoulos, A., Stickler, A., Berger, M., Dangschat, J.S., Scheuven, R., Banerjee, I. 2020:** AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mogge, K. 2018:** Abgrenzung und Begriffsbestimmung neuer Mobilitätskonzepte, Analyse des Begriffs- und Konzeptverständnis von Bürgern bezüglich neuer, bedarfsorientierter Mobilitätsangebote, Masterarbeit, 26. Juli 2018.
- Mühlethaler, F., Axhausen, K.W., Ciari, F., Tschannen-Süess, M., Gertsch-Jossi, U. 2011:** Potenzial von Fahrgemeinschaften, Forschungsauftrag ASTRA 2008/017 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen Dezember 2011.
- Mulley, M., Nelson, J. 2020:** How Mobility as a Service impacts public transport business models, Discussion paper, International Transport Forum, 2020.
- Nowak, G., Maluck, J., Stürmer, C., Pasemann, J. 2016:** The era of digitized trucking - Transforming the logistic value chain, PwC Strategy&, <http://www.strategyand.pwc.com/reports/era-of-digitized-trucking>, letzter Zugriff am 11.03.2020.
- Nowak, G., Kauschke, P., Viereckl, R., Starke, F. 2018:** The era of digitized trucking - Charting your transformation to a new business model. PwC Strategy&, <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2018/the-era-of-digitized-trucking/the-era-of-digitized-trucking-charting-your-transformation.pdf>, letzter Zugriff am 15.05.2020.
- Oehry, B., Luisoni, A., Jermann, J., von Driel, C., Del Duce, A., Hoppe, M., Trachsel, T., Schmelzer, H. 2020a:** Verkehr der Zukunft 2060: Neue Angebotsformen – Organisation und Diffusion, Forschungsprojekt SVI 2017/006.
- Oehry, B., Jermann, J., Bohne, S., Frick, R., Ickert, L., Greinus, A., Schippl, J., Fleischer, T., Reichenbach, M. 2020b:** Auswirkungen des Automatisierten Fahrens: Teilprojekt 1, Nutzungsszenarien und Auswirkungen. Forschungsprojekt ASTRA 2017/007.
- Ökoinstitut/INFRAS (2015):** Nutzen statt Besitzen - Neue Ansätze für eine Collaborative Economy, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), UBA-Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung 03/2015.

- Pau, G., Campisi, T., Canale, A., Severino, A., Tesoriere, G. 2018:** Smart Pedestrian Crossing Management at Traffic Light Junctions through a Fuzzy-Based Approach, in: Future Internet, 10:2, S. 15.
- Perret, F., Arnold, T., Fiescher, R., de Haan, P., Häfeli, U. 2020:** Automatisiertes Fahren in der Schweiz: Das Steuer aus der Hand geben?, TA-SWISS Publikationsreihe (Hrsg.): TA 71/2020, vdf, Zürich, 2020.
- Perrine et al. 2020:** Anticipating long-distance travel shifts due to self-driving vehicles. Journal of Transport Geography. 82. 102547. 10.1016/j.jtrangeo.2019.102547.
- Protzmann et al. 2018:** IV2X Integrierte Betrachtung Fahrzeugkommunikation, Bericht des Projektes SAFARI (Sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren mit selbstaktualisierenden Karten im Testfeld Berlin Reinickendorf).
- PTV, Fraunhofer ISI, MFive 2019:** Verlagerungswirkungen und Umwelteffekte veränderter Mobilitätskonzepte im Personenverkehr. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Karlsruhe.
- Publibike 2020:** Sponsoren und Partner, abgerufen unter <https://www.publibike.ch/de/publibike/Sponsors> am 30.10.2020.
- Rapp Trans 2017:** Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs, Forschungsprojekt ASTRA 2015/004 auf Antrag des Bundesamtes für Straßen (ASTRA), Juni 2017.
- Raux, C., Zoubir, A., Geyik, M. 2017:** Who are bike sharing schemes members and do they travel differently? The case of Lyon's "Velo'v" scheme, in: Transportation Research Part A Policy and Practice, 106, S. 350-363.
- RealLabHH 2020:** Internetseiten des Projektes Reallabor Hamburg, abgerufen am 12.04 [https://reallab-hamburg.de/].
- Richter und Köster 2014:** Die hochgenaue digitale Karte als Sensor der Zukunft für Fahrerassistenz und Automation, in: 24. Verkehrswissenschaftliche Tage 2014.
- Riegler, S., Juschten, M., Hössinger, R., Gerike, R., Rössger, L., Schlag, B., Mant, W., Rentschler, C., Kopp, J. 2016:** Carsharing 2025 - Nische oder Mainstream?. ifmo.
- Rifkin, J. 2014:** Die Null-Grenzkosten-Gesellschaft: Das Internet der Dinge, kollaboratives Gemeingut und der Rückzug des Kapitalismus, Frankfurt a.M./New York.
- Riggs, W., Appleyard, B., Johnson, M. 2020:** A design framework for livable streets in the era of autonomous vehicles, in: Urban, Planning and Transport Research, 8:1, 125-137.
- SBB 2019:** Mobilitätsszenarien für die Schweiz. Überlegungen der SBB AG. Bern, Juni 2019.
- Schaller, B. 2019:** The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities. New York: Schaller Consulting.

- Schmitt, K., Muser, M., Huwiler, K., Cavegn, M., Studer, S., Gerster, B., Hagedorn, C. 2019:** Neue Fortbewegungsmittel im Langsamverkehr: Potenziale, Sicherheit und rechtliche Aspekte, Forschungsprojekt SVI 2016/004 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure (SVI).
- Sessa, C., Alessandrini, A., Flament, M., Hoadley, S., Pietroni, F., Stam, D. 2016:** The Socio-Economic Impact of Urban Road Automation Scenarios. CityMobil2 Participatory Appraisal Exercise. In: Meyer und Beiker (Hrsg.) Road Vehicle Automation 3. Springer International Publishing, S. 163-186.
- Sewalkar und Seitz 2019:** Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges. *Sensors* **2019**, *19*, 358.
- Shaheen, S., Chan, N. (2016):** Mobility and the Sharing Economy: Potenzial to Overcome First- and Last-Mile Public Transit Connections. UC Davis: Institute of Transportation Studies, Berkeley, 2016.
- Shladover, S.E. Novakowski, C., Lu, X.Y., Ferlis, R. 2015:** Cooperative Adaptive Cruise Control: Definitions and Operating Concepts, in: Transportation Research Record, 2489:1, S. 145-152.
- Singleton, P.A. 2019:** Discussing the “Positive Utilities” of Autonomous Vehicles: Will Travellers Really Use Their Time Productively?, in: Transport Reviews, 39:1, S.50–65.
- Sinner, M., Weidmann, U. 2019:** Betriebskosten automatisierter ÖV-Systeme—ein Annäherungsversuch, in: Eisenbahntechnische Rundschau, 68:10, S. 84–89.
- smartrail 4.0 2019a:** Glossar DE, [https://smartrail40.ch/service/download.asp?mem=0&path=\download\downloads\SR40%20Glossar%20\(deutsch\).pdf](https://smartrail40.ch/service/download.asp?mem=0&path=\download\downloads\SR40%20Glossar%20(deutsch).pdf), letzter Zugriff am 01.03.2020, Dezember 2019.
- smartrail 4.0 2019b:** Expertenbericht zuhanden des Bundesamts für Verkehr (BAV), Dezember 2019.
- smartrail 4.0 2020:** Wichtigste Fragen und Antworten zu smartrail 4.0 und dem Ergebnis der Konzeptphase (2017-2019), verabschiedet vom LA vom 7. April 2020. <https://www.smartrail40.ch/service/download.asp?mem=0&path=\download\downloads\Management%20Summary%20Ergebnis%20Konzeptphase.pdf>, letzter Zugriff am 18.8.2020
- SOB und EBP 2018:** Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz, Schlussbericht Modul 3c «Mögliche Angebotsformen im kollektiven Verkehr (ÖV und ÖIV)», definitive Fassung, im Auftrag des Basler Fonds, Schweizerischer Städteverband und weitere Partner, Zürich, 19. April 2018.
- Soteropoulos, A., Stickler, A., Sodl, V., Berger, M., Dangschat, J.S., Pfaffenbichler, P., Emberger, G., Frankus, E., Braun, R., Schneider, F., Kaiser, S., Wakolbinger, H., Mayerthaler, A.**

- 2019:** SAFiP - Systemszenarien Automatisiertes Fahren in der Personenmobilität. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Wien, Abschlussbericht.
- Spiegel Online 2019:** Wie sich Elektrostehroller auf Verkehr und Umwelt auswirken.
<https://www.spiegel.de/auto/aktuell/e-scooter-zwischenbilanz-nach-zwei-monaten-elektrostehroller-a-1281357.html>, letzter Zugriff am 23.10.2020
- Stampfl, N.S. 2016:** Arbeiten in der Sharing Economy: Die «Uberisierung» der Arbeitswelt?, Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung DIW Berlin, 3, S. 37–49.
- Stead, D., Vaddadi, B. 2019:** Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies, in: *Cities*, Jg. 92, S. 125-133.
- Steck, F., Kolarova, V., Bahamonde-Birke, F., Trommler, S., Lenz, B. 2018:** How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting, in: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672:46, S. 11–20.
- Stölzle, W., Weidmann, U., Klaas-Wissig, T., Kupferschmid, J., Riegl, B. 2015:** Vision Mobilität Schweiz 2050, ETH Zürich und Universität St. Gallen, Zürich und St. Gallen.
- Stölzle, W., Hofmann, E., Oettmeier, K. 2017:** Logistikmarktstudie Schweiz (Band 2017) – Logistik und Supply Chain Management im Zeitalter der Digitalisierung, 10. Ausgabe, Bern, 2017.
- Stölzle, W., Schmidt, T., Kille, C., Schulze, F., Wildhaber, V. 2018:** Digitalisierungswerkzeuge in der Logistik: Einsatzpotenziale, Reifegrad und Wertbeitrag. Impulse für Investitionsentscheidungen in die Digitalisierung – Erfolgsgeschichten und aktuelle Herausforderungen, Universität St. Gallen - Institut für Supply Chain Management, Göttingen, 2018.
- Stepper 2014:** Stärkung der innerstädtischen Einzelhandelslagen vor dem Hintergrund des zunehmenden Online-Einkaufs, in: Küpper et al. (Hrsg.): *Raumentwicklung 3.0 - Gemeinsam die Zukunft der räumlichen Planung gestalten*, ISBN 978-3-88838-385-4, Verlag der ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, Seiten 175-187.
- Tack, A., Klein, A., Bock, B. 2019:** E-Scooter in Deutschland - Ein datenbasierter Debattenbeitrag (Stand: 30.09.2019). <https://scooters.civity.de/>, letzter Zugriff am 22.10.2020.
- TCS 2020:** Ein Durchschnittsfahrzeug kostet 2019 leicht mehr pro Kilometer, Medienmitteilung, https://www.tcs.ch/assets/docs/presse/2018/medienmitteilung_kilometerkosten_2019.pdf, abgerufen am 11.03.2021.
- Thaller, C., Winkler, C., Galich, A., Blechschmidt, J., Deineko, E., Fremder, L., Liedtke, G. 2019:** Digitalisierung im Verkehr - Potenziale und Risiken für Umwelt und Klima. Dritter Zwischenbericht, UBA-FB 3716 58 103 0, Dessau-Rosslau, unveröffentlicht.
- Truong, L.T., De Gruyter, C., Currie, G., Delbosc, A. 2017:** Estimating the trip generation impacts of autonomous vehicles on car travel in Victoria, Australia, in: *Transportation*, 44:6, S. 1279–1292.

- Tsugawa, S., Jeschke, S., Shladover, S.E. 2016:** A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings, in: IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 1:1, S. 68–77.
- TÜV-Rheinland (2020):** Ein Jahr E-Scooter in Deutschland: Akzeptanz sehr gering, Pressemitteilung am 28.05.2020, <https://presse.tuv.com/ein-jahr-e-scooter-in-deutschland-akzeptanz-sehr-gering/>, zuletzt abgerufen am 24.10.2020.
- UBA 2019:** Wie lang ist die Lebensdauer der E-Scooter? <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-lang-ist-die-lebensdauer-der-e-scooter>, letzter Zugriff am 23.20.2020.
- UITP 2013:** Metro Automation Facts, Figures and Trends, International Association of Public Transport, <https://www.uitp.org/sites/default/files/Metro%20automation%20-%20facts%20and%20figures.pdf>, letzter Zugriff am 01.03.2020.
- Union of Concerned Scientists (UCSUSA) 2020:** Ride-Hailings Climate Risks: Steering a Growing Industry towards a Clean Transportation Future. <https://www.ucsusa.org/resources/ride-hailing-climate-risks>, letzter Zugriff am 21.04.2020.
- UVEK 2018a:** Multimodale Mobilitätsleistungen – Massnahmenpläne: Mobilitätsdaten und Öffnung Vertrieb weiterer Mobilitätsanbieter ausserhalb des öV, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern, 7. Dezember 2018.
- UVEK 2018b:** Literaturrecherche Handlungsempfehlungen «Mobility as a Service (MaaS)», Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern, 7. Juni 2018.
- VDA 2015:** Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren, Verband der Automobilindustrie, Berlin, September 2015.
- VDA 2017:** Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur, erarbeitet durch Technische Universität München und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Nr. 296, 2017.
- VDA 2019:** Normungs-Roadmap zum automatisierten Fahren, März 2019.
- VDE (Hrsg.) 2016:** Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive?, Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur, BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Berlin, Januar 2016.
- VDV 2015:** Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V., Positionspapier, Köln, November 2015.

- von Engelhardt, S., Wangler, L., Wischmann, S. 2017:** Eigenschaften und Erfolgsfaktoren digitaler Plattformen, eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie4.0 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin, März 2017.
- von Stokar, T., Peter, M., Zandonella, R., Angst, V., Pärli, K., Hildesheimer, G., Scherrer, J., Schmid, W. 2018:** Sharing Economy – teilen statt besitzen, im Auftrag der Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-Swiss), vdf Hochschulverlag AG, 68.
- Weidmann, U., Bruckmann, D., Dennisen, T., Ghandour, S., Khaligh, P., Kienzler, H.P., Labinsky, A., Mertel, R., Sondermann, K.U., Vetter, M., Wölfert, C. 2017:** Innovationen im Intermodalen Verkehr, ETH Zürich, November 2017.
- Winkle, T. 2015:** Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung, in: Maurer et al. (Hrsg.) Autonomes Fahren, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 351-376.
- Wittmer, A., Linden, E. 2017:** Zukunft Mobilität: Szenarien für das System Mobilität und Bedürfnisse der Mobilitätskunden im Jahr 2040 in der Schweiz, CFAC-HSG, IMP-HSG, St. Gallen, August 2017.
- Wolf, T., Strohschen, J.H. 2018:** Digitalisierung: Definition und Reife – Quantitative Bewertung der digitalen Reife, In: Informatik-Spektrum, 41:1, S. 56–64.
- World Economic Forum 2016:** World Economic Forum White Paper. Digital Transformation of Industries. Logistics Industry. <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-logisticswhitepaper-final-january-2016.pdf>, letzter Zugriff am 16.04.2020.
- Zakharenko, R. 2016:** Self-driving cars will change cities, in: Regional Science and Urban Economics, 61, S. 26-37.
- Zhang, W. 2017:** The interaction between land use and transportation in the era of shared autonomous vehicles: a simulation model“, Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Zhang, R., Schmutz, F., Gerard, K., Pomini, A., Basseto, A., Hassen, S.B., Ishikawa, A., Ozgunes, I., Tonguz, O. 2018:** Virtual Traffic Lights: System Design and Implementation“, arXiv:1807.01633 [cs], <http://arxiv.org/abs/1807.01633>., letzter Zugriff am 16.04.2020.
- Zhao, J., Liu, Y., Yang, Y. 2015:** Operation of signalized diamond interchanges with frontage roads using dynamic reversible lane control, in: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 51, S. 196–209.
- Zhong, H., Wei, L., Burriss, M.W., Talebpoor, A., Sinha, K.C. 2020:** Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time?, Transportation Research Part D (83), S. 1 - 14.

Zmud et al. 2017: Towards an Understanding of the Travel Behavior Impact of Autonomous Vehicles, in: Transportation Research Procedia, Volume 25, Seiten 2500-2519, ISSN 2352-1465.