Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf

Effets de la conduite automatisée ; Sous-projet 2 ; Impacts sur le trafic et besoins en infrastructures

Impacts of automatic driving: Subproject 2; Traffic impacts and infrastructure needs

ETH Zürich
Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Clarissa Livingston
Sebastian Hörl

EBP Schweiz AG
Frank Bruns
Remo Fischer
Bence Tasnády

Forschungsprojekt ASTRA 2018/002 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)

September 2020 **1683**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.
Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.
Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.
Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.
Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf

Effets de la conduite automatisée ; Sous-projet 2 ; Impacts sur le trafic et besoins en infrastructures

Impacts of automatic driving: Subproject 2; Traffic impacts and infrastructure needs

ETH Zürich
Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Clarissa Livingston
Sebastian Hörl

EBP Schweiz AG
Frank Bruns
Remo Fischer
Bence Tasnády

Forschungsprojekt ASTRA 2018/002 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)

September 2020 **1683**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung
Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Frank Bruns

Mitglieder
Clarissa Livingston
Sebastian Hörl
Remo Fischer
Bence Tasnády

Begleitkommission

Präsident
Erwin Wieland

Mitglieder
Annette Antz, SBB Netzentwicklung Zentrale
Thierry Chanard, GEA vallotton et chanard sa
Christian Egeler, Bundesamt für Raumentwicklung
Burkhard Horn, Mobilität & Verkehr - Strategie & Planung
Dr. Arnd König, Amt für Verkehr, Kanton Zürich
Alexander Lehrmann, Sunrise Communications AG
Markus Liechti, Bundesamt für Verkehr
Martina Müggler, PostAuto, Mobilitätslösungen
René Neuenschwander, Ecoplan AG
Dr.-Ing. Thomas Sauter-Servaes, ZHAW School of Engineering
Prof. Dr. Dirk Bruckmann, Hochschule Rhein-Waal

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von http://www.mobilityplatform.ch heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum **4**
Zusammenfassung **7**
Résumé **19**
Summary **31**

1 Einleitung **43**
1.1 Forschungspaket «Automatisiertes Fahren» 43
1.2 Projekt ASTRA 2018/002: Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf 44
1.2.1 Aufgabenstellung, Ansatz und Zielsetzung 44
1.2.2 Berichtsaufbau 45

2 Grundlagen und Methodik **47**
2.1 MATSim 47
2.2 Kapazitätseffekte automatisierter Fahrzeuge 48
2.3 Private automatisierte Fahrzeuge 50

3 Basisszenario Schweiz **53**
3.1 Bevölkerungswachstum 53
3.2 Güterverkehr 53
3.3 Entscheidungsmodell 54
3.4 Validierung 55

4 Beschreibung der Zukunftsszenarien **61**
4.1 Entscheidungsmodell 61
4.2 Annahmen zu den automatisierten Privatfahrzeugen 62
4.2.1 Kosten 62
4.2.2 Effizienzsteigerungen im Verkehrsfluss durch automatisierte Fahrzeuge 62
4.2.3 Umsetzung der Strassenfreigabe 62
4.2.4 Nutzung und Zugang 63
4.2.5 Fahrzeugbesitz 64
4.3 Annahmen zu den automatisierten Taxis 64
4.3.1 Betriebsbedingungen und -strategie 64
4.3.2 Kosten und Bestimmung der Flottengrösse 65
4.3.3 Effizienzsteigerungen 65
4.3.4 Umsetzung der Strassenfreigabe 65
4.3.5 Nutzung und Zugang 66
4.4 Annahmen zu den schweren Güterfahrzeugen 66
4.4.1 Generierung der Güter-Agenten 66
4.4.2 Skalierung 66
4.4.3 Nachfragegenerierung 67
4.4.4 Entscheidungsfähigkeit 67
4.4.5 Effizienzsteigerungen 67
4.4.6 Umsetzung der Strassenfreigabe 67
4.4.7 Durchdringung der AF-Güterfahrzeugen 68
4.5 Pooling und Langstreckentaxis 68
4.6 Übersicht zu den Szenarien 69
4.6.1 Unterschiede zwischen den Projektszenarien und den MATSim Szenarien 69
4.6.2 Basisszenarien: Grundzustand 2020 und Referenzfälle 2030, 2040 und 2050 70
4.6.3 Die Szenarien mit private AF, aber ohne automatisierte Taxis 70
4.6.4 Die Szenarien mit automatisierten Taxis 71

5 Ergebnisse der Simulationen **73**
5.1 Hauptergebnisse 73

5.1.1 Übersicht 73
5.1.2 Schweizweite Betrachtung (ohne automatisierte Taxis) 74
5.1.3 Teilgebiet Stadt / Agglomeration 91
5.1.4 Teilgebiet «Ländlich ungerichteter Verkehr» 119
5.1.5 Teilgebiet «Ländlich gerichteter Verkehr» 146
5.2 Sensitivitäten 172
5.2.1 Sensitivität 1: Keine Senkung der ÖV-Fahrpreise 174
5.2.2 Sensitivität 2: Höhere Zeitkosten für AF 179
5.2.3 Sensitivität 3: Bedingungen unter denen gepoolte Fahrten mit AT stattfinden 184
5.2.4 Sensitivität 4: «Vorsichtige Einführung des AF» - Effizienzsverlust statt Steigerung 189
5.2.5 Sensitivität 5: Volle Durchdringung des AFs und grössere Effizienzsteigerungen 194
5.2.6 Abschätzung des durch neue Wege induziertem Verkehr 198
5.2.7 Aussagen zur Prognosezuverlässigkeit 199
5.3 Fazit 199

6 Engpassanalyse 205
6.1 Nationalstrassen 205
6.1.1 Untersuchungsansatz und ausgewählte Abschnitte 205
6.1.2 Vorgehen 206
6.1.3 Engpässe 2040 225
6.1.4 Engpässe 2050 227
6.1.5 Sensitivitäten 228
6.1.6 Fazit 230
6.2 Städtische Knoten 231
6.2.1 Vorgehen 231
6.2.2 Städtischer LSA-Grossknoten 231
6.2.3 LSA-Knoten mit geringer Komplexität 233
6.2.4 Knoten mit Kreisverkehr 234
6.2.5 Fazit und Ausblick 236

7 Fazit 237

Anhänge 243
Glossar 261
Literaturverzeichnis 263
Projektabschluss 267
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen 270

Zusammenfassung

Aufgabenstellung

Das automatisierte Fahren hat das Potenzial, die Mobilität und den Verkehr grundlegend zu verändern. Die Chancen sowie die Risiken dieser neuen Technologie sind gross, und somit ist die Identifikation und quantitative Beschreibung dieser Chancen und Risiken wichtig um es den staatlichen Akteuren zu ermöglichen, die Chancen zugunsten der Schweizer Bevölkerung zu nutzen und die Risiken zu minimieren. Mit diesem Ziel hat das Bundesamt für Strassen ASTRA ein Forschungspaket formuliert, welches sich mit insgesamt sechs Teilprojekten (TP) mit diesem Thema auseinandersetzt. Während der Bearbeitung hat eine inhaltliche Abstimmung der Teilprojekte 2 bis 6 stattgefunden. Zudem wurden die jeweiligen Teilergebnisse im Zusammenhang mit dem vor- und nachgelagerten Teilprojekt 1 genutzt.

Das Ziel des Teilprojekt 2 ist es, die möglichen positiven und negativen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das schweizerische Verkehrssystem, insbesondere dessen Strasseninfrastruktur, zu identifizieren und möglichst konkret zu quantifizieren. Damit soll den staatlichen Akteuren ermöglicht werden, den Handlungsbedarf zu identifizieren und entsprechende Lösungsansätze zu entwickeln.

Methode

In dieser Untersuchung wurden die **Verkehrsmittelwahl,** die **Routenwahl** bzw. die **Umlegung auf das Verkehrsnetz** und die **Wahl von Abfahrtszeiten** simuliert. Dazu wurde für ausgewählte Szenarien das agentenbasierten Verkehrsmodell MATSim (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016) verwendet. Als Basis wurden ein Szenario ohne automatisierte Fahrzeuge und zwei gesamtschweizerische Szenarien mit automatisierten Fahrzeugen erstellt und jeweils für die Jahre 2020, 2030, 2040 sowie 2050 simuliert. Datengrundlage für diese Grundszenarien bildete eine Reihe von Datensätzen des BFS, des ARE, eines SVI-Forschungsprojekts und von öffentlich zugänglichen Quellen, z. B. OSM. Diese Daten wurden mit speziell hierfür entwickelter Software zu umfangreichen MATSim-Szenarien synthetisiert. Diese Szenarien beinhalten den inländischen Personenverkehr der in der Schweiz wohnhaften Bevölkerung und den inländischen sowie grenzquerenden schweren, strassenbasierten Güterverkehr. Die Bevölkerungsentwicklung wurde entsprechend des Referenzszenario des BFS abgebildet. Das Wachstum des Güterverkehrs wurde entsprechend der Prognose des ARE für 2040 in Bezug auf Tonnenkilometer angenommen.

Auch drei regionale Szenarien wurden auf Basis der simulierten nationalen Szenarien erstellt, die sich hinsichtlich Raumtyp und verkehrlicher Ausrichtung unterscheiden: die städtische Agglomeration (sa) rund um und inklusive Zürich, das ländlich ungerichtete (lu) Gebiet rund um und inklusive Fribourg sowie das ländlich gerichtete (lg) Gebiet rund um und inklusive Chur. Um private automatisierte Fahrzeuge und automatisierte Taxis im Modell abbilden zu können, wurden einerseits die für das SVI-Forschungsprojekt SVI 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019) entwickelten Software-Pakete angepasst und andererseits auch völlig neue Funktionalitäten programmiert. Die Simulationen wurden sowohl schweizweit als auch für die oben beschriebenen drei Regionen gerechnet. Grund für die Betrachtung von drei ausgewählten Regionen ist, dass es derzeit rechentechnisch unerschwinglich Zeitaufwendig ist, automatisierte Taxis mit einer hohen Auflösung auf der gesamten nationalen Ebene zu modellieren. Auf Basis der Simulationen wurden anschliessend Engpässe auf den Nationalstrassen dahingehend untersucht, ob sich diese mit automatisierten Fahrzeugen verändern. Das Verfahren zur Engpassanalyse entspricht demjenigen des Strategischen Entwicklungsprogramms Nationalstrassen des Bundes (STEP-NS).

Simulierte Wirkungen und Einschränkungen der Methode

Im Rahmen der Simulationen mit MATSim werden Verkehrsmittelwahl (MIV, ÖV, Fuss- und Veloverkehr (LV)), Routenwahl bzw. die Umlegung in das Strassennetz und die Wahl der

Abfahrtszeiten berechnet. Beim ÖV werden der Fahrplan und die Haltestellen aller Transportunternehmen in der Schweiz berücksichtigt, Verspätungen im ÖV aufgrund von instabilen Verkehrszuständen werden nicht modelliert. Der induzierte Verkehr, bestehend aus veränderter Zielwahl und neuen Wegen (Verkehrserzeugung), konnte in den Simulationen nicht berücksichtigt werden. Dennoch wurde in dieser Studie die durch neue Wege entstehende zusätzliche Personenkilometer anhand von den Ergebnisse einer anderen Studie (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) grob abgeschätzt. Zielwahländerungen werden nicht abgebildet und dessen Auswirkungen auf die Verkehrsleistung nicht abgeschätzt, da die Entscheidungsprozesse der Zeilwahländerungen nicht in ausreichend detaillierten Form zur Verfügung standen. Mit dieser Abgrenzung (keine neuen Wege, keine Zielwahländerungen) ändert sich die Verkehrsleistung (in Personenkilometer) über alle Verkehrsmittel zwischen den Szenarien eines Jahres (zum Beispiel: Referenz 2050, A 2050, B 2050) für eine Region nur geringfügig.

Ferner ist es mit der gewählten Methode nur eingeschränkt möglich die Verkehrsmittelwahl von Personengruppen die heute mit konventionellen Fahrzeugen nicht alleine Automobil sein können (Personen ohne Fahrausweis wie z.B. Schüler, gesundheitliche Beeinträchtigte, etc.) abzubilden. Die Wege, die Personen im Referenzszenario als Mitfahrer zurücklegen, mussten aus modeltechnischen Gründen fixiert werden: für diese Wege wird keine Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Deshalb kann die Verkehrsmittelwahl der führerscheinlose Personengruppen nur für die Wege durchgeführt werden, die diese Personen im Referenzszenario mit dem ÖV oder LV durchgeführt werden.

In den folgenden Auswertungen werden automatisierte Taxis zum MIV gezählt, da diese ein individuelles, motorisiertes Verkehrsmittel darstellen. Für automatisierte Taxis wurden Leerfahrten berücksichtigt (Verschieben von leeren Taxis zum Ort der neuen Nutzung durch Fahrgäste). Die Leerfahrten von automatisierten Taxis widerspiegelt sich nicht in der Verkehrsleistung (in Personenkilometer), sondern in der Fahrleistung (in Fahrzeugkilometer). Leerfahrten von privaten AF wurden nicht simuliert, da keine Daten zur Benutzung von privaten AF vorliegen (können). Es wurden auch keine Leerkilometer des Güterverkehrs simuliert. Die Fahrleistung wird damit unterschätzt.

Bezüglich Pooling ist festzuhalten, dass der verwendete Pooling-Algorithmus nur Fahrten aus der «Nachbarschaft» poolt und die Mitnahme weiterer Personen entlang der Fahrtstrecke nicht simuliert wurde. Die Weiterentwicklung entsprechender Algorithmen ist aktueller Gegenstand der Forschung und konnte nicht im Rahmen dieses Projekts gelöst werden. Die Nachfrage beim Pooling wird damit unterschätzt.

Definition der Szenarien / Szenarioannahmen

In Absprache mit den anderen Teilprojekten und nach Beschluss der Begleitkommission (BK) wurden zwei Szenarien des automatisierten Fahrens verwendet. Diese zwei Szenarien, namentlich Szenario A und B, unterscheiden sich ausschliesslich hinsichtlich des angenommenen Privatfahrzeugbesitzes bzw. des Zugangs zu einem Privatfahrzeug. In Szenario A haben anteilsmässig gleich viele Verkehrsteilnehmende Zugang zu einem Privatfahrzeug wie im Grundzustand 2020. In Szenario B hingegen sinkt der Zugang zum einem Privatfahrzeug erheblich **(vgl. Tab. 1).** Diese Abnahme ist damit begründet, dass sich in Szenario B Menschen aufgrund des sehr guten Angebots an kollektiven Verkehrsmitteln, hauptsächlich der automatisierten Taxis, entscheiden, ihr Privatfahrzeug abzugeben oder ein solches erst gar nicht zu kaufen. Somit entsprechen die Szenarien A und B – soweit technisch umsetzbar – den im Zwischenbericht TP1 beschriebenen Szenarien A «Individuelle und monomodale Nutzungsformen» und B «Kollektive und multimodale Nutzungsformen». Die weiteren Annahmen zur Strassenfreigabe für automatisierte Fahrzeuge, zu den Kapazitätseffekten der automatisierten Fahrzeuge, zu den Zeitwerten für die jeweiligen automatisierten Verkehrsmittel sowie zum Durchdringungsgrad der automatisierten Fahrzeuge im Privatbesitz und im Güterverkehr sind für Szenario A und B identisch. Gemäss der allmählichen Integration der automatisierten Fahrzeuge ins Verkehrssystem und den Automobilmarkt ändern sich die Strassenfreigabe und der Durchdringungsgrad von Jahr zu Jahr.

Tab. 1 bis **Tab. 5** zeigen weitere wesentliche Annahmen für die Szenarien.

***Tab. 1** Szenario-Annahmen - Zugang zu einem Privatfahrzeug*

Szenario	Jahr	Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu einem Privatfahrzeug in Prozent
Grundzustand	2020	81.6
Referenzszenario	2030	80.7
Referenzszenario	2040	79.8
Referenzszenario	2050	78.6
A	2030	80.7
A	2040	79.8
A	2050	78.6
B	2030	80.7
B	2040	69.8
B	2050	34.8

Werte des Grundzustands und der Referenzszenarien basieren auf Mikrozensus Mobilität und Verkehr, STATPOP und das Referenzszenario der Bevölkerungsprognose des BFS. Der sinkende Trend ist auf den prognostizierten demographischen Wandel zurückzuführen, in dem die Bevölkerungsgruppen mit Privatfahrzeugbesitz anteilsmässig zurückgehen.

***Tab. 2** Szenario-Annahmen: Automatisierte Privatfahrzeuge: PCU, VOT, Durchdringung*

	Konventionelle Privatfahrzeuge	Automatisierte Privatfahrzeuge
PCU Werte für: HLS120/HLS100/UG80/UG50	1.0	0.83 / 0.77 / 0.83 / 0.80
VOT	31.90 CHF/h	17.14 CHF/h
Durchdringung 2030	99.5%	0.5%
Durchdringung 2040	94.4%	6.6%
Durchdringung 2050	68.7%	31.3%

PCU = Passenger Car Unit = Personenwageneinheit in Bezug auf Kapazitätsausnutzung

VOT = Value of Time

***Tab. 3** Szenario-Annahmen: Automatisierte Güterfahrzeuge*: PCU, Durchdringung*

	Konventionelle Güterfahrzeuge	Automatisierte Güterfahrzeuge
PCU Werte für: HLS80/ UG80/ UG50	4.00	3.08 / 3.33 / 3.20
Durchdringung 2030	99.4%	0.6%
Durchdringung 2040	92.7%	7.3%
Durchdringung 2050	60.9%	39.1%

PCU = Passenger Car Unit = Personenwageneinheit in Bezug auf Kapazitätsausnutzung

* nur schwere Güterfahrzeuge werden modelliert

Tab. 4 *Szenario-Annahmen: Freigabe für den automatisierten Fahrzeugbetrieb*

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
OSM Kategorie	keine Freigabe	city shapes** motorway, trunk	city shapes**, motorway, trunk, primary, freespeed***<= 13.8m/s	alle Links
Entspricht etwa*:	keine Freigabe	Stadtgebiet**, HLS 120km/h, HLS 80-100km/h	Stadtgebiet**, HLS 120km/h, HLS 80-100km/h, HVS, Innerortsstrassen	alle Strassen

* OSM-Kategorien sind international und entsprechen nicht zwingend den Schweizer Klassifizierungen. Besonders bei räumlichen Klassifizierungen wie «Innerortstrassen» ist Vorsicht geboten.

** Durch TP5 mit GIS definiert und von TP2 in MATSim umgesetzt.

*** Alle Strassen die laut OSM eine maximal zulässige Geschwindigkeit von 50 km/h haben. Hier wird angenommen, dass sie Innerortsstrassen entsprechen.

Tab. 5 *Szenario-Annahmen: Preise im öffentlichen Verkehr**

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
Grundzustand	Wie heute			
Referenzzustand	Wie heute	Wie heute	Wie heute	Schiene: -20% Strasse: -40%
A	Wie heute	Wie heute	Wie heute	Schiene: -20% Strasse: -40%
B	Wie heute	Wie heute	Wie heute	Schiene: -20% Strasse: -40%

*Die Senkung der ÖPNV-Tarife wird durch die Annahme begründet, dass die Automatisierung des ÖPNV-Systems in allen Szenarien des Jahres 2050 erfolgt und die daraus resultierenden betrieblichen Kosteneinsparungen an die Kunden weitergegeben werden.

Ergebnisse

Der angenommene Durchdringungsgrad der AF für das Jahr 2030 führte dazu, dass sich die Ergebnisse der Szenarien mit und ohne AF auf regionaler (und nationaler) Ebene nicht wesentlich unterscheiden. Erst mit dem für das Jahr 2040 angenommenen Durchdringungsgrad zeigen sich deutliche Unterschiede. Am deutlichsten sind diese Unterschiede jedoch im Jahr 2050. In der Zusammenfassung werden deshalb nur die Ergebnisse für 2050 aufgeführt.

In den folgenden Tabellen werden die absoluten und relativen Differenzen in Bezug auf die Verkehrsleistung (Personenkilometer) und die auf den Strassen abgewickelte Fahrleistung (Fahrzeugkilometer) in den regionalen Szenarien mit automatisierten Taxis und privaten AF für das Jahr 2050 gegenüber dem jeweiligen regionalen Grundszenario für das Jahr 2020 gezeigt. Für das Grundszenario werden auch die absoluten Werte aufgeführt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass in allen Szenarien 2050, inklusive Referenzszenario ohne AF, eine Senkung der ÖV-Preise von 20% auf der Schiene und 40% auf der Strasse angenommen wird.

Tab. 6 *Absolute und relative Differenz der Fahrleistung auf der Strasse für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und privaten AF im Teilraum Ländlich Gerichtet (LG, Chur) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Fahrzeugkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Fzg-km]	Ges. GV [Mio. Fzg-km]	Ges. MIV [Mio. Fzg-km]	Gesamt [Mio. Fzg-km]
lg	Grundzustand	2020	0.03	0.09	1.68	1.80
lg	Referenz	2050	0.00	0.03	-0.20	-0.17
			0%	33%	-12%	-9%
lg	A (mit AT)	2050	0.00	0.03	0.13	0.16
			0%	33%	8%	9%
lg	B (mit AT)	2050	0.00	0.03	-0.17	-0.14
			0%	33%	-10%	-8%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

* Im Modell wurde der ÖV-Fahrplan über alle Jahre und Szenarien konstant gehalten, da keine ausreichend detaillierten Alternativfahrpläne geliefert werden konnten. Deshalb ändern sich die mit dem ÖV auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer nicht.

Ges. GV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten schweren Strassengüterfahrzeuge

Ges. MIV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten Privatfahrzeugen und automatisierten Taxis inkl. Leerkilometer von automatisierten Taxis.

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Tab. 7 *Absolute und relative Differenz der Verkehrsleistung insgesamt (auch Schiene) für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und privaten AF im Teilraum Ländlich Gerichtet (LG, Chur) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Personenkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Pkm]	LV [Mio. Pkm]	Ges. MIV [Mio. Pkm]	Gesamt [Mio.: Pkm]
lg	Grundzustand	2020	0.52	0.14	2.04	2.70
lg	Referenz	2050	0.11	0.00	-0.20	-0.09
			21%	0%	-10%	-3%
lg	A (mit AT)	2050	-0.03	-0.04	0.04	-0.03
			-6%	-29%	2%	-1%
lg	B (mit AT)	2050	0.24	0.03	-0.35	-0.08
			46%	21%	-17%	-3%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

Ges. MIV = Pkm von Fahrten mit konventionellen und automatisierten Privatfahrzeugen, Mitfahrer, und automatisierten Taxis

LV = Langsamverkehr = Pkm von Fahrten mit dem Fahrrad oder zu Fuss

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Tab. 8 *Absolute und relative Differenz der Fahrleistung auf der Strasse für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und privaten AF im Teilraum Ländlich Ungerichtet (LU, Fribourg) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Fahrzeugkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Fzg-km]	Ges. GV [Mio. Fzg-km]	Ges. MIV [Mio. Fzg-km]	Gesamt [Mio. Fzg-km]
lu	Grundzustand	2020	0.04	0.08	3.24	3.36
lu	Referenz	2050	0.00	0.03	0.66	0.69
			0%	38%	20%	21%
lu	A (mit AT)	2050	0.00	0.03	1.42	1.45
			0%	38%	44%	43%
lu	B (mit AT)	2050	0.00	0.03	1.12	1.15
			0%	38%	35%	34%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

* Im Modell wurde der ÖV-Fahrplan über alle Jahre und Szenarien konstant gehalten, da keine ausreichend detaillierten Alternativfahrpläne geliefert werden konnten. Deshalb ändern sich die mit dem ÖV auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer nicht.

Ges. GV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten schweren Strassengüterfahrzeuge

Ges. MIV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten Privatfahrzeuge und automatisierten Taxis, inkl. Leerkilometer von automatisierten Taxis.

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Tab. 9 *Absolute und relative Differenz der Verkehrsleistung insgesamt (auch Schiene) für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und privaten AF im Teilraum Ländlich Ungerichtet (LU, Fribourg) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Personenkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Pkm]	LV [Mio. Pkm]	Ges. MIV [Mio. Pkm]	Gesamt [Mio. Pkm]
lu	Grundzustand	2020	1.03	0.36	3.87	5.26
lu	Referenz	2050	0.60	0.10	0.90	1.60
			58%	28%	23%	30%
lu	A (mit AT)	2050	0.17	-0.06	1.43	1.54
			17%	-17%	37%	29%
lu	B (mit AT)	2050	0.92	0.14	0.76	1.82
			89%	39%	20%	35%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

Ges. MIV = Pkm von Fahrten mit konventionellen und automatisierten Privatfahrzeugen, Mitfahrer, und automatisierten Taxis

LV = Langsamverkehr = Pkm von Fahrten mit dem Fahrrad oder zu Fuss

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Tab. 10 *Absolute und relative Differenz der Fahrleistung auf der Strasse für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und privaten AF im Teilraum Stadt und Agglomeration (SA, Zürich) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Fahrzeugkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Fzg-km]	Ges. GV [Mio. Fzg-km]	Ges. MIV [Mio. Fzg-km]	Gesamt [Mio. Fzg-km]
sa	Grundzustand	2020	0.15	0.47	13.37	13.99
sa	Referenz	2050	0.00	0.14	-0.31	-0.17
			0%	30%	-2%	-1%
sa	A (mit AT)	2050	0.00	0.15	5.80	5.95
			0%	32%	43%	43%
sa	B (mit AT)	2050	0.00	0.13	4.18	4.31
			0%	28%	31%	31%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

* Im Modell wurde der ÖV-Fahrplan über alle Jahre und Szenarien konstant gehalten, da keine ausreichend detaillierten Alternativfahrpläne geliefert werden konnten. Deshalb ändern sich die mit dem ÖV auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer nicht.

Ges. GV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten schweren Strassengüterfahrzeuge

Ges. MIV = Fzg-km von konventionellen und automatisierten Privatfahrzeuge, automatisierten Taxis, inkl. Leerkilometer von automatisierten Taxis.

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Tab. 11 *Absolute und relative Differenz der Verkehrsleistung insgesamt (auch Schiene) für das regionale Szenario mit automatisierten Taxis und private AF im Teilraum Stadt und Agglomeration (SA, Zürich) für das Jahr 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020, in Millionen Personenkilometer*

Region	Szenario	Jahr	ÖV* [Mio. Pkm]	LV [Mio. Pkm]	Ges. MIV [Mio. Pkm]	Gesamt [Mio. Pkm]
sa	Grundzustand	2020	10.60	1.75	16.76	29.11
sa	Referenz	2050	4.44	0.21	0.54	5.19
			42%	12%	3%	18%
sa	A (mit AT)	2050	0.40	-0.21	5.64	5.83
			4%	-12%	34%	20%
sa	B (mit AT)	2050	1.67	0.33	3.64	5.64
			16%	19%	22%	19%

* Hinweis: Allen Szenarien 2050 liegt die Annahme zugrunde, dass die ÖV-Fahrpreise wegen der Automatisierung für die Schiene um 20% und für die Strasse um 40% sinken!

Ges. MIV = Pkm von Fahrten mit konventionellen und automatisierten Privatfahrzeugen, Mitfahrer, und automatisierten Taxis

LV = Langsamverkehr = Pkm von Fahrten mit dem Fahrrad oder Wege zu Fuss

ÖV = Öffentlicher Verkehr, MIV = Motorisierter Individualverkehr

Veränderung der Verkehrsleistung (Personenkilometer)

Generell zeigen die Ergebnisse, dass aufgrund des Bevölkerungswachstums im Jahr 2050 mehr Personenkilometer zurückgelegt werden als im Jahr 2020, was so zu erwarten ist. Eine Ausnahme bildet das ländlich gerichtete Gebiet um Chur: der dortige marginale Rückgang erklärt sich durch die deutlich stärkere Alterung der Bevölkerung im Vergleich zu den anderen Regionen. Im Referenzszenario 2050, welches das Bevölkerungswachstum und die ÖV-Preissenkung enthält, wächst gegenüber dem Grundszenario 2020 die Verkehrsleistung (in Pkm) des ÖV und LV stärker als die des MIV, und zwar in allen Regionen.

Im Szenario A 2050, welches zusätzlich zum Bevölkerungswachstum und der ÖV-Preissenkung auch die Verfügbarkeit von privaten AF und automatisierten Taxis berücksichtigt, wächst gegenüber dem Grundszenario die Verkehrsleistung (in Pkm) des MIV stärker an als die des ÖV. Zudem geht die Verkehrsleistung des LV zurück. Szenario B 2050, welches von einer starken Reduktion des Privatfahrzeugbesitzes ausgeht und sonst die gleichen Annahmen wie Szenario A hat, wirkt sich auf die drei Regionen

unterschiedlich aus. In den ländlichen Regionen wächst gegenüber dem Grundszenario die Verkehrsleistung (in Pkm) des ÖV und des LV stärker an als die des MIV. Dieser Trend ist sogar noch stärker als im Referenzszenario 2050. In der städtischen Agglomeration hingegen ist das Wachstum der Verkehrsleistung (in Pkm) des MIV inklusive der automatisierten Taxis stärker als dasjenige des ÖV und des LV. Dieser Trend ist jedoch schwächer als im Szenario A 2050.

Veränderung der Fahrleistung (Fahrzeugkilometer)

Die Ergebnisse (vgl. **Tab. 6** bis **Tab. 11**) zeigen auch, dass in den Szenarien A und B 2050 mit automatisierten Taxis die auf den Strassen abgewickelte Fahrleistung (in Fzg-km) gegenüber dem Grundszenario 2020 stärker ansteigt als im Referenzszenario 2050. Der Anstieg im Szenario A ist aber deutlich höher als im Szenario B. Auch regionale Unterschiede sind zu erkennen. In der städtischen Agglomeration sowie im ländlich gerichtetem Gebiet geht die Fahrleistung auf der Strasse im Referenzszenario 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020 mit jeweils -1% und -9% zurück. Grund dafür ist die hinterlegte ÖV-Preissenkung im Jahr 2050 sowie das möglicherweise veränderte Mobilitätsverhalten aufgrund des Wandels in der demographischen Struktur dieser Regionen. Solche Veränderungen im Mobilitätsverhalten aufgrund demographischer Veränderungen können durch die verwendete Methode reflektiert werden, da die Tagespläne (die Liste der Aktivitäten und Fahrten, die eine synthetische Person während des simulierten Tages absolviert) aufgrund ihrer soziodemographischen Merkmale und ihrer geographischen Lage den synthetischen Personen zugeordnet werden.
Im Szenario A 2050 steigt die Fahrleistung gegenüber dem Grundszenario 2020 in der städtischen Agglomeration erheblich (+43%) und im ländlich gerichtetem Gebiet mässig (+9%). Dies vor allem aufgrund der veränderten Verkehrsmittelwahl. Im Szenario B 2050 ist der Anstieg der Fahrzeugkilometer gegenüber dem Grundszenario 2020 in der städtischen Agglomeration etwas weniger extrem (+31%), während im ländlich gerichtetem Raum die Fahrleistung im fast gleichen Ausmass wie im Referenzszenario zurückgeht (-8%). Das ländlich ungerichtete Gebiet zeichnet sich mit einem Anstieg der Fahrleistung auf der Strasse in allen Szenarien aus, mit dem kleinsten Anstieg im Referenzszenario 2050 (+21%) und dem grössten in Szenario A 2050 (+43%).

Die vergleichsweise hohen Zunahmen der Fahrleistung in der städtischen Agglomeration können damit erklärt werden, dass diese heute hohe ÖV- und LV-Anteile aufweisen. Mit automatisierten Taxis werden diese Nutzer besonders stark angesprochen und deren Nachfrage zu einem bedeutenden Teil auf den MIV verlagert. In ländlichen Regionen ist das Potenzial geringer, da anteilsmässig bereits viele Wege mit dem MIV zurückgelegt werden.

Veränderung der Engpässe auf Nationalstrassen

Für die Engpassanalyse wurden für 12 ausgewählte Engpässe die Ergebnisse der regionalen Szenarien mit automatisierten Taxis auf die nationale Betrachtung, die aus rechentechnischen Gründen ohne automatisierten Taxis simuliert wurde, übertragen. Für beide Szenarien gilt: Engpässe werden nur in wenigen Fällen gelöst. In Szenario A 2050 verbleiben 9 der 12 Engpässe und in Szenario B 2050 8 der 12 Engpässe. Dies trotz optimistischen Annahmen, die die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge auf den Querschnitten eher überschätzen.

Bezogen auf Knoten im untergeordneten Strassennetz zeigte sich für drei exemplarische Strassenknoten, dass im Szenario A 2050 die leistungsrelevanten Knotenbelastungen infolge der Mehrnachfrage ansteigen und dadurch sowohl Auslastungen als auch Wartezeiten zunehmen. Im Szenario B 2050 gehen bei ähnlichen Fahrzeugbelastungen wie im Szenario A die leistungsrelevanten Knotenbelastungen in PCU um 3 bis 8% gegenüber dem Referenzszenario 2050 zurück. Dies reduziert die massgebenden Auslastungen und die mittleren Wartezeiten. Grund dafür ist der höhere effektive Automatisierungsgrad der Fahrzeugflotte die auf dem schweizer Strassennetz unterwegs ist (für 2050 A ist der Anteil automatisierte Fahrzeugen zwischen 42% und 73% und für B ist der Anteil zwischen 61% und 90%, je nach Strassenkategorie). Dieser Unterschied zwischen den effektiven Automatisierungsgrad in Szenario A und B ergibt sich aus der

Tatsache, dass in Szenario B weniger Privatfahrzeugen unterwegs sind, aber dafür mehr automatisierte Taxis.

Sensitivitätsanalysen

Die Stabilität der Ergebnisse wurde mit fünf Sensitivitätsanlaysen für alle Szenarien analysiert. Deren Effekte auf die Engpässe wurde qualitativ auf nationaler Ebene und in der Region «Stadt und Agglomeration» untersucht. Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen.

***Tab. 12** Qualitative Einordnung der Sensitivitätsbetrachtungen zu den Engpässen auf dem Nationalstrassennetz auf der Basis des Raums SA und im Vergleich zum Hauptrechenlauf (ohne Sensitivität)*

Sensitivitätsbetrachtung	Beschrieb	Szenario A 2050	Szenario B 2050
1) Unveränderter Preis des ÖV	Keine Reduktion der ÖV-Preise durch Automatisierung	**+6%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer)	**+8%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer)
		→ Erhöhter Druck auf Engpässe infolge Mehrnachfrage auf der Strasse, aber keine bedeutenden «Stufensprünge» bei den Engpässen	→ Erhöhter Druck auf Engpässe infolge Mehrnachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufensprünge» bei den Engpässen sind möglich
2) Veränderte Zeitkosten	Angepasster Value of Time (VOT) für automatisierte Fahrzeuge, 70% anstatt 50% des VOT von nicht-automatisierten Fahrzeugen	**-4%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) bei unveränderten Gesamtreisezeiten	**-8%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) bei unveränderten Gesamtreisezeiten
		→ Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind möglich	→ Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind wahrscheinlich
4) «Vorsichtige» automatisierte Fahrzeuge in den Einführungsjahren	Aufgrund von Sicherheitsüberlegungen reduzieren automatisierte Fahrzeuge in den Einführungsjahren im Mischverkehr die Strassenkapazität (automatisierte Fahrzeuge haben eine maximale PCU von 1.25, entspricht einem fahrzeugbezogenen Kapazitätsverlust von 20% ggü. konventionellen Fahrzeugen).	**-10%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+20-25%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**-9%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+20-25%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die PCU-Belastung der Engpässe nimmt deutlich zu, es treten bedeutende «Stufensprünge» bei den Engpässen auf	→ Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die PCU-Belastung der Engpässe nimmt deutlich zu, es treten bedeutende «Stufensprünge» bei den Engpässen auf
5) Extreme Einstellungen und vollständige Durchdringung	Erhöhte Strassenkapazität infolge extremer Einstellungen von automatisierten Fahrzeugen und vollständiger Durchdringung der Fahrzeugflotte (automatisierte Fahrzeuge haben eine minimale PCU von 0.67, entspricht 50% Kapazitätsgewinn ggü. konventionellen Fahrzeugen).	**+33%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+5%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**+10%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **-5-10%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ Die erhöhte Kapazität und die vollständige Durchdringung lösen eine grosse Mehrnachfrage aus. Der Druck auf die Engpässe auf der Strasse nimmt nicht proportional, aber trotzdem in bedeutendem Mass zu.	→ Die erhöhte Kapazität und die vollständige Durchdringung lösen eine Mehrnachfrage aus. Der Druck auf die Engpässe nimmt trotzdem ab, da die Fahrzeuge in der Summe einen geringeren «Kapazitätsverbrauch» haben. Einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind wahrscheinlich.

Der induzierte Verkehr, der durch neue Wege entsteht, wurde auf der Grundlage der Ergebnisse der Studie von (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) abgeschätzt, da diese sehr ähnliche Szenarien in der Schweiz betrachtet hat. Selbst die optimistischsten Szenarien – noch optimistischer als Szenario B im Sensitivitätstest 5 hinsichtlich Kapazitätsgewinnen und Privatfahrzeugbesitz – zeigten in Bezug auf Reisezeit- und somit Erreichbarkeitsgewinnen ein um nur 0.1% gesteigerte Verkehrsleistung aufgrund von neue Wege. Würde dieser Wert auf die Region «Stadt und Agglomeration» angewendet, nähme die Verkehrsleistung aufgrund neue Wege in Szenario B 2050 im Sensitivitätstest 5 um etwa 0.029 Mio. Pkm zu. Die Wirkungen von Zielwahländerungen und der daraus folgende Mehrverkehr wurden von (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) nicht berücksichtigt und konnten auch im Rahmen dieser Untersuchung nicht abgeschätzt werden.

Die angenommenen (optimistischen) Kapazitätsgewinne der AF können nur teilweise das durch Bevölkerungswachstum, Verkehrsmittelverlagerungen, Routenwahlentscheidungen und Leerkilometer der automatisierten Taxis entstehende Wachstum der Verkehrsnachfrage auf den Strassen ausgleichen. Erst bei einer sehr hohen Durchdringung und einer hohen kollektiven Nutzung der Fahrzeuge können bei steigenden Fahrleistungen auf der Strasse die PCU-Belastungen sinken und sich der Druck auf die Engpässe reduzieren.

Zentrale Erkenntnisse

Generell gilt, dass die kapazitätserhöhende Wirkung von automatisierten Fahrzeugen aus dem geringeren raumzeitlichen Platzbedarf bereits durch die Nachfrageeffekte (Verkehrsmittelverlagerungen, automatisierte Taxis) mindestens teilweise wieder kompensiert werden. Automatisierte Fahrzeuge haben damit zwar das Potenzial, die Engpässe zu entschärfen, aber nur in wenigen Fällen würden sie diese lösen. Zu berücksichtigen ist, dass Leerfahrten privater automatisierter Fahrzeuge, Veränderungen der Wohn- und Arbeitsstandorte sowie Zielwahländerungen infolge des automatisierten Fahrens nicht simuliert wurden und der Nachfrageeffekt damit unterschätzt wird.

Bei vielen Engpässen sind Veränderungen der Engpassstufen erst zu erwarten, wenn die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge höher ausfallen würden und die Durchdringung der Fahrzeugflotte mit automatisierten Fahrzeugen maximal ist. Aber selbst für das Szenario B mit 100% automatisierten Fahrzeugen und einem Kapazitätsgewinn von 50% je automatisiertem Fahrzeug (Sensitivitätsbetrachtung 5) sinken die leistungsrelevanten Verkehrsbelastungen (in PWE/PCU) aufgrund der Mehrnachfrage nur um ca. 10%, was maximal einer Reduktion um eine Engpassstufe bedeutet. Bei einem allgemeinen Bevölkerungswachstum und gegenüber heute ähnlichen Mobilitätsbedürfnissen wird dieser Effekt nach einigen Jahren wieder aufgesogen sein.

In allen Szenarien und Zuständen hat der ÖV einen bedeutenden Marktanteil und wird nicht durch die automatisierten Fahrzeuge verdrängt, obwohl die automatisierten Fahrzeuge den ÖV eine starke Konkurrenz bieten. Die angenommene Reduktion der ÖV-Preise führt zu einem Grossteil dazu, dass sich bereits im Referenzszenario 2050 der Modal Split der Wege in Richtung ÖV verlagert (in 2050 zwischen 2%-Pkte im ländlichem Raum und 4%-Pkte in der Region SA). Dieser Anstieg wird deutlich reduziert, wenn die ÖV-Preise unverändert blieben (abgebildet in Sensitivität 1), verschwindet aber nicht ganz. Die Weitergabe möglicher Produktivitätsgewinne im ÖV mittels Preissenkungen an die Verkehrsnachfragenden erhöht die Wettbewerbsfähigkeit des ÖV somit deutlich.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass das Potenzial von Pooling eher gering ist. Generell kann festgehalten werden, dass das Punkt-zu-Punkt-Pooling vielversprechend ist, wenn Idealbedingungen angenommen werden (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019). Unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen ergeben sich aber kaum Anwendungsfälle. Dies schliesst nicht aus, dass ein komplexeres Pooling-System, bei welchem während der Fahrt neue Aufträge angenommen werden, ein höheres Potenzial ausweisen könnte.

Zentrale Stossrichtungen für die Politik

Automatisiertes Fahren weist vielfältige Chancen und Risiken sowie Nutzen und Kosten auf. Unter Berücksichtigung aller ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen

Kriterien ist zu prüfen, wie mit dem zu erwartenden Verkehrswachstum umgegangen werden soll und kann. Will der Bund die zunehmende Verkehrsnachfrage mit organisatorischen und nachfragesteuernden Instrumenten dämpfen, dann sind auch Massnahmen im Sinne eines Mobility Pricing im MIV und ÖV zu prüfen. Ungeachtet dessen sind unter der Prämisse, dass der Bund den Verkehrsfluss auf den Nationalstrassen aufrechterhalten will, die langfristigen Planungen zur Entwicklung des Nationalstrassenprozesses weiterhin notwendig. Dies angesichts der Tatsache, dass die Engpassanalyse und Knotenanalyse der untersuchten Szenarien (also mit ÖV-Preissenkung) gezeigt haben, dass selbst mit einem erheblichen Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes in der Regel Engpässe nur entschärft, aber nicht gelöst werden.

Der ÖV wird auch mit automatisierten Fahrzeugen benötigt. Die Automatisierung bedeutet auch eine grosse Chance im ÖV, da Effizienzsteigerungspotenziale bestehen und neue Angebotsformen eingeführt werden können. Die Politik sollte bestrebt sein, dass die Chancen genutzt werden können.

Grundsätzlich unabhängig von der Automatisierung, aber hinsichtlich der aufgezeigten Nachfrageeffekte doch im verstärktem Mass, stellt sich die Frage, wie die zukünftige Verkehrsnachfrage ökologischer abgewickelt werden kann. Aus heutiger Sicht scheint hierfür eine Elektrifizierung der Fahrzeugflotte auf der Strasse notwendig. Die Konsequenzen für die Bundeseinnahmen unter anderem zur Finanzierung der Nationalstrasseninfrastruktur sind unter Berücksichtigung der Nachfrageentwicklung abzustimmen und neue Finanzierungsinstrumente vorzusehen.

Automatisierte Fahrzeuge *könnten* – sofern die eher optimistischen Annahmen bezüglich ihres raumzeitlichen Platzbedarf gelten – Verkehrsengpässe mindern, durchschnittliche Reisezeiten senken und Reisekomfort sowie Nutzen für Verkehrsteilnehmende erhöhen. Dies gilt allerdings nur, wenn auch der Privatfahrzeugbesitz drastisch zurückgeht. Automatisierte Fahrzeuge werden – auch mit einem drastischen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz – sehr wahrscheinlich zu einer deutlichen Zunahme der Fahrleistung auf der Strasse führen, was für Umwelt, Anwohnerinnen und Anwohner sowie schwächere Verkehrsteilnehmende eher schädlich wäre. Besonders die Stadt würde im ersten Sinne profitieren können und im zweiten Sinne leiden müssen. Deshalb wird es in Zukunft umso wichtiger sein, Massnahmen zu treffen, die den Umweltverbund stärken und den Privatfahrzeugbesitz unattraktiver machen. Da sich die Effekte des AF nach Regionen unterscheiden werden – besonders stark ist der Kontrast zwischen Stadt und Land – müssen Massnahmen regional angepasst werden.

Résumé

Présentation du projet

Le développement de véhicules autonomes pourrait modifier en profondeur la mobilité et le transport tels que nous les connaissons. Toutefois, le développement de ces technologies, s'il est prometteur sur certains plans, présente également des risques importants. Il est donc essentiel d'identifier et de décrire de manière quantitative les opportunités et les risques qu'il présente, afin de permettre aux acteurs publics de faire bénéficier la population suisse de ses avantages tout en en minimisant les risques. Dans ce but, l'Office fédéral des Routes (OFROU) a mis en place un programme de recherche, qui aborde ce sujet à travers six sous-projets. Au cours des travaux, une harmonisation du contenu des sous-projets 2 à 6 a eu lieu ; par ailleurs, leurs résultats intermédiaires ont servi, à la fois en amont et en aval, à la réalisation du sous-projet 1.

L'objectif du sous-projet 2 est d'identifier et de quantifier aussi concrètement que possible les effet positifs et négatifs de la conduite automatisée sur le réseau de transport suisse, et en particuler sur le réseau routier. Ainsi, les acteurs gouvernementaux pourront identifier les points où une intervention est nécessaire et développer des solutions appropriées.

Méthodes

Dans cette étude, le choix du **mode de transport**, la **détermination des itinéraires** – leur **répartition à travers le réseau** de transport – ainsi que le **choix des heures de départ** ont été simulés. L'outil de simulation du transport MATSim (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016), fondé sur des modèles multi-agents, a été utilisé afin d'élaborer différents scénarios. Trois scénarios de référence couvrant l'ensemble du territoire suisse – le premier sans véhicules autonomes, les deux autres avec – ont été simulés pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050. Ces trois scénarios ont été construits à partir de plusieurs jeux de données fournis par l'Office fédéral de la Statistique (OFS), par l'Office fédéral du développement territorial (ARE), par un projet de recherche de l'Association suisse des ingénieurs et experts en transport (SVI), ou disponibles en accès libre, tels que OSM. Ces données ont servi à la création de scénarios complets pour MATSim grâce à un logiciel spécialement développé à cet effet. Ces scénarios comprennent le transport intérieur individuel de la population résidant en Suisse ainsi que le transport routier, intérieur comme transfrontalier, de marchandises. L'évolution démographique a été modélisée conformément au scénario de référence de l'OFS. La croissance du transport de marchandises, quant à elle, a été calculée à partir des prévisions de l'ARE concernant l'évolution du nombre de tonnes-kilomètres d'ici 2040.

Sur la base de ces scénarios nationaux, trois autres scénarios, régionaux cette fois, ont été créés. Ces derniers se distinguent par le type d'environnement et par la structure du réseau de transport des régions qu'ils modélisent : d'une part, l'agglomération urbaine (« *städtische Agglomeration* », abrégé en "sa") autour de Zürich – la ville elle-même étant incluse, comme cela sera aussi le cas pour les autres scénarios ; d'autre part, la région rurale organisée autour de différents pôles (« *ländlich ungerichtetes Gebiet* », soit « zone rurale pluricentrique », "lu"), comme c'est le cas autour de Fribourg, qui n'est que l'un de multiples centres du réseau ; enfin, finalement, la région rurale centrée autour d'un pôle unique (« *ländlich gerichtetes Gebiet* », soit « zone rurale monocentrique », "lg"), comme dans les alentours de Coire. Afin de prendre en compte les véhicules autonomes privés et les taxis autonomes dans le modèle, des adaptations ont d'une part été apportées à la suite logicielle développée pour le projet de recherche SVI-2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019), et, d'autre part, de toutes nouvelles fonctionnalités ont été implémentées. Les simulations ont été effectuées non seulement à l'échelle de la Suisse entière mais aussi pour les trois régions précédemment décrites. Ces trois régions ont été choisies parce qu'il est aujourd'hui impossible, pour des raisons techniques, de modéliser la flotte des taxis autonomes avec une haute résolution à l'échelle nationale. Dans un second temps, l'évolution des goulets d'étranglement présents sur les routes nationales a été analysée, et une attention particulière a été portée à la question de la modification des niveaux de congestion

qu'entraînerait l'introduction de véhicules autonomes. La procédure mise en place dans le cadre de cette analyse correspond à celle proposée par le Programme de développement des routes nationales (PRODES).

Portée des simulations, limitations des méthodes

Dans le cadre des simulations réalisées avec MATSim, le choix du mode de transport (transport motorisé individuel (TMI), moyens de transport public ou mobilité douce), la détermination des itinéraires – ou leur répartition à travers le réseau de transport – ainsi que le choix des heures de départ ont été modélisés. En ce qui concerne les transports publics, si tous les horaires relatifs à toutes les stations ou gares et à toutes les sociétés de transport ont bien été collectés, les retards causés par l'instabilité du trafic n'ont pas pu être pris en compte. La mobilité induite, consistant d'une part dans une modification de la sélection des destinations et d'autre part dans l'émergence de nouveaux itinéraires (c'est-à-dire la génération de trafic supplémentaire) n'a pas pu être prise en compte. Toutefois, dans cette étude, la prestation de transport supplémentaire résultant de l'émergence des nouveaux itinéraires a pu être approximée à partir des résultats d'une autre enquête (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017). Les changements dans la sélection de la destination n'ont pas été modélisés et leurs répercussions sur la performance des services de transport n'ont pas été évaluées, car le processus de décision à l'origine des changements de destination n'était pas connu avec une précision suffisante. À cause de cette limitation (pas de nouveaux itinéraires, pas de possibilité de modifier la destination), l'utilisation des services de transport (en voyageurs-kilomètres) ne varie que très légèrement selon les scénarios pour une région et une année données.

De plus, la méthode choisie présente certaines limitations quant à la modélisation des choix de mode de transport des personnes ne pouvant pas se déplacer seuls en véhicule motorisé, c'est-à-dire des individus sans permis de conduire – enfants, personnes en situation de handicap, etc. Par ailleurs, pour des raisons techniques liées à la modélisation, il n'a pas été possible d'appliquer le processus de choix du moyen de transport aux trajets qui ont été effectués en tant que passager d'une voiture individuelle (non conducteur), dans le scénario de référence : ainsi, pour les personnes n'ayant pas de permis de conduire, le choix du moyen de transport s'est appliqué uniquement aux trajets qu'ils ont réalisé à pied, en vélo ou en transport public.

Dans les analyses qui vont suivre, les taxis autonomes seront comptés comme des TMI, dans la mesure où ils constituent un moyen de transport individuel et motorisé. Les trajets à vide (transfert jusqu'au lieu de leur utilisation par le prochain client) ont été pris en considération. Si ces trajets à vide n'ont pas d'influence sur la prestation de transport (exprimée en voyageurs-kilomètres), ils influencent par contre la prestation kilométrique totale (exprimée en kilomètres-véhicules). Les trajets à vide de véhicules autonomes privés n'ont pas été simulés car aucune donnée sur l'utilisation privée de véhicules autonomes n'est encore disponible. Enfin, aucun trajet à vide n'a été pris en compte concernant le transport de marchandises. Pour ces raisons, la prestation kilométrique par véhicule a été globalement sous-estimée.

En ce qui concerne le partage de véhicules (*pooling*), il faut noter que l'algorithme de *pooling* utilisé ne permet de regrouper que des trajets commençant à l'intérieur d'un même « voisinage » et que, par conséquent, la possibilité d'accueillir un voyageur supplémentaire au cours du trajet n'a pas été prise en considération. L'implémentation d'algorithmes qui résoudraient cette question fait actuellement l'objet de recherches et n'a pas pu être menée à bien dans le cadre de ce projet. La demande de trajets partagés est, de ce fait, sous-estimée.

Définition et hypothèses des différents scénarios

En concertation avec les responsables des autres sous-projets et avec la commission de suivi (BK), deux scénarios mettant en jeu des véhicules autonomes ont été développés. Ces deux scénarios, désignés respectivement par A et B, ne se distinguent l'un de l'autre par l'hypothèse faite quant à la possession ou à la facilité d'accès à un véhicule privé. Dans le scénario A, la proportion de la population qui a accès à un véhicule privé est identique à celle observée dans le scénario de base de 2020. En revanche, dans le

scénario B, cette proportion diminue drastiquement (voir **Tab. 13**). L'hypothèse qui sous-tend ce dernier scénario est justifiée par le fait que, dans un contexte où l'offre en moyens de transport collectifs (ici principalement les taxis autonomes) est abondante, les individus auraient tendance à céder leur véhicule privé, voire à ne jamais en faire l'acquisition. Ainsi, les scénarios A et B correspondent respectivement – avec certaines restrictions visant à permettre leur implémentation dans notre outil – aux scénarios A « exploitation individuelle et monomodale » et B « exploitation collective et multimodale » décrits dans le rapport intermédiaire du sous-projet 1. Les autres hypothèses effectuées concernant la libération d'espace routier grâce aux véhicules autonomes, la valeur monétaire du temps passé dans les différents types de véhicules autonomes ainsi que la proportion de véhicules autonomes parmi l'ensemble des véhicules en circulation, d'un côté dans le parc privé et, d'un autre côté, pour le transport de marchandises, sont identiques entre les scénarios A et B. Conformément aux chiffres de l'intégration progressive des véhicules autonomes dans le système de transport et dans le marché automobile, la part de l'espace réservé à ces véhicules et la pénétration du marché varient d'année en année.

Les tableaux **Tab. 13** à **Tab. 17** présentent les hypothèses supplémentaires des différents scénarios.

Tab. 13 *Description des scénarios – Proportion de la population ayant accès à un véhicule privé*

Scénario	**Année**	**Part de la population ayant accès à un véhicule privé, en points de pourcentage**
Présent	2020	81.6
Scénario de référence	2030	80.7
Scénario de référence	2040	79.8
Scénario de référence	2050	78.6
A	2030	80.7
A	2040	79.8
A	2050	78.6
B	2030	80.7
B	2040	69.8
B	2050	34.8

Les valeurs actuelles et celles des scénarios de référence s'appuient sur le micro-recensement mobilité et transports, STATPOP et le scénario de référence de les prévisions démographiques de l'OFS. La tendance à la baisse est imputable au changement démographique, dont il est attendu qu'il provoque une diminution de la part de la population possédant un véhicule privé.

Tab. 14 *Description des scénarios – véhicules privés autonomes: PCU, VOT, pénétrations du marché*

	Véhicule privé conventionnel	**Véhicule privé autonome**
Valeurs de PCU pour : HLS120/HLS100/UG80/UG50	1.0	0.83 / 0.77 / 0.83 / 0.80
VOT	31.90 CHF/h	17.14 CHF/h
Pénétration du marché en 2030	99.5%	0.5%
Pénétration du marché en 2040	94.4%	6.6%
Pénétration du marché en 2050	68.7%	31.3%

PCU = Passenger Car Unit = unité de mesure des véhicules évaluant leur effet sur la capacité de la route

VOT = Value of Time

Tab. 15 *Description des scénatios – véhicules autonomes pour le transport de marchandises* : PCU et pénétration du marché*

	Véhicule de transport de marchandises conventionnel	**Véhicule de transport de marchandises autonome**
Valeurs de PCU pour : PCU HLS80/ UG80/ UG50	4.00	3.08 / 3.33 / 3.20
Pénétration du marché en 2030	99.4%	0.6%
Pénétration du marché en 2040	92.7%	7.3%
Pénétration du marché en 2050	60.9%	39.1%
PCU = Passenger Car Unit = unité de mesure des voitures évaluant leur effet sur la capacité de la route * uniquement les véhicules lourds utilisés pour le transport de marchandises sont modélisés		

Tab. 16 *Description des scénarios – routes libérées au profit des véhicules autonomes*

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
Catégorie OSM	Aucun espace libéré	city shapes** motorway, trunk	city shapes**, motorway, trunk, primary, freespeed***<= 13.8m/s	Toutes les routes
Correspond plus ou moins à*:	Aucun espace libéré	Espace urbain**, routes à haut débit de vitesse maximale 120km/h et 80-100km/h	Espace urbain **, routes à haut débit de vitesse maximale 120km/h et 80-100km/h, routes principales, rues d'agglomération	Toutes les routes

* Les catégories OSM sont définies pour tous les pays et ne correspondent pas nécessairement à la classification suisse. En particulier, en ce qui concerne les rues d'agglomération, il est recommandé d'être prudent.

** Défini par TP5 avec GIS et transcrit par TP2 dans MATSim.

*** Toutes les rues qui, selon OSM, une vitesse maximale autorisée de 50km/h. On suppose ici que toutes ces rues sont situées à l'intérieur de localités.

Tab. 17 *Description des scénarios – prix des transports publics.**

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
Niveau actuel	Inchangé			
Scénario de référence	Inchangé	Inchangé	Inchangé	Rails: -20% Route: -40%
A	Inchangé	Inchangé	Inchangé	Rails: -20% Route: -40%
B	Inchangé	Inchangé	Inchangé	Rails: -20% Route: -40%

** La diminution des tarifs des transports publics est justifiée par l'hypothèse que l'automatisation du système de transport public aura lieu dans tous les scénarios 2050 et que les économies de coûts d'exploitation qui en résulteront seront répercutées sur les clients.*

Résultats

Le taux de pénétration du marché des véhicules autonomes considéré dans les scénarios pour l'année 2030 explique que les résultats des scénarios, avec ou sans véhicules autonomes, à l'échelle régionale ou nationale, ne soient pas significativement différents les

uns des autres. C'est seulement en 2040, lorsque ce taux augmente, que les premières différences notables apparaissent. Elles sont d'autant plus marquées en 2050, et c'est pourquoi, dans ce résumé, seuls les résultats de cette dernière année seront présentés.

Les tableaux suivants illustrent les différences absolues et relatives en termes de prestation de transport et de prestation kilométrique totales obtenues dans les scénarios régionaux, avec taxis et véhicules privés et autonomes, par rapport à l'état actuel. En ce qui concerne le scénario de référence, les valeurs elles-mêmes sont également présentées. Il est important de noter que dans tous les scénarios, y compris le scénario de référence (sans véhicules autonomes), le prix des moyens de transports publics est réduit de 20% (trafic ferroviaire) à 40% (trafic routier) suite à l'automatisation prévue des véhicules servant au transport public.

Tab. 18 *Différence absolue et relative de la prestation kilométrique totale, sur route, pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région rurale monocentrique (LG) de Coire, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de véhicules-kilomètres.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-v]	Transport de marchandises total [Mio. km-v]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-v]	Total [Mio. km-v]
lg	Présent	2020	0.03	0.09	1.68	1.80
lg	Référence	2050	0.00	0.03	-0.20	-0.17
			0%	33%	-12%	-9%
lg	A (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.03	0.13	0.16
			0%	33%	8%	9%
lg	B (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.03	-0.17	-0.14
			0%	33%	-10%	-8%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

* Dans le modèle, les horaires des transports publics restent constants pour toutes les années et tous les scénarios; aucune autre approche n'est envisageable qui permette de garantir un niveau de détail suffisant. C'est pourquoi les distances parcourues par les transports publics ne varient pas.

Transport de marchandises total = km-véhicule de véhicules lourds, autonomes ou non, transportant des marchandises, circulant sur la route

Transport motorisé individuel total = km-véhicules de véhicules, autonomes ou non, individuels ou taxis, les trajets à vide des taxis étant inclus.

Tab. 19 *Différence absolue et relative de la prestation de transport, sur route, pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région rurale monocentrque (LG) de Coire, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de voyageurs-kilomètres.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-p]	Transport lent [Mio. km-p]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-p]	Total [Mio. km-p]
lg	Présent	2020	0.52	0.14	2.04	2.70
lg	Référence	2050	0.11	0.00	-0.20	-0.09
			21%	0%	-10%	-3%
lg	A (avec véhicules autonomes)	2050	-0.03	-0.04	0.04	-0.03
			-6%	-29%	2%	-1%
lg	B (avec véhicules autonomes)	2050	0.24	0.03	-0.35	-0.08
			46%	21%	-17%	-3%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

Transport motorisé individuel total = voyageurs-km liés à des trajets effectués en véhicule motorisé, autonome ou non, en tant que conducteur, passager ou usager d'un taxi

Transport lent = voyageurs-km liés à des trajets effectués à pied ou à vélo

Tab. 20 *Différence absolue et relative de la prestation kilométrique totale, sur route, pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région rurale pluricentrique (LU) de Fribourg, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de véhicules-kilomètres.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-v]	Transport de marchandises total [Mio. km-v]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-v]	Total [Mio. km-v]
Lu	Présent	2020	0.04	0.08	3.24	3.36
Lu	Référence	2050	0.00	0.03	0.66	0.69
			0%	38%	20%	21%
Lu	A (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.03	1.42	1.45
			0%	38%	44%	43%
lu	B (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.03	1.12	1.15
			0%	38%	35%	34%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

* Dans le modèle, les horaires des transports publics restent constants À travers les années et les scénarios, parce qu'aucune alternative suffisamment détaillée n'a pu être trouvée. C'est pourquoi les distances parcourues par les transports publics ne varient pas

Transport de marchandises total = véhicules-km de véhicules lourds, autonomes ou non, transportant des marchandises, circulant sur la route

Transport motorisé individuel total = véhicules-km de véhicules, autonomes ou non, individuels ou taxis, les trajets à vide des taxis étant inclus.

Tab. 21 *Différence absolue et relative de la prestation de transport, sur la route pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région rurale pluricentrique (LU) de Fribourg, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de kilomètres-personne.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-p]	Transport lent [Mio. km-p]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-p]	Total [Mio. km-p]
Lu	État de référence	2020	1.03	0.36	3.87	5.26
Lu	Référence	2050	0.60	0.10	0.90	1.60
			58%	28%	23%	30%
Lu	A (avec véhicules autonomes)	2050	0.17	-0.06	1.43	1.54
			17%	-17%	37%	29%
lu	B (avec véhicules autonomes)	2050	0.92	0.14	0.76	1.82
			89%	39%	20%	35%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

Transport motorisé individuel total = km-passagers liés à des trajets effectués en véhicule motorisé, autonome ou non, en tant que conducteur, passager ou usager d'un taxi

Transport lent = km-passagers liés à des trajets effectués à pied ou à vélo

Tab. 22 *Différence absolue et relative de la prestation kilométrique totale, sur route, pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région urbaine (SA) autour de Zurich, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de véhicules-kilomètres.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-v]	Transport de marchandises total [Mio. km-v]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-v]	Total [Mio. km-v]
sa	État de référence	2020	0.15	0.47	13.37	13.99
sa	Référence	2050	0.00	0.14	-0.31	-0.17
			0%	30%	-2%	-1%
sa	A (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.15	5.80	5.95
			0%	32%	43%	43%
sa	B (avec véhicules autonomes)	2050	0.00	0.13	4.18	4.31
			0%	28%	31%	31%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

* Dans le modèle, les horaires des transports publics restent constants À travers les années et les scénarios, parce qu'aucune alternative suffisamment détaillée n'a pu être trouvée. C'est pourquoi les distances parcourues par les transports publics ne varient pas

Transport de marchandises total = véhicules-km de véhicules lourds, autonomes ou non, transportant des marchandises, circulant sur la route

Transport motorisé individuel total = véhicules-km de véhicules, autonomes ou non, individuels ou taxis, les trajets à vide des taxis étant inclus.

Tab. 23 *Différence absolue et relative de la prestation de transport, sur la route pour le scénario avec taxis et véhicules privés autonomes, dans la région urbaine (SA) autour de Zurich, en 2050, par rapport au scénario de référence pour la même année, en millions de kilomètres-personne.*

Région	Scénario	Année	Transport public* [Mio. km-p]	Transport lent [Mio. km-p]	Transport motorisé individuel total [Mio. km-p]	Total [Mio. km-p]
sa	État de référence	2020	10.60	1.75	16.76	29.11
sa	Référence	2050	4.44	0.21	0.54	5.19
			42%	12%	3%	18%
sa	A (avec véhicules autonomes)	2050	0.40	-0.21	5.64	5.83
			4%	-12%	34%	20%
sa	B (avec véhicules autonomes)	2050	1.67	0.33	3.64	5.64
			16%	19%	22%	19%

* Remarque: Pour tous les scénarios de 2050, il est supposé que le prix des transports publics aura diminué, grâce à l'automatisation, de 20% pour le transport ferroviaire et de 40 % pour le transport routier !

Transport motorisé individuel total = km-passagers liés à des trajets effectués en véhicule motorisé, autonome ou non, en tant que conducteur, passager ou usager d'un taxi

Transport lent = km-passagers liés à des trajets effectués à pied ou à vélo

Changement de la prestation de transport

En général, les résultats témoignent d'une augmentation de la prestation de transport en 2050 par rapport à 2020, ce qui est cohérent avec l'augmentation attendue de la population. La région rurale de Coire, où un léger recul est observé, fait exception, ce qui peut s'expliquer par le fort vieillissement de la population locale en comparaison avec les autres régions. Dans le scénario de référence pour 2050, qui reflète à la fois la croissance de la population et la réduction du prix des moyens de transport public, la prestation de transport augmente plus fortement par rapport au niveau de 2020 pour les transports publics et les moyens de transport lents que pour le transport motorisé individuel, et ce dans toutes les régions.

Dans le scénario A, qui tient compte aussi bien la croissance de la population et la diminution du prix des transports publics que de la disponibilité de véhicules autonomes privés et de taxis autonomes, en 2050, la croissance du volume du transport individuel motorisé par rapport au scénario de référence est supérieure à celle des transports publics. De plus, le nombre de kilomètres parcourus par des moyens de transport lents diminue. Le scénario B, qui prévoit une forte réduction de la possession de véhicules privés et fait les mêmes hypothèses que le scénario A, prévoit des effets variables selon les régions. Dans les régions rurales, l'augmentation de la prestation de transport dû aux moyens de transports lents et aux transports publics par rapport au niveau actuel est plus forte que celle de la prestation de transport relatif aux moyens de transports motorisés individuels. Cette tendance est plus marquée que dans le scénario de référence de 2050. Dans les agglomérations urbaines, à l'inverse, la croissance de la prestation de transport dû aux moyens de transport individuels (taxis autonomes inclus) est plus forte que celle des moyens de transports publics et des transports lents. Toutefois, cette tendance est moins marquée que dans le scénario A.

Évolution de la prestation kilométrique totale

Les résultats (cf. tableaux **Tab. 18** à **Tab. 23**) mettent également en évidence le fait que, dans les scénarios A et B – ceux qui simulent l'introduction de véhicules autonomes –, la prestation kilométrique totale sur route augmente plus fortement que dans le scénario de référence pour 2050. Toutefois, cette croissance est significativement plus importante dans le scénario A que dans le scénario B. On observe des variations selon les régions.

Dans l'agglomération urbaine, ainsi que dans la région rurale monocentrique, la prestation kilométrique sur route recule de respectivement -1 et -9 %, dans le scénario de référence pour 2050, par rapport au niveau de base de 2020. Deux raisons expliquant ce phénomène sont d'une part la réduction du prix des transports publics en 2050 suite à leur automatisation, d'autre part les changements dans les mobilités occasionnés dans ces régions par l'évolution de la structure démographique. Ces changements de comportement en matière de mobilité dus à l'évolution démographique peuvent se refléter dans la méthodologie utilisée, les activités et les déplacements qu'une personne synthétique effectue au cours de la journée simulée lui étant attribués en fonction de ses caractéristiques sociodémographiques et de sa situation géographique.Dans le scénario A, la prestation kilométrique totale augmente considérablement dans l'agglomération urbaine (+43%) et bien plus légèrement dans l'environnement rural monocentrique (+9%), par rapport au niveau de base de 2020. Ces variations sont essentiellement causées par des changements dans le choix du mode de transport.

Selon le scénario B, en 2050, la croissance de la prestation kilométrique en environnement urbain sera comparativement moins extrême (+31%), tandis que, dans la zone rurale monocentrique, il reculera dans les mêmes proportions que dans le scénario de référence (-8%). Quant à l'environnement rural pluricentrique, il se distingue par une augmentation de la prestation kilométrique dans tous les scénarios – la plus petite augmentation correspond au scénario de référence (+21%) et la plus grande au scénario A (+43%).

Le kilométrage total augmente ainsi plus fortement dans l'agglomération urbaine que dans les milieux ruraux. La raison en est que dans ce type d'environnement, une proportion élevée des trajets est réalisée soit en transports publics, soit à pied ou à vélo. Or, on peut s'attendre à ce que les usagers de ces moyens de transport soient abondamment sollicités par les opérateurs des nouveaux taxis autonomes ; ainsi, une part importante de leurs trajets pourra être « transférée », en 2050, vers les moyens de transports individuels motorisés. Dans les zones rurales, ce potentiel se révèle bien moins important : en effet, par rapport à la situation en zone urbaine, un grand nombre de trajets est déjà effectué en moyens de transport motorisés individuels.

Évolution des goulets d'étranglement sur les routes nationales

Afin d'analyser les effets sur le congestionnement routier de l'émergence de flottes de véhicules autonomes, douze zones connues pour être des goulets d'étranglement ont été choisies. Les résultats des scénarios régionaux avec taxis autonomes leur ont été appliqués (pour des raisons techniques, le scénario national ne pouvait être simulé que sans véhicules autonomes). Les résultats des deux scénarios sont similaires : les problèmes de congestionnement ne seront résolus que dans un petit nombre de cas. Avec le scénario A, neuf des douze points étudiés restent problématiques ; avec le scénario B, pour huit des douze points, le congestionnement n'est pas résorbé ; et cela malgré les hypothèses optimistes qui ont été faites, dans les deux scénarios, quant à l'effet sur la capacité des routes de l'introduction de véhicules autonomes.

En ce qui concerne les nœuds du réseau secondaire, il a été montré, pour trois nœuds routiers spécifiques, que, dans le scénario A-2050, les charges des nœuds se trouvent accrues sous l'effet de la demande supplémentaire, et que, par conséquent, le taux de remplissage augmente et les temps d'attente s'allongent. Dans le scénario B-2050, pour un nombre de véhicules égal à celui du scénario A, l'occupation effective du nœud, exprimée en PCU, est réduite de 3 à 8% par rapport au scénario de référence pour 2050. Cela réduit de fait le taux de remplissage nominal et les temps d'attente. Une raison expliquant cette variation est la différence dans le taux d'automatisation des flottes de véhicules circulant sur le réseau routier suisse : dans le scénario A, selon le type de route considéré, de 42 à 73% des véhicules en circulation sont autonomes ; ces taux atteignent 61 à 90% dans le scénario B où, alors que moins de véhicules privés sont disponibles, au contraire, plus de taxis autonomes sont présents.

Stabilité des résultats

La stabilité des résultats a été analysée, dans tous les scénarios, selon cinq approches distinctes. Les effets des hypothèses régissant chaque scénario sur les niveaux de

congestion ont été analysés qualitativement à l'échelle nationale et dans l'agglomération urbaine. Le tableau suivant rassemble les résultats obtenus.

Tab. 24 *Classification qualitative des paramètres influençant le niveau de congestionnement sur le réseau des routes nationales, analysée dans la zone urbaine, en comparaison avec le scénario de référence (sans sensibilité)*

Critère	Correspond à	Scénario A-2050	Scénario B-2050
1) Aucun changement du prix des transports publics	Aucune réduction du prix des transports publics du fait de leur automatisation	**+6%** de la prestation kilométrique sur route	**+8%** de la prestation kilométrique sur route
		→ Pression plus importatnte sur les points de congestion, en raison d'une augmentation de la demande de transport routier, pas de diminution sensible du niveau de congestions	→ Pression plus importante sur les points de congestion en raison de l'augmentation de la demande, possible augmentation du niveau de congestions
2) Variations dans la valeur monétaire du temps (VOT) de transport	Adaptation de la VOT pour les véhicules autonomes, définie à 70%, et non plus à 50%, de la VOT pour des véhicules de transport non autonomes	**-4%** de la prestation kilométrique sur route, pour un temps de trajet total inchangé	**-8%** de la prestation kilométrique sur route, pour un temps de trajet total inchangé
		→ Pression moins importante sur les points de congestion en raison de la diminution de la demande de transport routier, diminution possible du niveau de congestions	→ Pression moins importante sur les points de congestion en raison de la diminution de la demande de transport routier, diminution vraisemblable du niveau de congestions
4) Présence de véhicules autonomes «prudents» dans les années d'introduction	En raison de considérations liées à la sécurité, les véhicules autonomes réduisent, pendant les premières années de leur présence, la capacité des rues (les véhicules autonomes ont une PCU maximale de 1,25, ce qui correspond à une perte de capacité en terme du nombre de véhicules de 20% vis-à-vis des véhicules conventionnels)	**-10%** de la prestation kilométrique sur route **+20-25%** de l'occupation de l'espace routier, sur l'exemple de la route N1 (Zürich Ost – Wallisellen), en terme de PCU	**-9%** de la prestation kilométrique sur route **+20-25%** de l'occupation de l'espace routier, sur l'exemple de la route N1 (Zürich Ost – Wallisellen), en terme de PCU
		→ Plus de cas de surcharges des routes, par conséquent diminution de la demande de transport routier. L'occupation exprimée en PCU dans les zones de congestion augmente significativement, augmentation significative du niveau de congestions dans certains cas	→ Plus de cas de surcharges des routes, par conséquent diminution de la demande de transport routier. L'occupation exprimée en PCU dans les zones de congestion augmente significativement, augmentation significative du niveau de congestions dans certains cas
5) Configuration extrême, pénétration du marché totale	Augmentation de la capacité routière suite à l'introduction massive de véhicules autonomes et pénétration totale dans la flotte de véhicules (les véhicules autonomes ont une PCU minimale de 0,67, ce qui correspond à un gain de capacité pouvant atteindre 50% par rapport aux véhicules conventionnels)	**+33%** de la prestation kilométrique sur route **+5%** de l'occupation de l'espace routier, sur l'exemple de la route N1 (Zürich Ost – Wallisellen), en terme de PCU	**+10%** de la prestation kilométrique sur route **-5-10%** de l'occupation de l'espace routier, sur l'exemple de la route N1 (Zürich Ost – Wallisellen), en terme de PCU
		→ Les capacités plus importantes et la pénétration complète des véhicules autonomes dans le marché déclenchent une importante augmentation de la demande. La pression sur les zones de congestion n'augmente pas en proportion, mais elle s'accroît tout de même dans une certaine mesure.	→ Les capacités plus importantes et la pénétration complète des véhicules autonomes dans le marché déclenchent une importante augmentation de la demande. Cependant, la pression sur les zones de congestion diminue, car les véhicules «consomment » final sement moins de capacité. Diminution vraisemblable du niveau de congestions.

Le transport induit par l'émergence de nouveaux itinéraires a été estimé de manière analogue à ce qui a été proposé dans l'étude (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen,

2017), qui considérait des scénarios très similaires sur le territoire suisse. Même les scénarios les plus optimistes – plus optimistes encore que le scénario B en ce qui concerne les gains de capacité et la possession de véhicules privés – n'ont montré qu'une croissance de 0,1% du volume de transport, par rapport aux gains attendus en terme de temps de trajet et d'accessibilité. Si cette valeur était appliquée à l'agglomération urbaine, cela entraînerait une augmentation de la prestation de transport en raison de l'émergence de nouveaux itinéraires de 0,029 millions de voyageurs-kilomètres dans le scénario B-2050 avec l'analyse de stabilité 5. Les effets de la modification du choix de la destination et de l'augmentation du trafic qui en résulte n'ont pas été estimés dans (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017), et n'ont pu être estimés dans le cadre de cette étude.

Les gains de capacité optimistes supposés de la flotte de véhicules autonomes ne peuvent que partiellement compenser la croissance de la demande de transport routier résultant de la croissance démographique, du transfert modal, des décisions de choix d'itinéraires et des kilomètres à vide des taxis autonomes. Ce n'est qu'à un taux de pénétration du marché très élevé et à un taux élevé d'utilisation partagée des véhicules que les charges en PCU et donc la pression sur les goulets d'étranglement peuvent être réduites, malgré l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus sur la route.

Enseignements majeurs

D'une manière générale, l'effet positif sur la capacité des routes dû aux véhicules autonomes, notamment grâce à leur moindre consommation d'espace routier, est aussitôt compensé, au moins partiellement, par l'augmentation de la demande qui découlent de leur attractivité relativement élevée par rapport aux autres modes.. Ainsi, si les taxis autonomes pourraient rendre certaines situations de congestion moins critiques, ils ne contribueraient à leur résorption que dans des cas isolés. Les trajets à vide de véhicules privés autonomes, les modifications éventuelles des lieux de résidence et de travail ansi que les changements dans le choix des destinations permises par la conduite autonome n'ont pas été simulés. Par conséquent, il est probable que les effets de l'introduction de véhicules autonomes aient été sous-estimées.

Dans de nombreuses situations, le niveau de congestion ne peut être réduit que si les effets des véhicules autonomes sur la capacité routière sont proches de la valeur la plus optimiste envisagée et si la prévalence des véhicules autonomes parmi l'ensemble des véhicules en circulation est aussi grande que possible. Cependant, même dans le scénario B avec 100 % de véhicules autonomes et un gain de capacité d'environ 50% par véhicule autonome (critère de sensibilité 5), la charge effective du système de transport (en PCU) ne diminue que de 10% environ à cause de la demande supplémentaire, ce qui correspond à une baisse d'un niveau seulement du taux de congestion. Sous l'hypothèse d'une croissance générale de la population et avec des besoins en transport similaires à ce qui est observé aujourd'hui, cet effet serait entièrement absorbé en l'espace de quelques années.

Dans tous les scénarios, les transports publics continuent à représenter une part significative de l'ensemble des trajets effectués et ne seront pas supplantés par les véhicules autonomes, bien que ces derniers soient en forte concurrence avec les transports publics.. La réduction supposée du prix des transports publics a contribué en grande partie au fait que, même dans le scénario de référence pour 2050, ceux-ci soient favorisés par les changements de mode de transports (on estime que, dans les régions rurales, la prévalence des transports publics augmentera de 2 points de pourcentage, contre 4 points dans les zones urbaines). Cette évolution est nettement moins marquée dans le cas où les prix des transports publics seraient inchangés suite à l'automatisation des véhicules (critère de sensibilité 1) ; toutefois, elle ne disparaît pas totalement. Les répercussions d'éventuels gains d'attractivité des transports publics pour les consommateurs suite à une réduction des prix augmente ainsi significativement la compétitivité des transports publics.

Les résultats des simulations montrent que le potentiel du partage de véhicules (*pooling*) est assez limité. De manière générale, on peut retenir que l'idée d'un partage de véhicule

pour des trajets ayant les mêmes points de départ et d'arrivée est prometteuse sous des conditions idéales (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019). Si les préférences des utilisateurs sont prises en compte, le *pooling* n'est viable que dans quelques rares cas. Cela n'exclut cependant pas qu'un système de mise en relation des usagers plus complexe – qui pourrait notamment prendre en compte de nouveaux clients et de nouvelles missions au cours d'un même trajet – montre un plus fort potentiel.

Perspectives pour l'action publique

Le développement du transport autonome s'accompagne d'opportunités et de risques nombreux, d'importants bénéfices potentiels autant que de possibles nouveaux coûts. Les actions à mettre en place pour faire face à l'accroissement du trafic devront être mûries à la lumière de critères écologiques, économiques et sociaux. Si la Confédération souhaite freiner la demande croissante en termes de transports au moyen d'instruments organisationnels et d'outils visant à agir directement sur cette demande, il lui faudra également examiner des mesures qui vont dans le sens d'une tarification de la mobilité, que ce soit dans les transports publics ou pour les moyens de transports individuels motorisés. Indépendamment de ces considérations, une planification à long terme du développement des routes nationales est plus que jamais nécessaire si la Confédération souhaite y maintenir le flux de trafic à son niveau actuel. En effet, les analyses respectives des goulets d'étranglement et des nœuds routiers effectuées dans les différents scénarios (y compris ceux dans lesquels le prix des transports publics est réduit) ont montré que, même en cas de recul important de la possession de véhicules privés, les points de congestionnement sont en général partiellement réduits, mais ne disparaissent pas totalement.

Les transports publics resteront nécessaires même face au déploiement d'une flotte de véhicules autonomes. Du reste, ce processus d'automatisation est également porteur de nombreuses promesses pour les transports publics car il s'accompagnerait d'un potentiel d'augmentation de l'efficacité et ouvrirait la voie à l'introduction de nouveaux types d'offre. Il revient au monde politique de saisir ces nouvelles chances de développement.

Parallèlement à l'automatisation des véhicules, et compte tenu de ses effets sur la demande susceptibles d'amplifier une tendance déjà à l'œuvre, se pose la question de savoir comment formuler une réponse plus écologique à l'augmentation de la demande de mobilité. Au vu des connaissances actuelles, l'électrification des véhicules utilisant l'espace routier semble être nécessaire pour atteindre cet objectif. Les conséquences pour les recettes fédérales, notamment sur le plan du financement de l'infrastructure routière nationale, doivent être discutées en tenant compte de l'évolution future de la demande. De nouveaux instruments de financement devront être envisagés.

Les véhicules autonomes pourraient – dans la mesure où les hypothèses les plus optimistes quant à leur occupation spatiale des routes seraient effectivement satisfaites -- réduire la pression imposée par la présence de goulets d'étranglement, diminuer les temps de trajets moyens et, dans un même temps, améliorer le confort des voyageurs tout en augmentant les bénéfices pour les usagers. Toutefois, cela ne serait valable que si la propriété de véhicules personnels diminuait drastiquement. Même avec une diminution considérable de la possession de véhicules privés, le développement de véhicules autonomes contribuera, selon toute vraisemblance, à une augmentation importante de la prestation kilométrique totale sur les routes, ce qui serait préjudiciable pour l'environnement, pour les habitantes et les habitants ainsi que pour les utilisateurs de modes de mobilité moins représentés. L'espace urbain, en particulier, profiterait dans un premier temps de cette évolution avant d'en souffrir dans un second temps. Il importe donc que des mesures favorisant l'écomobilité et diminuant l'attractivité de la possession de véhicules particuliers soient prises. Dans la mesure où les effets des véhicules autonomes varient fortement d'une région à l'autre – le contraste entre zones urbaines et rurales étant particulièrement sensible – ces mesures devront être adaptées au niveau régional.

Summary

Objective

Automated driving has the potential to fundamentally change mobility and traffic. The opportunities as well as the risks of this new technology are great. Therefore, the identification and quantitative description of these opportunities and risks is important to enable state actors to exploit the opportunities in favor of the Swiss population and to minimize the risks. With this goal in mind, the Federal Roads Office (FEDRO) has formulated a research package that deals with this topic in six sub-projects (TP). The content of Subprojects 2 to 6 was coordinated throughout the course of the project. In addition, the respective partial results were used in connection with the upstream and downstream Sub-project 1. The aim of Subproject 2 is to identify and quantify as concretely as possible the possible positive and negative effects of automated driving on the Swiss transport system, especially its road infrastructure. This should enable state actors to identify the need for action and develop appropriate solutions.

Method

In this study, **mode choice**, **route choice** – which takes the place of the **traffic assignment** step used in four-step models - and **departure time choice** were simulated. For selected scenarios the agent-based traffic model MATSim (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016) was used. One nationwide scenario without automated vehicles and two nationwide scenarios with automated vehicles were created as a basis and simulated for the years 2020, 2030, 2040 and 2050 respectively. The data that served as a basis for these scenarios was a series of data sets from the FSO, the ARE, an SVI research project and from publicly available sources, such as OSM. These were synthesized into comprehensive MATSim scenarios using software specially developed for this purpose. These scenarios include the domestic passenger transport of the Swiss resident population and the domestic and cross-border heavy road-based freight transport. The population development was forecasted according to the reference scenario of the FSO. The growth in freight traffic was assumed in terms of tonne-kilometres in accordance with the ARE forecast for 2040.

Three regional scenarios were also created on the basis of the simulated national scenarios. These regional scenarios differ in terms of spatial type and traffic orientation: the urban agglomeration (sa) around and including Zurich, the rural multi-centric (lu) area around and including Fribourg, and the rural mono-centric (lg) area around and including Chur. In order to be able to model private automated vehicles and automated taxis, the software packages developed for the SVI research project SVI 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, 2019) were adapted and then additional, completely new functionalities were programmed. The simulations were calculated both for Switzerland as a whole and for the three regions described above. The reason for the consideration of three selected regions is that it is currently prohibitively computationally expensive to model automated taxis with a high resolution on the entire national level. Based on the simulations, bottlenecks on the national roads were then examined to see whether they would change with automated vehicles. The procedure for the bottleneck analysis corresponds to that of the Strategic Development Program for Federal Highways in Switzerland (STEP-NS).

Simulated effects and limitations of the method

Within the scope of the MATSim simulations, mode choice (private motorized transport, public transport, cycling, walking), route choice – which takes the place of the traffic assignment step used in four-step models - , and departure time choice are simulated. For public transport, the timetable and stops of all transport companies in Switzerland are taken into account. Delays in public transport due to unstable traffic conditions are not modelled. The induced demand, consisting of demand created by destination choice and new trips (traffic generation), could not be considered in the simulations. Nevertheless, in this study the additional passenger kilometers caused by new trips were roughly estimated based on the results of another study (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017). Changes in

destination choice are not depicted and the effects of destination choice on person distance traveled are not estimated because information and data on decision-making processes for destination choices were not available in sufficiently detailed form. With these limitations (no new routes, no destination selection changes), the total person distance traveled (in passenger kilometers) across all means of transport between the scenarios of one year (for example: Reference 2050, A 2050, B 2050) for a region changes only slightly.

Furthermore, with the chosen method it is only possible to a limited extent to depict the choice of means of transport of groups of people who currently cannot use motor vehicles independently (people without a driver's license such as schoolchildren, people with health problems, etc.). The trips that people travel as passengers in the reference scenario had to be static with regards to mode choice for technical reasons: no mode choice is performed for these trips. For this reason, the mode of transport chosen by persons without a driving license can only be performed for the trips that these persons travel in the reference scenario by using public transport or slow modes (cycling and walking).

In the following evaluations, automated taxis are counted as private motorized transport, as automated taxis represent an individual, motorized means of transport. For automated taxis, empty trips (moving empty taxis to the place of new use by passengers) were simulated. The empty trips of automated taxis are not reflected in the person distance traveled (in passenger-kilometers) but in the vehicle kilometers traveled. Empty journeys of private automated vehicles (private AVs) were not simulated because no data on the use of private AVs are (or can be) available. No empty freight transport kilometers were simulated either. Therefore, the vehicle kilometers traveled are underestimated.

With regards to pooling, it should be noted that the pooling algorithm only pools trips from the "neighborhood" of the trip request and does not allow for picking up additional passengers while enroute. The further development of pooling algorithms is a subject of current research and could not be addressed within the scope of this project. The demand for pooling is therefore underestimated.

Definition of the scenarios / scenario assumptions

In consultation with the other sub-projects and following the decision of the Monitoring Commission (BK), two scenarios of automated driving were used. These two scenarios, namely scenario A and B, differ only in terms of the assumed private vehicle ownership, or more precisely, in access to a private vehicle. In scenario A, the same percentage of persons have access to a private vehicle as in the baseline scenario 2020, whereas in scenario B access to a private vehicle is considerably reduced (see Table 1). This decrease is implemented based upon the assumption that in scenario B people decide to give up their private vehicle or not to buy one at all, because of the very good supply of collective means of transport, mainly automated taxis. Consequently, scenarios A and B - as far as technically feasible - correspond to the scenarios A "Individual and monomodal forms of use" and B "Collective and multimodal forms of use" described in the interim report of subproject 1. The other assumptions regarding the regulatory approval for the operation of automated vehicles on certain roadway categories, the capacity effects of automated vehicles, the values of time for the respective automated means of transport and the degree of market penetration of privately owned and freight automated vehicles are identical for scenarios A and B. According to the gradual integration of the automated vehicles into the transport system and the automobile market, the market penetration rate and the roadway categories for which regulatory approval for automated operation is given changes from year to year.

Tab. 25 to **Tab. 29** show further key assumptions for the scenarios.

Tab. 25 *Scenario Assumptions - Access to a private vehicle*

Scenario	Year	Percentage of the Population with access to a private vehicle
Baseline Scenario	2020	81.6
Reference Scenario	2030	80.7
Reference Scenario	2040	79.8
Reference Scenario	2050	78.6
A	2030	80.7
A	2040	79.8
A	2050	78.6
B	2030	80.7
B	2040	69.8
B	2050	34.8

Values for the baseline and reference scenarios are based on the Microcensus Mobility and Transport, STATPOP and the FSO's population forecast's reference scenario. The declining trend is due to the predicted demographic change, in which the population groups with private car ownership are declining proportionately.

Tab. 26 *Scenario assumptions: Automated private vehicles: PCU, VOT, market penetration*

	Conventional private vehicles	Automated private vehicles
PCU Values for: HLS120/HLS100/UG80/UG50	1.0	0.83 / 0.77 / 0.83 / 0.80
VOT	31.90 CHF/h	17.14 CHF/h
Market Penetration Rate 2030	99.5%	0.5%
Market Penetration Rate 2040	94.4%	6.6%
Market Penetration Rate 2050	68.7%	31.3%

PCU = Passenger Car Unit
VOT = Value of Time

Tab. 27 *Scenario assumptions: Automated Freight Vehicles*: PCU, Market Penetration*

	Conventional freight vehicles	Automated freight vehicles
PCU Values for: HLS80/ UG80/ UG50	4.00	3.08 / 3.33 / 3.20
Market Penetration Rate 2030	99.4%	0.6%
Market Penetration Rate 2040	92.7%	7.3%
Market Penetration Rate 2050	60.9%	39.1%

PCU = Passenger Car Unit
* only heavy freight vehicles are simulated

***Tab. 28** Regulatory approval for automated vehicle operation*

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
OSM Category	no approval	city shapes** motorway, trunk	city shapes**, motorway, trunk, primary, freespeed***<= 13.8m/s	all Links
Approximately* corresponds to these Swiss roadway categories:	no approval	City Limits**, HLS 120km/h, HLS 80-100km/h	City limits**, HLS 120km/h, HLS 80-100km/h, HVS, Roadways within built-up areas	all roads

* OSM categories are international and do not necessarily correspond to Swiss classifications. Caution is required, especially with spatial classifications such as "roadways within built-up areas".

** Defined by sub-project 5 with GIS and integrated into MATSim by sub-project 2.

*** All roads that have a maximum speed of 50 km/h according to OSM. Here it is assumed that they correspond to roads within built-up areas.

***Tab. 29** Public transport fares*

	2020	**2030**	**2040**	**2050**
Baseline Scenario	same as today			
Reference Scenario	same as today	same as today	same as today	Rail: -20% Road: -40%
A	same as today	same as today	same as today	Rail: -20% Road: -40%
B	same as today	same as today	same as today	Rail: -20% Road: -40%

The reduction in public transport fares is justified by the assumption that the automation of the public transport system will take place in all 2050 scenarios and that the resulting operational cost savings are passed on to the customers.

Results

The assumed market penetration of AVs for the year 2030 means that the results of the scenarios with and without AVs do not differ substantially on the regional nor on the national level. Only with the assumed AV market penetration for the year 2040 do substantial differences become apparent. However, these differences are most pronounced in 2050, which is why only the results for 2050 are presented in this summary.

The following tables show the absolute and relative differences in terms of person distance traveled (passenger kilometers) and roadway vehicle kilometers traveled in the regional scenarios with automated taxis and private AV for the year 2050 compared with the respective regional baseline scenarios for the year 2020. The absolute values are also shown for the baseline scenario. It should be noted that in all scenarios for 2050, including the reference scenario without AVs, a reduction in public transport prices of 20% for rail-based public transport and 40% for road-based public transport is assumed.

Tab. 30 *Absolute and relative difference in roadway vehicle kilometers traveled for the rural mono-centric regional scenario (LG, Chur) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in millions of vehicle kilometers*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Vkm]	tot. F [Mio. Vkm]	tot. PMT [Mio. Vkm]	Total [Mio. Vkm]
lg	Baseline	2020	0.03	0.09	1.68	1.80
lg	Reference	2050	0.00	0.03	-0.20	-0.17
			0%	33%	-12%	-9%
lg	A (with AT)	2050	0.00	0.03	0.13	0.16
			0%	33%	8%	9%
lg	B (with AT)	2050	0.00	0.03	-0.17	-0.14
			0%	33%	-10%	-8%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automatization!

* In the model, the public transport timetable was kept constant over all years and scenarios, as no sufficiently detailed alternative timetables could be provided. Therefore, the vehicle kilometers traveled by public transport vehicles roads do not change.

PT = Public Transit vehicles, F = heavy Freight vehicles, PMT = Private Motorized Transport vehicles

tot. F = Vehicle-kilometers (Vkm) of conventional and automated heavy freight vehicles

tot. PMT = Vkm of conventional and automated private motorized vehicles and automated taxis, including empty kilometers of automated taxis.

Tab. 31 *Absolute and relative difference in total person distance traveled (including rail based modes) for the rural mono-centric regional scenario (LG, Chur) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in million passenger kilometers.*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Pkm]	SM [Mio. Pkm]	tot. PMT [Mio. Pkm]	Total [Mio. Pkm]
lg	Baseline	2020	0.52	0.14	2.04	2.70
lg	Reference	2050	0.11	0.00	-0.20	-0.09
			21%	0%	-10%	-3%
lg	A (with AT)	2050	-0.03	-0.04	0.04	-0.03
			-6%	-29%	2%	-1%
lg	B (with AT)	2050	0.24	0.03	-0.35	-0.08
			46%	21%	-17%	-3%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automation!

PT = Public Transit vehicles, SM = «slow modes», namely cycling and walking, PMT = Private Motorized Transport

tot. PMT = Pkm of trips made with conventional and automated private motorized vehicles, as a passenger in a private automated vehicle, and with automated taxis

Tab. 32 *Absolute and relative difference in roadway vehicle kilometers traveled for the rural multi-centric regional scenario (LU, Fribourg) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in millions of vehicle kilometers*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Vkm]	tot. F [Mio. Vkm]	tot. PMT [Mio. Vkm]	Total [Mio. Vkm]
lu	Baseline	2020	0.04	0.08	3.24	3.36
lu	Reference	2050	0.00	0.03	0.66	0.69
			0%	38%	20%	21%
lu	A (with AT)	2050	0.00	0.03	1.42	1.45
			0%	38%	44%	43%
lu	B (with AT)	2050	0.00	0.03	1.12	1.15
			0%	38%	35%	34%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automatization!

* In the model, the public transport timetable was kept constant over all years and scenarios, as no sufficiently detailed alternative timetables could be provided. Therefore, the vehicle kilometers traveled by public transport vehicles roads do not change.

PT = Public Transit vehicles, F = heavy Freight vehicles, PMT = Private Motorized Transport vehicles

tot. F = Vehicle-kilometers (Vkm) of conventional and automated heavy freight vehicles

tot. PMT = Vkm of conventional and automated private motorized vehicles and automated taxis, including empty kilometers of automated taxis.

Tab. 33 *Absolute and relative difference in total person distance traveled (including rail-based modes) for the rural multi-centric regional scenario (LU, Fribourg) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in million passenger kilometers.*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Pkm]	SM [Mio. Pkm]	tot. PMT [Mio. Pkm]	Total [Mio. Pkm]
lu	Baseline	2020	1.03	0.36	3.87	5.26
lu	Reference	2050	0.60	0.10	0.90	1.60
			58%	28%	23%	30%
lu	A (with AT)	2050	0.17	-0.06	1.43	1.54
			17%	-17%	37%	29%
lu	B (with AT)	2050	0.92	0.14	0.76	1.82
			89%	39%	20%	35%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automation!

PT = Public Transit vehicles, SM = «slow modes», namely cycling and walking, PMT = Private Motorized Transport

tot. PMT = Pkm of trips made with conventional and automated private motorized vehicles, as a passenger in a private automated vehicle, and with automated taxis

Tab. 34 *Absolute and relative difference in roadway vehicle kilometers traveled for the urban agglomeration regional scenario (SA, Zürich) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in millions of vehicle kilometers*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Vkm]	tot. F [Mio. Vkm]	tot. PMT [Mio. Vkm]	Total [Mio. Vkm]
sa	Baseline	2020	0.15	0.47	13.37	13.99
sa	Reference	2050	0.00	0.14	-0.31	-0.17
			0%	30%	-2%	-1%
sa	A (with AT)	2050	0.00	0.15	5.80	5.95
			0%	32%	43%	43%
sa	B (with AT)	2050	0.00	0.13	4.18	4.31
			0%	28%	31%	31%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automatization!

* In the model, the public transport timetable was kept constant over all years and scenarios, as no sufficiently detailed alternative timetables could be provided. Therefore, the vehicle kilometers traveled by public transport vehicles roads do not change.

PT = Public Transit vehicles, F = heavy Freight vehicles, PMT = Private Motorized Transport vehicles

tot. F = Vehicle-kilometers (Vkm) of conventional and automated heavy freight vehicles

tot. PMT = Vkm of conventional and automated private motorized vehicles and automated taxis, including empty kilometers of automated taxis.

Tab. 35 *Absolute and relative difference in total person distance traveled (including rail-based modes) for the urban agglomeration regional scenario (SA, Zürich) with automated taxis and private AVs for the year 2050 compared to the baseline scenario 2020, in million passenger kilometers.*

Region	Scenario	Year	PT* [Mio. Pkm]	SM [Mio. Pkm]	tot. PMT [Mio. Pkm]	Total [Mio. Pkm]
sa	Baseline	2020	10.60	1.75	16.76	29.11
sa	Reference	2050	4.44	0.21	0.54	5.19
			42%	12%	3%	18%
sa	A (with AT)	2050	0.40	-0.21	5.64	5.83
			4%	-12%	34%	20%
sa	B (with AT)	2050	1.67	0.33	3.64	5.64
			16%	19%	22%	19%

* Note: All scenarios for 2050 are based on the assumption that public transport fares will fall by 20% for rail-based and 40% for road-based public transit due to automation!

PT = Public Transit vehicles, SM = «slow modes», namely cycling and walking, PMT = Private Motorized Transport

tot. PMT = Pkm of trips made with conventional and automated private motorized vehicles, as a passenger in a private automated vehicle, and with automated taxis

Change in person distance traveled (passenger kilometers)

In general, the results show that due to population growth, more passenger kilometers will be traveled in 2050 than in 2020, which is to be expected. The rural, mono-centric area around Chur is an exception: the marginal decline observed in this region is explained by the much more pronounced ageing of the population compared to the other regions. In the reference scenario 2050, which includes population growth and a reduction in public transport prices, the passenger distance traveled (in pkm) with public transport and the slow modes grows more strongly than that traveled with private motorized transport in all regions when compared to the baseline scenario 2020.

In contrast, in scenario A 2050, which takes into account not only population growth and the reduction in public transport fares, but also the availability of private AVs and automated taxis, the person distance traveled (in pkm) of private motorized transport increases more strongly than that traveled with public transport compared to the baseline scenario. Furthermore, the person distance traveled with slow modes in scenario A 2050 decreases compared to the baseline scenario, instead of increasing. In scenario B 2050, which assumes a strong reduction in private vehicle ownership and otherwise has the same

assumptions as scenario A, the effects vary across the three regions. In the rural regions, the person distance traveled (in pkm) with public transport and the slow modes increases more strongly than that traveled with private motorized transport in comparison to the baseline scenario. In the urban agglomeration, on the other hand, the growth in person distance traveled (in pkm) with private motorized transport, including automated taxis, is stronger than that traveled with public transport and the slow modes. However, this trend is weaker than in Scenario A 2050.

Change in roadway mileage (vehicle kilometers travelled)

The results (see **Tab. 30** through **Tab. 35**) also show that when the scenarios A and B 2050 are compared with the baseline scenario 2020, the vehicle kilometers driven on the roads increases more sharply than when the reference scenario 2050 is compared with the baseline scenario 2020. However, the increase in Scenario A is substantially higher than in Scenario B. Regional differences can also be seen.

In the urban agglomeration and in the rural mono-centric area, roadway vehicle kilometers traveled in the reference scenario 2050 fall by -1% and -9% respectively compared to the baseline scenario 2020. The reason for this decrease is the underlying public transport price reduction in 2050 and the possible change in mobility behavior due to the change in the demographic structure of these regions forecasted by the FSO. Such changes in mobility behavior due to demographic changes can be reflected by the method used because the daily plans (the list of activities and trips a synthetic person completes during the simulated day) are assigned to synthetic persons based upon their sociodemographic characteristics and their geographic locations.

In scenario A 2050, roadway vehicle kilometers traveled increases significantly (+43%) in the urban agglomeration and moderately (+9%) in the rural mono-centric area compared with the baseline scenario 2020. This is mainly due to changes in mode choice.

In scenario B 2050, the increase in roadway vehicle kilometers traveled compared with the baseline scenario 2020 is somewhat less extreme in the urban agglomeration (+31%), while in rural areas the roadway vehicle kilometers traveled decrease to almost the same extent as in the reference scenario (-8%). The rural multi-centric area is characterized by an increase in roadway vehicle kilometers traveled in all scenarios, with the smallest increase in the reference scenario 2050 (+21%) and the largest increase in scenario A 2050 (+43%).

The comparatively high increase in roadway vehicle kilometers traveled in the urban agglomeration can be explained by the fact that it has a high proportion of trips made with public transport and slow modes in the baseline scenario. Automated taxis are particularly attractive to these users and thus shift a significant segment of demand to private motorized transport. In rural areas, the potential is lower, because more trips are already made by private motorized transport in the baseline scenario.

Changes in bottlenecks on national roads

For the bottleneck analysis, the results of the regional scenarios with automated taxis for 12 selected bottlenecks were transferred to the national scenario, which was simulated without automated taxis for computational reasons. The following applies to both scenarios: bottlenecks are only solved in a few cases. In scenario A 2050, 9 of the 12 bottlenecks remain and in scenario B 2050, 8 of the 12 bottlenecks remain. This is despite optimistic assumptions, which tend to overestimate the capacity effects of automated vehicles on the roadway cross-sections.

With reference to intersections in the local road network, it was shown for three example roadway intersections that in scenario A 2050 the performance-relevant intersection loads in PCUs increase as a result of the additional demand and thus both capacity utilization and waiting times increase. In scenario B 2050, with similar vehicle loads as in scenario A, the performance relevant intersection loads in PCUs decrease by 3 to 8% compared to the reference scenario 2050. This reduces the relevant capacity utilization and the average waiting times.

The reason for this decrease in capacity utilization is the higher effective degree of automatization of the vehicle fleet travelling on the Swiss road network in scenario B. For scenario A 2050, the share of automated vehicles is between 42% and 73% and for scenario B 2050 the share is between 61% and 90%, depending on the road category. This difference between the effective degree of automatization in scenario A and B is due to the fact that in scenario B, there are fewer private vehicles on the road, but more automated taxis. This increases the share of vehicles driving on the roads that are automated.

Sensitivity analyses

The stability of the results was analyzed for all scenarios with five sensitivity analyses. Their effects on the bottlenecks were qualitatively investigated at the national level and in the urban agglomeration region. The following table summarizes the results.

Tab. 36 *Qualitative classification of the sensitivity observations on the bottlenecks on the national road network on the basis of the SA area and in comparison with the main calculation run*

Sensitivity Analysis	Description	Scenario A 2050	Scenario B 2050
1) Unchanged public transport fares	No reduction of public transport prices through automation	**+6%** Total mileage on the road (number of vehicle kilometers)	**+8%** Total mileage on the road (number of vehicle kilometers)
		→ Increased pressure on bottlenecks due to increased road demand, but no significant "level change" in bottlenecks	→ Increased pressure on bottlenecks due to increased demand on the road, individual "level changes" in the bottlenecks are possible
2) VOT Adjustment	Adjusted Value of Time (VOT) for automated vehicles, 70% instead of 50% of the VOT of non-automated vehicles	**-4%** Total roadway vehicle kilometers traveled, unchanged total travel times	**-8%** Total roadway vehicle kilometers traveled, unchanged total travel times
		→ Decreasing pressure on bottlenecks due to reduced demand on the roads, individual "leveling down" of bottlenecks is possible	→ Decreasing pressure on bottlenecks due to reduced demand on the roads, individual "leveling down" of bottlenecks is likely
4) " Cautious" automated vehicles in the introductory years	Due to safety considerations, automated vehicles reduce roadway capacity in mixed traffic in the introductory years (automated vehicles have a maximum PCU of 1.25, corresponding to a vehicle-related capacity loss of 20% compared to conventional vehicles).	**-10%** total roadway vehicle kilometers traveled **+20-25%** PCU load on sample section (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**-9%** total roadway vehicle kilometers traveled **+20-25%** PCU load on sample section (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ More congested situations, resulting in reduced demand on the roads. The PCU load of the bottlenecks increases substantially, there are substantial "leveling ups" of bottlenecks	→ More congested situations, resulting in reduced demand on the roads. The PCU load of the bottlenecks increases substantially, there are substantial "leveling ups" of bottlenecks
5) Extreme settings and full market penetration	Increased roadway capacity due to extreme settings of automated vehicles and full market penetration of the vehicle fleet with automated vehicles (automated vehicles have a minimum PCU of 0.67, corresponding to 50% capacity gain compared to conventional vehicles).	**+33%** total roadway vehicle kilometers traveled **+5%** PCU load on sample section (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**+10%** total roadway vehicle kilometers traveled **-5-10%** PCU load on sample section (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ The increased capacity and full market penetration of automated vehicles triggers a large increase in roadway demand. The pressure on roadway bottlenecks does not increase proportionally, however, the increase is nevertheless considerable.	→ The increased capacity and full market penetration of automated vehicles trigger an increase in demand. Nevertheless, the pressure on the bottlenecks decreases, as the vehicles have a lower "capacity consumption" overall. Isolated "leveling down" of bottlenecks is likely.

The induced demand generated by new routes was estimated using the results of the study (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017), as this study considered very similar scenarios in Switzerland. Even the most optimistic scenarios - even more optimistic than scenario B in sensitivity test 5 with regard to capacity gains and private vehicle ownership - showed an increase in person distance traveled of only 0.1% due to new trips, despite considering the decreases in travel times and the associated accessibility gains. If this 0.1% increase in person distance traveled were applied to the region "City and Agglomeration", total person distance traveled in scenario B 2050 in sensitivity test 5 would increase by only about 0.029 million passenger kilometers due to new trips. The effects of changes in destination choice and the resulting increase in traffic were not estimated in (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017), nor could they be estimated in this study.

The assumed (optimistic) capacity gains of the AF can only partially compensate for the growth in roadway travel demand resulting from population growth, modal shift, route choice decisions and empty kilometers of automated taxis. Only at a very high market penetration rate and a high rate of shared vehicle usage can the PCU loads and thus the pressure on the bottlenecks be reduced, despite the number of roadway vehicle kilometers driven increasing.

Key findings

In general, the capacity increasing effect of automated vehicles that derive from their lower space-time requirements will be at least partially consumed by their demand increasing effects that derive from their relatively high attractiveness compared to other modes. Automated vehicles thus have the potential to alleviate bottlenecks, but they would eliminate them only in a few cases. It also must be taken into account, that empty trips of private automated vehicles, changes in residential and working locations, and changes in destination choice as a result of the characteristics of automated driving have not been simulated. Thus, the roadway demand increasing effects of automated vehicles have been underestimated in this study.

For many bottlenecks, changes in the bottleneck severity levels can only be expected when the roadway capacity increasing effects of automated vehicles are high and the market penetration of the vehicle fleet with automated vehicles is at a maximum. But even for scenario B with 100% of the vehicle fleet being automated vehicles and a roadway capacity gain of 50% per automated vehicle (sensitivity analysis 5), the performance-relevant traffic loads in PCU only fall by about 10% due to the increased roadway travel demand. This magnitude of traffic load reduction translates into a reduction of at most one bottleneck severity level. Assuming the same population growth trends and similar mobility needs as today, these capacity gains will be absorbed after just a few years.

In all simulated scenarios and under all simulated conditions, public transport continues to have a substantial market share and is not displaced by the automated vehicles, although the automated vehicles compete strongly with public transport. The assumed reduction in public transport fares is responsible to a large extent for the modal shift in trips towards public transport seen in the reference scenario 2050 (between 2 percentage points in rural areas and 4 percentage points in the urban agglomeration). This modal shift is significantly reduced if public transport fares remain unchanged (shown in sensitivity 1), but it does not disappear completely. Thus, passing on possible productivity gains in public transport to public transport users by means of fare reductions significantly increases the competitiveness of public transport.

The results of the simulations show that the potential of pooling is rather low. In general, it can be said that point-to-point pooling is promising if ideal conditions are assumed (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019). Taking user preferences into account, however, there are hardly any use cases. This does not exclude the possibility that a more complex pooling algorithm, in which new orders are accepted during the journey, may show a higher potential.

Key policy recommendations

Automated driving provides a wide range of opportunities and risks as well as benefits and costs. Taking into account all ecological, economic and social criteria, it must be examined

how the expected traffic growth can and should be handled. If the Swiss Confederation wants to curb the increasing travel demand with organizational and demand management instruments, then measures in the sense of Mobility Pricing in private motorized and public transport must be examined. Irrespective of this, under the premise that the Swiss Confederation wants to maintain the free flow of traffic on the national roads, long-term planning for the development of the national road process is still necessary. This is in view of the fact that the bottleneck analysis and intersection analysis of the scenarios examined (i.e. with public transport fare reduction) have shown that even with a substantial reduction in private vehicle ownership, bottlenecks are usually only eased but not eliminated.

Public transport will still be needed even if automated vehicles become available and popular. Automation also represents a great opportunity in public transport, as there is potential for increasing efficiency and new forms of service can be introduced. Politicians should strive to ensure that these opportunities can be utilized.

Although not fundamentally related to automation, the demand effects of automation that have been identified nonetheless call into question how the future demand for transport can be handled more ecologically. From today's point of view, electrification of the vehicle fleet on the road seems necessary for this. The consequences of electrification for federal revenues, for example for the financing of the national road infrastructure, must be adjusted while taking into account the development of travel demand and new financing instruments need to be established.

Automated vehicles could - if the more optimistic assumptions regarding their space-time requirements are valid - reduce traffic bottlenecks, lower average travel times and increase travel comfort and benefits for road users. However, this only applies if private vehicle ownership also declines drastically. Automated vehicles - even with a drastic reduction in private vehicle ownership - will very likely lead to a significant increase in road travel, which would tend to be harmful to the environment, local residents and weaker road users. The city in particular would benefit in the first sense and suffer in the second sense. It will therefore be all the more important in the future to take measures that strengthen the environmental alliance and make private car ownership less attractive. Since the effects of the AVs will vary by region - the contrast between urban and rural areas is particularly marked - measures will have to be adapted to regional conditions.

1 Einleitung

1.1 Forschungspaket «Automatisiertes Fahren»

Das automatisierte Fahren hat das Potenzial, die Mobilität und den Verkehr grundlegend zu verändern. In der internationalen Fachwelt werden mögliche Effekte auf zahlreiche Themengebiete seit einiger Zeit breit diskutiert. Zur Konkretisierung des automatisierten Fahrens für die Schweiz liegen auch erste qualitative und quantitative Aussagen zu den Auswirkungen vor. Positive und negative Effekte sind insbesondere aus Sicht der staatlichen Akteure aber zu vertiefen, um den Handlungsbedarf für staatliche Massnahmen zu prüfen und – falls gegeben – diese zielgerichtet auszugestalten.

Auf der einen Seite ergeben sich durch mögliche Nutzungen von automatisierten Fahrzeugen zahlreiche Chancen. Beispielsweise können neue Nutzergruppen von einer individuellen Automobilität profitieren (Kinder, Senioren etc.) oder es können durch eine erhöhte Effizienz im Betrieb der Infrastrukturen zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden. Diese haben einen Einfluss auf die Erreichbarkeiten in der Schweiz. Weiter sind neue Möglichkeiten für die Verkehrssteuerung (in Abhängigkeit der Vernetzung), Flächengewinne in Städten und neue verkehrliche Angebotsformen im öffentlichen bzw. kollektiven Verkehr denkbar. Andererseits gibt es auch Risiken. Dazu gehört vor allem die potenzielle Zunahme der Fahrleistung durch Leerfahrten. Mit der Nutzung der Reisezeit für andere Aktivitäten sinken zudem die generalisierten Reisezeitkosten. Diese Vorteile könnten in längere und häufigere Fahrten reinvestiert werden und zu weiterer Zersiedelung führen. Die Bedeutung des ÖV im heutigen Sinne wird durch neue Angebote allenfalls in Frage gestellt.

Im Rahmen des ASTRA-Gesamtprojektes «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» soll in einer Reihe von Teilprojekten eine Auslegeordnung des Übergangs zu einer Flotte, die von Fahrzeugen auf SAE-Level 5 dominiert wird, für den Kontext Schweiz erstellt werden (siehe **Abb. 1**).

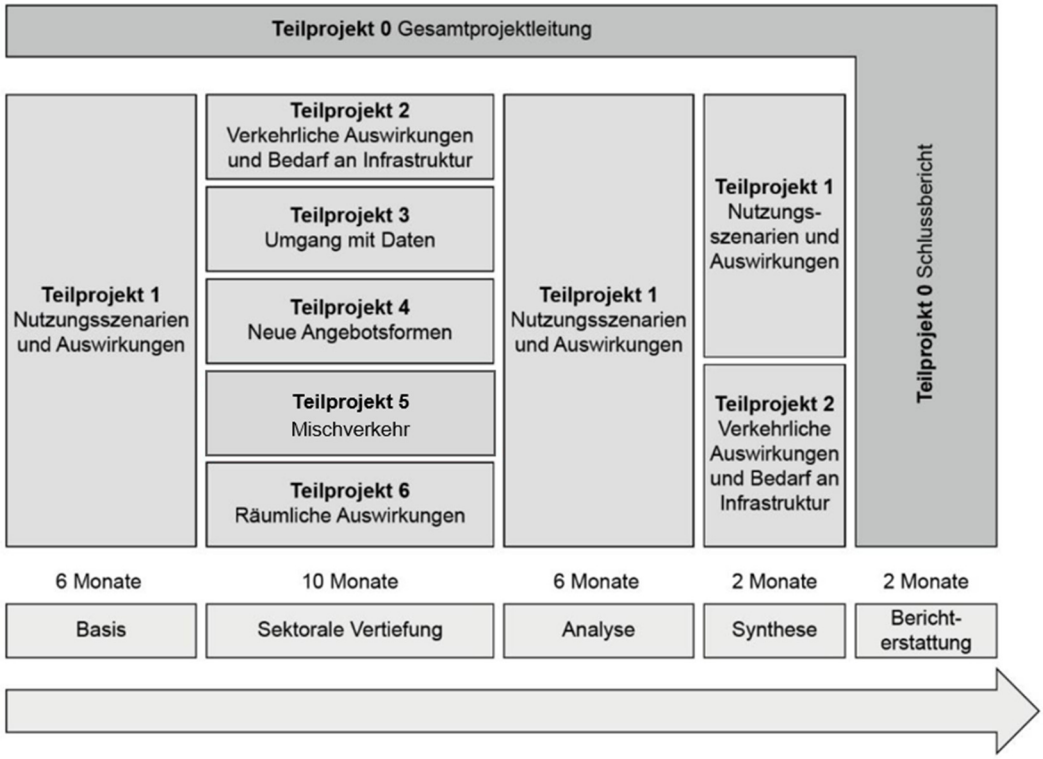


***Abb. 1** Struktur des Gesamtprojekts Auswirkungen des Automatisiertes Fahrens (Ausschreibung ASTRA)*

Die zwei zentralen Szenarien sind durch das Teilprojekt 1 «Nutzungsszenarien und Auswirkungen» vorgegeben, differenziert in die Schritte 2020, 2030, 2040 und 2050. Das eine Szenario beschreibt Zustände mit einer Entwicklung mit einer wenig veränderten Anbieterstruktur sowie vorwiegend individuellem und monomodalem Verkehr. Das andere Szenario zeigt eine Entwicklung hin zu einer neuen Anbieterstruktur und kollektiv genutzten Fahrzeugen in einem multimodalen Verkehrssystem auf.

1.2 Projekt ASTRA 2018/002: Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf

1.2.1 Aufgabenstellung, Ansatz und Zielsetzung

Die Nutzungsszenarien des Forschungspakets sind hinsichtlich der verkehrlichen Wirkungen zu beschreiben. Im vorliegenden Teilprojekt 2 «Verkehrliche Auswirkungen und Bedarf an Infrastrukturen» wird diese Aufgabe mithilfe eines agentenbasierten Verkehrsmodells gelöst. Die wesentliche Herausforderung ist die Abschätzung der zu erwartenden Leistungsfähigkeiten der Strassen für die gemischte Fahrzeugflotten der erwarteten Übergangszeit. Auf Basis der Modellresultate werden quantitative Aussagen zum veränderten Verkehrsaufkommen bzw. zur veränderten Verkehrsleistung, zur Verkehrsverteilung und -verlagerung sowie zur Auslastung der Verkehrsnetze vorgenommen. Dabei muss zwischen Strassen im nationalen Massstab mit einer geringen Anzahl an Reibungspunkten (Nationalstrassen als Hochleistungs- und Hauptverbindungsstrassen) sowie Strassen im urbanen Raum, deren Betrieb stark von den angrenzenden Nutzungen und von Knoten im Netz abhängen, unterschieden werden.

Die notwendigen Simulationen erfolgen mit MATSim (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016). MATSim, eine open-source Entwicklung der ETH Zürich und der TU Berlin, ist eine agentenbasierte Simulation der täglichen Verkehrsnachfrage und des Verkehrsablaufs. In

einem koevoltionären Prozess werden die Tagespläne aller Agenten optimiert bis ein stochastischer Gleichgewichtzustand der Tagespläne, inklusive der Fahrten, erreicht wird. In der Standardversion von MATSim werden die Erfahrungen der Agenten mit dem vorliegenden Tagesplan mit einer komplexen Nutzenfunktion bewertet, die alle Elemente des Tages, insbesondere auch des Nutzens der Aktivitäten berücksichtigt. Für dieses Projekt, wurde die Simulation durch die Nutzung von diskreten Entscheidungsmodellen erweitert, welche in jeder Tagesiteration der Simulation zur Bestimmung der verwendeten Verkehrsmittel genutzt werden (Hörl, Balac, & Axhausen, 2018) (Hörl, Balac, & Axhausen, 2019). Die direkte Integration von diskreten Entscheidungsmodellen macht MATSim einfacher zu kalibrieren, erlaubt es, das Gleichgewicht schneller zu erreichen, und erlaubt es, dasselbe Verhaltensmodell für alle Szenarien zu verwenden. Der letzte Punkt ist mit der Standardversion von MATSim nicht so problemlos zu implementieren. Ein Nachteil ist, dass die Erweiterung den Nutzen der Aktivitäten nicht berücksichtigt: sie berücksichtigt nur das Nutzens der Wege, die während des Tages zurückgelegt werden. Die vorliegende Implementierung für die Schweiz beruht auf dem Netz von OpenStreetMap (für Strassen), dem HAFAS-Fahrplan der SBB für das ÖV-Angebot und einer Agenten-Population, die unter Verwendung aller relevanten Bundesstatistiken entwickelt wurde, insbesondere des Mikrozensus Verkehr.

Die Simulation der automatisierten Fahrzeuge und insbesondere von automatisierte Taxi-Flotten benötigen agentenbasierte Simulationen, um deren Dynamik vollständig zu erfassen: sowohl im Betrieb, als auch die sich ergebenden Verhaltensänderungen. Die im Projekt ins Auge gefasste Zeitspanne wird aber noch weitere Veränderungen sehen, die zu berücksichtigen sind: Das prognostizierte Bevölkerungs- und Einkommenswachstum, die relative Alterung der Bevölkerung, die weitere absolute Zunahme von Fahrausweisbesitzern, das relativ langsame Wachstum der Spurkilometer auf Grund der Verfügbarkeit der finanziellen Mittel und der politischen Realisierbarkeit von Projekten. Die Agenten-Population wurde in diesem Projekt entsprechend weiterentwickelt.

Der grundlegende Ansatz in diesem Projekt ist die agentenbasierte Simulation der Szenarien für die vorgesehenen Zeitpunkte auf Grundlage der zentralen Szenarien die von Teilprojekt 1 qualitativ definiert wurden. Die Simulationen mit MATSim haben die Aufgabe, die Risiken durch systematische Variation der zentralen Treiber abzuschätzen (Bevölkerung, Kapazitäten (AF Marktdurchdringung), Einkommen, relative Kosten der Mobilitätswerkzeuge (PW, AF, regionale und nationale Abonnemente), ÖV-Angebote).

Die finalen Simulationsauswertungen beziehen sich hauptsächlich auf die Veränderung des Modal Splits, der Verkehrsnachfrage, Verkehrs- und Fahrleistungen, sowie des Aufkommens in definierten Umgebungen (Stadt und Agglomeration, ländlich gerichtet Verkehrsräume, ländlich ungerichtete Verkehrsräume) und Szenarien (Durchdringungsraten, Technologieeffizienz, etc.). Schlussendlich werden die gemessenen Auslastungen der verschiedenen Netzelemente genutzt, um abzuschätzen, inwiefern die Zukunftsszenarien die Engpassanalysen des Bundes verändern würden.

1.2.2 Berichtsaufbau

Der Aufbau des Berichts folgt den Bearbeitungsschritten, die zum Aufbau der Simulationsumgebung und zur Durchführung der finalen Analysen benötigt wurden.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Simulationsmethodik und die Simulationsumgebung MATSim. Zusätzlich wird eine Analyse der erwarteten Kapazitätsveränderungen durch automatisierte Fahrzeuge durchgeführt, welche eine wichtige Grundlage für die Simulationen und Analysen darstellt. Gefolgt wird dieser Teil von einer genaueren Betrachtung, wie private automatisierte Fahrzeuge in der Simulationsmethodik abgebildet werden.

In Kapitel 3 werden verschiedene Erweiterungen des bestehenden agentenbasierten Simulationsszenarios der Schweiz des Institut für Transport- und Verkehrsplanung beschrieben, welche nötig waren, um den Realitätsgrad der Simulationen zu steigern. Diese beinhalten eine Berücksichtigung der aktuellen Bevölkerungsprognosen des BFS,

die Integration des Güterverkehrs in die Simulation, sowie eine neue Kalibration des Entscheidungsmodells hinsichtlich Verkehrsmittelwahl. Den Abschluss von Kapitel 3 bildet eine Validierung wichtiger Metriken für die Simulation, welche als Basis für die im Projekt vorgeschlagenen Zukunftsszenarien genutzt wird.

Die Zukunftsszenarien werden in Kapitel 4 beschrieben. Die einzelnen Unterkapitel gehen dabei auf die Anpassung des Entscheidungsmodells für automatisierte Fahrzeuge ein, die Änderungen der Kosten im Verkehrssystem, des Fahrzeugbesitzes und der Effizienzsteigerungen. Dabei werden auf der einen Seite die Quellen der nötigen Annahmen dokumentiert, auf der anderen Seite wird die Implementierung der Annahmen in die Simulationsdynamik beschrieben. Das letzte Unterkapitel bietet eine Übersicht zu den definierten Zukunftsszenarien.

Die Simulationsergebnisse für die Szenarien werden in Kapitel 5 präsentiert. Zunächst werden die Hauptergebnisse für die schweizweite Betrachtung und dann für die Teilgebiete (Stadt/Agglomeration; ländlich gerichtet; ländlich ungerichtet) erläutert, gefolgt von einer Reihe von Sensitivitätsuntersuchungen.

Die Simulationsergebnisse sind Grundlage, um eine Engpassanalyse durchzuführen, die in Kapitel 6 beschrieben ist. Dabei konzentriert sich das das erste Unterkapitel auf die Nationalstrassen, während im zweiten Teil städtische Knoten untersucht werden.

Den Abschluss des Berichts bildet Kapitel 7, in welchem ein Fazit gezogen wird.

2 Grundlagen und Methodik

2.1 MATSim

Zur Simulation der Verkehrsszenarien wurde in diesem Projekt die aktivitäts- und agentenbasierte Verkehrssimulationsplatform MATSim (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016) mit einer neuartigen Erweiterung zur Nutzung von diskreten Entscheidungsmodellen genutzt (Hörl, Balac, & Axhausen, 2018) (Hörl, Balac, & Axhausen, 2019). Die Simulationskomponenten in diesem Projekt entsprechen weitestgehend dem Aufbau des Vorgängerprojektes ASTRA 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019). Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über den Modellaufbau.

Jeder Agent der Simulation (für die Schweiz sind es z.B. rund 8 Millionen Agenten) hat einen Tagesplan. Eine sehr einfaches Beispiel ist in **Abb. 2** dargestellt: Der Agent beginnt seinen Tagesablauf um 8 Uhr morgens und läuft zur Arbeit. Am Abend nutzt der Agent dann den öffentlichen Verkehr um zum Einkaufen zu fahren um dann schliesslich zu Fuss um 18:45 wieder zu Hause anzukommen.

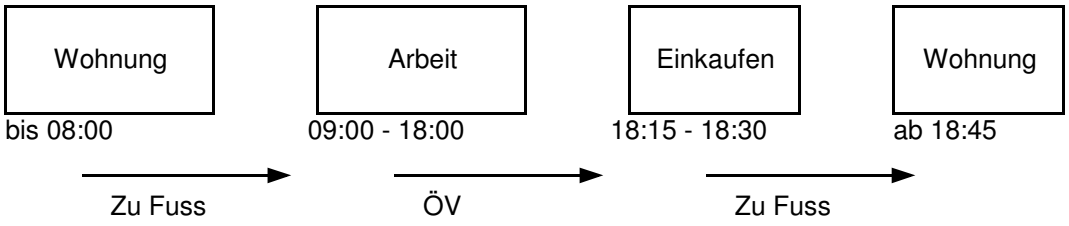


Abb. 2 *Beispiel eines Tagesplans in MATSim*

Die Pläne der Agenten werden von MATSim iterativ angepasst, indem mehrere Tage hintereinander (Iterationen) simuliert werden. Dabei reagieren die Agenten am folgenden Tag jeweils auf die Reisezeiten, Wartezeiten, etc. des vorherigen Tages oder mehrerer bereits simulierter Tage. Nach einer gewissen Anzahl Iterationen stellt sich dann ein Gleichgewicht zwischen den Entscheidungen der Agenten und den beobachteten Verkehrsbedingungen ein. Es ist wichtig zu erwähnen, dass im vorliegenden Projekt eine neuartige Erweiterung für MATSim[1] verwendet wird, welche es ermöglicht, Verkehrsmittelwahlentscheidungen der Agenten durch diskrete Entscheidungsmodelle vorzunehmen (Hörl, Balac, & Axhausen, 2018) (Hörl, Balac, & Axhausen, 2019). Der standardmässige Ansatz in MATSim ist hingegen, die Agentenpläne mittels eines koevolutionären Algorithmus zu optimieren (Horni, Nagel, & Axhausen, 2016).

In dieser Form wurde das Modell erfolgreich im Projekt ASTRA 2016/001 angewendet um den Einfluss automatisierter Fahrzeuge auf das Verkehrssystem im Raum Zürich zu simulieren. Im vorliegenden Projekt wurde das Modell auf die gesamte Schweiz und den Güterverkehr erweitert. Dieser Vorgang wird in den folgenden Kapiteln 2.2, 2.3, 3, und 4 beschrieben. Weiterhin wurden verschiedene Zukunftsszenarien entwickelt, die die mögliche Entwicklungen des Schweizer Verkehrssystem abbilden (siehe Kapitel 4).

Auf Seiten der Simulationssoftware wurden weitere Neuerungen eingeführt, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

[1] http://www.eqasim.org

2.2 Kapazitätseffekte automatisierter Fahrzeuge

Eine Anforderung an das Teilprojekt ist es, Kapazitätseffekte durch automatisierte Fahrzeuge detaillierter darzustellen, als es bisher der Fall war. Während im Forschungsprojekt SVI 2016/001 definiert wurde, dass automatisierte Fahrzeuge innerhalb eines bestimmten Bereichs um die Stadt Zürich effizienter die Strassenkapazität nutzen, kann nun im Netz der MATSim-Simulation für jede Kante definiert werden, wie effizient verschiedene Fahrzeugtypen die Kapazität nutzen. Effizienz bedeutet hier, welchen raumzeitlichen Platzbedarf die Fahrzeuge in Relation zu anderen Fahrzeugtypen aufweisen. Insbesondere kann diese Effizienz nun davon abhängig gemacht werden, ob ein Fahrzeug automatisiert ist und auf welchem Strassentyp (Autobahn, Schnellstrasse etc.) es unterwegs ist. Der Kapazitätsbedarf automatisierter Fahrzeuge stellen eine Eingangsgrösse in der MATSim-Modellierung dar.

Im Teilprojekt 5 wurde der Einfluss des Automatisierungsgrad sowie der Antriebstechnik auf die Kapazität zusammengetragen. Hierfür wurde ein Faktorenmodell erarbeitet, das die Eigenschaften der Fahrzeuge in die entsprechenden Personenwageneinheiten (PWE, engl. *passenger car unit*, PCU) umrechnet. Dieser Umrechnungsansatz wurde von (Friedrich, Sonnleitner, & Richter, 2018) für die verkehrstechnische Berücksichtigung von automatisierten Fahrzeugen in Makromodellen vorgeschlagen. Die PCU geben den raumzeitlichen Platzbedarf eines Fahrzeugs an und können das mögliche Optimierungspotenzial von automatisierten Fahrzeugen im Verkehrsfluss abbilden. Die PCU eines einzelnen Fahrzeuges wird im Faktorenmodell aus dem Produkt von drei Faktoren berechnet: Kooperationsfähigkeit, physische (Fahrzeug-)Grösse, Fahrdynamik. Für sämtliche Angebotsformen des Teilprojektes 4 (Jermann, et al., 2019) wurden die Änderung der drei genannten Einflussgrössen im Vergleich zu einem konventionell gesteuerten PW abgeschätzt und eine erste Annäherung der jeweiligen PCU-Werte berechnet (Busch, et al., 2019).

Neben der Betrachtung der einzelnen Fahrzeuge können noch weitere Einflussgrössen in Bezug auf Gesamtflotte, Verkehrsregelungen oder Infrastruktur identifiziert werden. Um möglichst alle wesentlichen Einflussgrössen auf die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge bestimmen zu können, wurde die Literatur ausgewertet. Anschliessend wurde das Faktorenmodell aus dem Teilprojekt 5 um einzelne wesentliche Aspekte erweitert, die einerseits einen bedeutenden Einfluss ausüben können und andererseits in der MATSim-Umgebung abgebildet werden können.

In werden alle identifizierten Einflussgrössen aufgeführt. Zudem wird angegeben, ob und wie die Einflussgrössen im erweiterten Faktorenmodell aufgenommen wurden, und welche Grundlagen zu den Einflussgrössen aus der Literatur vorhanden sind.

Die Erweiterung des Faktorenmodells konzentriert sich auf den Faktor der «Kooperationsfähigkeit» gemäss Teilprojekt 5. Damit wird die Fähigkeit eines Fahrzeugs beschrieben, sich mit anderen Verkehrsteilnehmenden oder der Strasseninfrastruktur zu vernetzen, Informationen auszutauschen und gemeinsame Strategien zu entwickeln. Dieser Faktor wird im erweiterten Faktorenmodell auf der Einzelfahrzeugebene nach Angebotsform, Automatisierungsgrad, Streckensegment (Netzhierarchie) und Temporegime unterschieden. Die Kapazitätswirkung wird vereinfachend als proportional zur Durchdringung der Gesamtflotte mit automatisierten Fahrzeugen angenommen. Eine wesentliche Differenzierung ist diejenige nach Hochleistungsnetz (Autobahnen, Autostrassen) und untergeordnetem Strassennetz:

Tab. 37 *Einflussgrössen auf die Ausnutzung der Kapazität durch automatisierte Fahrzeuge*

Einflussgrösse	Berücksichtigung im erweiterten Faktorenmodell	Grundlagen
Fahrzeuglängen: Physische Grösse der Fahrzeuge	Ja: Faktor «Grösse»	(Busch, et al., 2019) (VVS, 2018)
Fahrverhalten: Beschleunigung und Agilität der Fahrzeuge	Ja: Faktor «Fahrdynamik»	(Busch, et al., 2019) (Friedrich B. , 2015) (VVS, 2018)
Fahrzeugfolgeverhalten: Folgezeitlücken und kooperatives Fahrverhalten	Ja: Faktor «Kooperationsfähigkeit» (abhängig von Automatisierungsgrad und Kommunikationsfähigkeit)	(Fellendorf, 2017) (Krause, et al., 2017) (Fléchon, et al., 2019)
Technologische Entwicklung: Veränderung der Fahrverhaltensparameter über die Zeit	Nein: Grosse Unsicherheiten, Informationszugang seitens Fahrzeughersteller eingeschränkt	-
Streckensegmente: Netzhierarchien mit entsprechend unterschiedlicher Dimensionierung der Infrastrukturen	Ja: Grobe Differenzierung nach HLS und untergeordnetem Netz Nein: Berücksichtigung von weiteren Knoten-/ Streckenformen	(Fellendorf, 2017) (Krause, et al., 2017) (Fléchon, et al., 2019) (Friedrich B. , 2015) (Wagner, 2015)
Geschwindigkeiten: Zugelassene Höchstgeschwindigkeiten	Ja: Grobe Differenzierung nach Temporegimes	(Fellendorf, 2017) (Krause, et al., 2017)
Flottendurchdringung: Anteil der automatisierten Fahrzeuge	Ja: proportionale Zunahme Kapazitätswirkungen mit Anteil automatisierter Fahrzeuge Sensitivitätsbetrachtungen in Bezug auf abweichende Kapazitätswirkungen	(Fellendorf, 2017) (Krause, et al., 2017) (Fléchon, et al., 2019) (Friedrich B. , 2015)
Anteil des Schwerverkehrs	Ja: Differenzierung nach Personenwagen und Fahrzeugen des Güterverkehrs (Angebotsform bzw. Fahrzeugtyp)	(Fellendorf, 2017) (VVS, 2018)
Zu-/Abflussverhältnisse in Verflechtungszonen	Nein: benötigt eine mikroskopische Modellierung (Simulation)	(Fellendorf, 2017)

- **Hochleistungsstrassen:** Für vernetzte hochautomatisierte Personenwagen wurde eine maximale Kapazitätszunahme (bei voller Durchdringung) von rund 30% auf HLS mit einem Temporegime von 80-100km/h sowie 20% auf HLS mit einem Temporegime von 120km/h berücksichtigt. Die Werte sind abgestützt auf die Forschungsarbeiten von (Krause, et al., 2017) sowie (Fellendorf, 2017). Dabei wurden die Kapazitätswirkungen von Fahrzeugen mit einer minimalen Folgezeitlücke von 0.9s in Mikrosimulationen für Autobahnen bzw. Schnellstrassen untersucht. Auf der Einzelfahrzeugebene entspricht diese Kapazitätszunahme einer PCU von 0.77 (HLS 80-100km/h) bzw. 0.83 (HLS 120km/h). Konventionelle Fahrzeuge weisen eine PCU von 1.0 auf.
- **Untergeordnetes Strassennetz:** Für vernetzte hochautomatisierte Personenwagen wurde eine maximale Kapazitätszunahme (bei voller Durchdringung) von rund 25% auf Strassen mit einem Temporegime von 30-50km/h sowie 20% auf Strassen mit einem Temporegime von 60-80km/h zugrunde gelegt. Die Werte sind abgestützt auf die Forschungsarbeiten des Projektes CoEXist (Fléchon, et al., 2019). Dabei wurden die Wirkungen von Fahrzeugen mit minimalen Folgezeitlücken von 0.9s bis 0.6s auf den Durchfluss in städtischen Netzelementen in Mikrosimulationen untersucht. Auf der Einzelfahrzeugebene entspricht diese Kapazitätszunahme einer PCU von 0.80 (untergeordnetes Netz, 30-50km/h, unter Annahme von grossen Knoteneinflüssen) bzw. 0.83 (untergeordnetes Netz, 60-80km/h, unter Annahme, dass eher die Strecken massgebend sind). Konventionelle Fahrzeuge weisen eine PCU von 1.0 auf.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist einerseits festzuhalten, dass diese PCU-Werte für automatisierte Fahrzeuge bei einer vollständigen Durchdringung der Gesamtflotte mit automatisierten Fahrzeugen gelten (100%). Im Mischverkehr, insbesondere, wenn beispielsweise aus Sicherheitsgründen noch gesetzliche Auflagen in Bezug auf Mindestabstände hinzukommen, können diese Kapazitätswirkungen auch entfallen oder auch in einem zusätzlichen raumzeitlichen Platzbedarf münden (PCU>1.0). Andererseits ist es möglich, dass die Folgezeitlücken von automatisierten Fahrzeugen niedriger als 0.9s sein könnten, was auch tiefere PCU-Werte zur Folge hat. In den Sensitivitätsanalysen werden diese Punkte untersucht.

Tab. 38 gibt eine Übersicht über die Faktoren sowie die resultierenden PCU-Werte, die für die MATSim-Modellierung verwendet wurden. Für automatisierte Fahrzeuge, die für den Taxibetrieb eingesetzt werden, werden in Bezug auf Kooperationsfähigkeit und Fahrzeuggrössen dieselben Werte wie bei automatisierten Privatfahrzeugen verwendet. Auch im Güterverkehr wird von einer Vernetzung ausgegangen, dementsprechend werden bei der Kooperationsfähigkeit dieselben Werte wie bei automatisierten Privatfahrzeugen verwendet. Bei der Fahrzeuggrösse sowie bei der Fahrzeugdynamik unterscheiden sich die PCU-Faktoren von Güterfahrzeugen jedoch von Privatfahrzeugen.

***Tab. 38** Verwendete PCU-Werte in Abstimmung mit Teilprojekt 5*

	Angebotsformen MATSim			**PCU-Faktorenmodell**			
	Angebotsform	**zugelassener Straßentyp**	**Teilnetz und Geschwindigkeit**	**Kooperations-fähigkeit**	**Größe**	**Fahr-dynamik**	**PCU**
Einspur-Mob.		*nicht abgebildet*	—				
Privater MIV	PW konventionell	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			HLS, 80-100 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
	PW hochautomatisiert und vernetzt	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			HLS, 80-100 km/h	0.77	1.00	1.00	**0.77**
			untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	1.00	1.00	**0.80**
Sharing/Taxi	PW konventionell	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			HLS, 80-100 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
	PW hochautomatisiert und vernetzt	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			HLS, 80-100 km/h	0.77	1.00	1.00	**0.77**
			untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	1.00	1.00	**0.80**
ÖV		*indirekt abgebildet*	—				
Grosse Güterfahrzeuge	LW/LZ/SZ konventionell	*Input TP 5*	HLS, 80 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
			untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
			untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
	LW/LZ/SZ hochautomatisiert und vernetzt	*Input TP 5*	HLS, 80 km/h	0.77	2.00	2.00	**3.08**
			untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	2.00	2.00	**3.33**
			untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	2.00	2.00	**3.20**

2.3 Private automatisierte Fahrzeuge

In ASTRA 2016/001 wurden neben automatisierten Taxiflotten auch automatisierte Privatfahrzeuge simuliert. Dabei konnten Agenten für jeden beliebigen Weg in ihrem Tagesplan ihr “privates AF” nutzen. Die Simulationsdynamik sah dabei vor, dass das Fahrzeug dortbleibt, wo es zuletzt hinbewegt wurde, bis es wieder gebraucht wird, d.h. der Agent am selben oder einem anderen Ort wieder mit dem Verkehrsmittel “privates AF”

abfahren will. Somit wurden die Kosten für diese Leerfahrten für die Agenten in der Verkehrsmittelwahl in ASTRA/001 mitberücksichtigt.

Während in ASTRA 2016/001 keine genauere Untersuchung der so entstandenen Wegeketten durchgeführt wurde, hat sich in einer Nachanalyse gezeigt, dass so zwar strukturell konsistente Wegeketten entstehen, diese aber teils recht unrealistisch sind. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass das “private AF” für sehr kurze Wege genutzt wurde. Zudem lässt sich vermutlich ohne eine Anpassung der Struktur (d.h. Reihenfolge und Dauer) der Aktivitäten in den Tagesplänen der Agenten die Nutzung von privaten automatisierten Fahrzeugen nur unzureichend darstellen.

In der internationalen Literatur finden sich nur nach und nach Erkenntnisse, wie Haushalte und Einzelpersonen private automatisierte Fahrzeuge tatsächlich nutzen würden - siehe z.B. (Wadud & Huda, 2019) (Harb, Xiao, Circella, Mokhtarian, & Walker, 2018)- und Ansätze zur sinnvollen Simulation gesamter Haushalte in agentenbasierten Simulationen sind nach wie vor in Bearbeitung (Dubernet, 2017).

Die Nutzung von privaten automatisierten Fahrzeugen wird massgebend durch die Haushaltsdynamik und Parkplatzverfügbarkeit (Soll ein Fahrzeug zurück nach Hause fahren, statt einen Parkplatz zu suchen?) bestimmt, zwei Komponenten die im MATSim Modell der Schweiz momentan noch unzureichend abgebildet werden. Um den zusätzlichen Rechenaufwand für die Privatfahrzeuge aus dem Projekt ASTRA 2016/001 bei nur geringem Erkenntnisgewinn zu sparen, werden private automatisierte Fahrzeuge in diesem Projekt vereinfacht abgebildet.

Konkret werden sie simuliert wie konventionelle Fahrzeuge (d.h. keine Leerfahrten!), allerdings mit anderer Wahrnehmung der Zeitkosten (VOT) und anderen Effizienzwerten bezüglich der Strassenkapazität. Die genauen Werte werden in den entsprechenden Kapiteln weiter unten definiert.

3 Basisszenario Schweiz

Der Aufbau des Simulationsszenarios für die Schweiz entspricht dem im Projekt ASTRA 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019). Die folgenden Abschnitte beschreiben die Änderungen, die für die Nutzung im vorliegenden Projekt durchgeführt wurden.

3.1 Bevölkerungswachstum

Während ASTRA 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019) von einem fixen Zeitpunkt ausging, wurde die Population der Schweiz (d.h. alle Agenten im Szenario) anhand Prognosen des Bundesamt für Statistik (BFS) skaliert. Diese Skalierung erfolgte nach *Haushaltsgrösse pro Kanton* und *Personen nach Geschlecht, Alter und Nationalität pro Kanton*, sodass für die Zeitzustände 2020, 2030, 2040 und 2050 unterschiedliche Populationen vorliegen, die das Bevölkerungswachstum und die erwartete Änderung der Bevölkerungsstruktur darstellen. Dabei wurde das BfS Referenzszenario der Bevölkerungsentwicklung zugrunde gelegt (Bundesamt für Statistik, 2016) (Bundesamt für Statistik, 2017).

Methodisch wird für die Skalierung *Iterative Proportional Updating* (Müller, 2017) verwendet, welches jeder Person der aktuellen STATPOP Bevölkerung (Bundesamt für Statistik, 2012) neue Gewichtungsfaktoren zuweist. Der folgende Prozess der Populationssynthese für das Transportszenario entspricht dann dem in SVI 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung, 2019).

Grenzquerender Personenverkehr wird im Modell nicht abgebildet. Grund dafür ist, dass dafür geeignete Daten zur Zeit des Modelbaus nicht zur Verfügung standen. Zwar gibt es Erhebungen zum grenzquerenden Personenverkehr, aber diese zählen leider nur die Grenzübertritte pro Tag[2]. Das macht es schwierig, diesen Verkehr in angemessener Zeit einzubauen. Denn es gibt zwar Quelle/Ziele als NUTS Zonen, aber im Endeffekt müssten die tatsächlichen Orte so verteilt werden, dass die korrekten Grenzübergänge genutzt werden. Das wird weiterhin erschwert, weil es keine Informationen zu Destinationen ausserhalb der Schweiz gibt: es könnte mit OSM Daten abgeschätzt werden, wohin die Personen fahren. Diese ist wesentlich komplexer als für den schweren Güterverkehr, weil sich der Personenverkehr nicht so stark an Autobahngrenzstellen orientiert. Es wäre empfehlenswert, diese Aufgaben in einem zukünftigen Projekt durchzuführen.

3.2 Güterverkehr

In das vorliegende Szenario der Schweiz wurde der schwere Güterverkehr integriert. Zu diesem Zweck wurden Quelle-Ziel-Matrizen aus der Gütertransporterhebung (GTE) 2017 (Bundesamt für Statistik, 2017) und der Erhebung zum Grenzquerender Güterverkehr auf der Strasse (GQGV) abgeleitet (Bundesamt für Statistik, 2014). Aus dieser Matrix wurden einzelne Fahrten von Güterverkehr-Agenten zwischen den Gemeinden der Schweiz generiert. Dabei wurde für die Jahre 2020, 2030, 2040, 2050 jeweils eine neue Population generiert, welche das totale Verkehrsaufkommen (in Anzahl Fahrten) aus den ARE Verkehrsperspektiven 2040 für die jeweiligen Jahre repräsentiert. Diese Skalierung wird in Kapitel 4.4.2 näher erläutert. Dabei wurde das ARE Referenzszenario zugrunde gelegt (Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), 2016). Somit wird eine generelle Zunahme des Güterverkehrs in den Szenarien abgebildet. Die Abfahrtzeiten für alle generierten Fahrten

[2] https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/alpen-grenzquerend.assetdetail.2140025.html

wurden aus den typischen Ganglinien der Güterverkehrsfahrten in der Schweiz generiert (Weidmann, et al., 2014).

Es ist zu erwähnen, dass die GTE keine Aussagen zum Lieferverkehr (zum Beispiel Transporter) unternimmt und dieser Verkehr daher im aktuellen Modell nicht beachtet wird. Eine mögliche Datenquelle für eine zukünftige Weiterentwicklung bietet die Lieferverkehrserhebung (Bundesamt für Statistik, 2013).

3.3 Entscheidungsmodell

Während ASTRA 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induced demand by autonomous vehicles: An assessment, 2019) den Fokus auf Zürich gelegt hat, wurde im vorliegenden Projekt die gesamte Schweiz simuliert. Zu diesem Zweck musste das Entscheidungsmodell für die einzelnen Verkehrsmodi leicht angepasst werden, um regionale Unterschiede abzubilden.

Der Aufbau des Entscheidungsmodells ist nun wie folgt:

$$\mathbf{u}_{\text{walk}} = \boldsymbol{\alpha}_{\text{walk}} + \boldsymbol{\beta}_{\text{travelTime,walk}} \cdot \mathbf{x}_{\text{travelTime,walk}} \qquad \textit{Formel 1}$$

$$\begin{aligned} u_{\text{bike}} = {} & \alpha_{\text{bike}} + \beta_{\text{travelTime,bike}} \cdot x_{\text{travelTime,bike}} \\ & + \beta_{\text{age,bike}} \cdot \max(a_{\text{age}}, 18) \\ & + \beta_{\text{urban,bike}} \cdot a_{\text{isHomeUrban}} \end{aligned} \qquad \textit{Formel 2}$$

$$\begin{aligned} u_{\text{car}} = {} & \alpha_{\text{car}} + \beta_{\text{travelTime,car}} \cdot x_{\text{travelTime,car}} \\ & + \beta_{\text{cost}} \cdot \left(\frac{x_{\text{crowflyDistance}}}{\theta_{\text{averageCrowflyDistance}}} \right)^{\lambda_{\text{distance/cost}}} \cdot c_{\text{car}}(\cdot) \\ & + \beta_{\text{urban,car}} \cdot a_{\text{isHomeUrban}} \end{aligned} \qquad \textit{Formel 3}$$

$$\begin{aligned} u_{\text{pt}} = {} & \alpha_{\text{pt}} + \beta_{\text{travelTime,pt}} \cdot x_{\text{travelTime,pt}} \\ & + \beta_{\text{accessEgressTime,pt}} \cdot x_{\text{accessEgressTime,pt}} \\ & + \beta_{\text{waitTime,pt}} \cdot x_{\text{waitTime,pt}} \\ & + \beta_{\text{transfer,pt}} \cdot x_{\text{transfers,pt}} \\ & + \beta_{\text{cost}} \cdot \left(\frac{x_{\text{crowflyDistance}}}{\theta_{\text{averageCrowflyDistance}}} \right)^{\lambda_{\text{distance/cost}}} \cdot c_{\text{pt}}^{a_{subscription}}(\cdot) \end{aligned} \qquad \textit{Formel 4}$$

wobei x die Variablen sind, a agenten-spezifische Variablen, θ Modellkonstanten und α und β die Modellparameter. Die verwendeten Parameter sind in **Tab. 39** aufgelistet und aus den Daten des Projekts ASTRA 2016/001 abgeleitet. Die regionalen $\beta_{nonUrban}$ Parameter wurden manuell kalibriert um akzeptable Verkehrsmittelanteile nach Distanzklasse in den Teilgebieten zu erhalten.

Die Kostenfunktion $c_{\text{car}}(\cdot)$ für private konventionelle Fahrzeuge ist folgendermassen definiert:

$$\boldsymbol{c}_{\text{car}}(\boldsymbol{x}_{\text{inVehicleDistance}}) = \mathbf{0.26}\ \text{CHF/km} \cdot \boldsymbol{x}_{\text{inVehicleDistance}} \qquad \textit{Formel 5}$$

Die gleiche Annahme wird für die privaten automatisierten Fahrzeuge genutzt, da die variablen Kosten laut dem IVT Kostenrechner (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018) ungefähr gleich sind.

Für den öffentlichen Verkehr wird folgendes Schema genutzt. Der Vollpreis berechnet sich als:

$$c_{\mathrm{pt}}(x_{\mathrm{inVehicleDistance}}) = \max(2.7\ \mathrm{CHF}, 0.6\ \mathrm{CHF/km} \cdot x_{\mathrm{inVehicleDistance}}) \quad \textit{Formel 6}$$

Der tatsächliche Preis ist dann abhängig von der Kategorie des Agenten (GA, Halbtax, Verbundabo). Für GA Nutzer wird in der Simulation ein Preis von $c_{\mathrm{pt}}^{\mathrm{GAc}} = 0.0$ genutzt, während für Halbtaxnutzer $c_{\mathrm{pt}}^{\mathrm{Halbtax}} = 0.5 \cdot c_{\mathrm{pt}}$ angenommen wird. In städtischen Gebieten wird dadurch der Preis etwas unterschätzt, da der Preisrabatt oft nicht bei den vollen 50% liegt (z.B. ca. 30% in Zürich). Für Agenten mit einem Verbundabo wird zunächst berechnet, ob der Start- und Zielort einer Reise innerhalb eines 15km Radius um den Wohnort liegt. In diesem Fall, wird $c^{\mathrm{Verbund}}{}_{\mathrm{pt}} = 0.0$ angenommen, sonst wird der Vollpreis verrechnet. Für alle anderen Agenten wird der Vollpreis genutzt. Es soll hier angemerkt werden, dass momentan kein konsistentes Modell für ÖV-Ticketpreise in der Schweiz existiert. Beispielsweise nutzt das aktuelle NPVM eine sehr grobe Preisberechnung auf der Basis von groben Umrissen urbaner Räume. Momentan befindet sich am IVT ein detailliertes orts- und Ticket-feines Berechnungsmodell im Aufbau (Hörl & Molloy, 2019).

Auf jede Fahrt mit dem MIV werden zusätzlich im Routing pauschal vier Minuten zur Abbildung der Parkplatzsuche hinzugerechnet, sowie vier Minuten, die den Zugangs- und Abgangsweg abbilden sollen. Diese Werte sind Kalibrationsparameter und wurden entsprechend angepasst (sind aber prinzipiell als weitere verkehrsmittelspezifische Konstante zu verstehen).

Tab. 39 *Parameter des Verkehrsmittelwahlmodells für das Grundszenario*

Mode	Variable	Parameter	
Walking (zu Fuss)	α_{walk}	1.3	
	$\beta_{\mathrm{travelTime,walk}}$	-0.141	min^{-1}
Cycling (Fahrrad)	α_{bike}	0.344	
	$\beta_{\mathrm{travelTime,bike}}$	-0.090	min^{-1}
	$\beta_{\mathrm{age,bike}}$	-0.049	a^{-1}
	$\beta_{\mathrm{nonUrban,bike}}$	-0.366	1
Car (privates PW)	α_{car}	0.827	
	$\beta_{\mathrm{travelTime,car}}$	-0.067	min^{-1}
	$\beta_{\mathrm{urban,car}}$	-0.4	min^{-1}
Public Transport (ÖV)	α_{pt}	0.000	
	$\beta_{\mathrm{travelTime,pt}}$	-0.019	min^{-1}
	$\beta_{\mathrm{accessEgressTime,pt}}$	-0.080	min^{-1}
	$\beta_{\mathrm{waitTime,pt}}$	-0.038	min^{-1}
	$\beta_{\mathrm{transfer,pt}}$	-0.170	1
Cost (Preis)	β_{cost}	-0.126	CHF^{-1}
	$\lambda_{\mathrm{distance/cost}}$	-0.400	
Constants (Konstanten)	$\theta_{\mathrm{averageCrowflyDistance}}$	40	km

3.4 Validierung

Die Modellergebnisse im Grundzustand (d.h. Schweiz 2020) konnten gegen verschiedene Referenzdaten validiert werden. **Abb. 3** zeigt den Vergleich mit dem Mikrozensus 2015 (Bundesamt für Statistik, 2015) für die gesamte Schweiz, während **Abb. 4**, **5** und **Abb. 6** den Vergleich in den drei Teilgebieten (Stadt/Agglomeration, Ländlich Ungerichtet, Ländlich Gerichtet) zeigen. Es kann festgehalten werden, dass die Kalibrierung für die

gesamte Schweiz eine gute Übereinstimmung mit den Referenzdaten zeigt. Die grössten Diskrepanzen, vor allem beim MIV, sind im ländlich gerichteten Gebiet zu sehen, wo die Simulation unabhängig von der Distanzklasse generell zu viele Fahrten zeigt. Dies geht zu Lasten des Langsamverkehrs (LV).

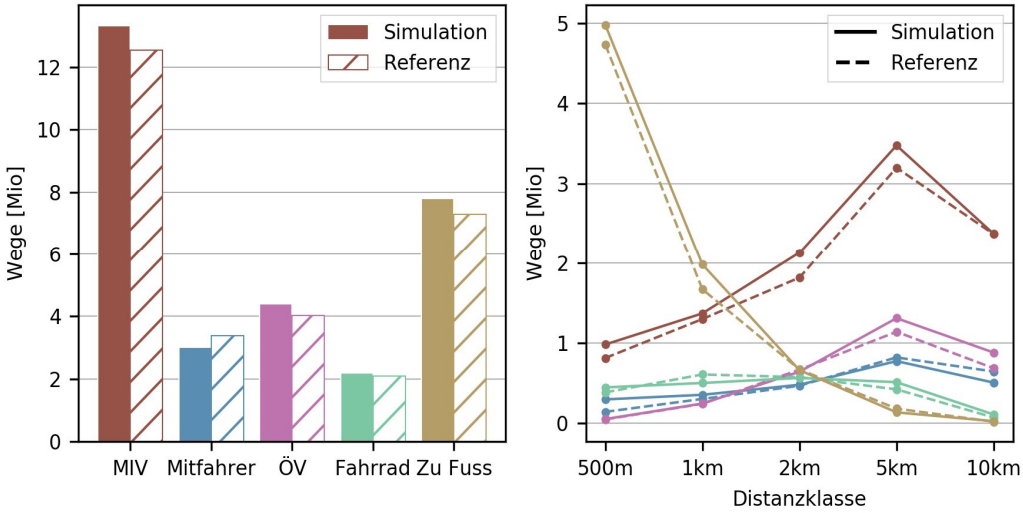


Abb. 3 *Gesamte Schweiz: Validierung der Verkehrsmittelanteile*

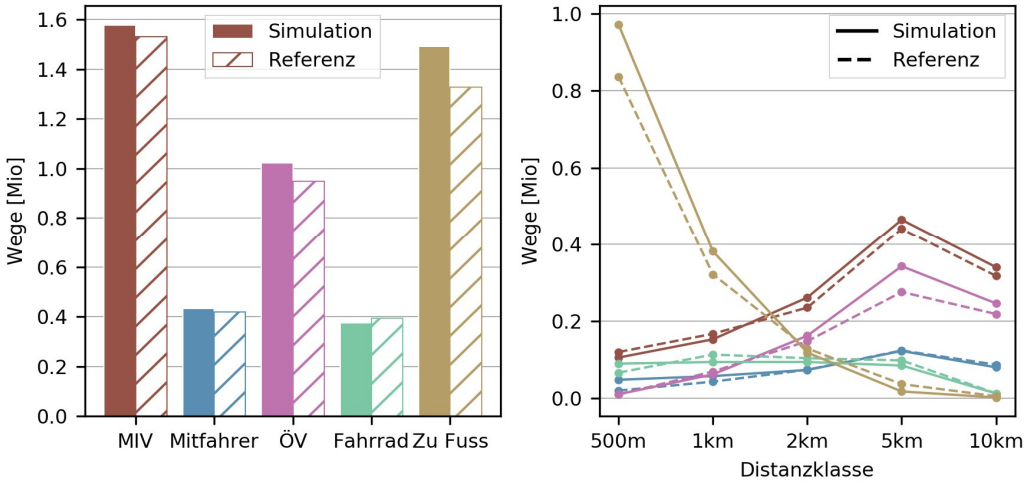


Abb. 4 *Stadt/Agglomeration: Validierung der Verkehrsmittelanteile*

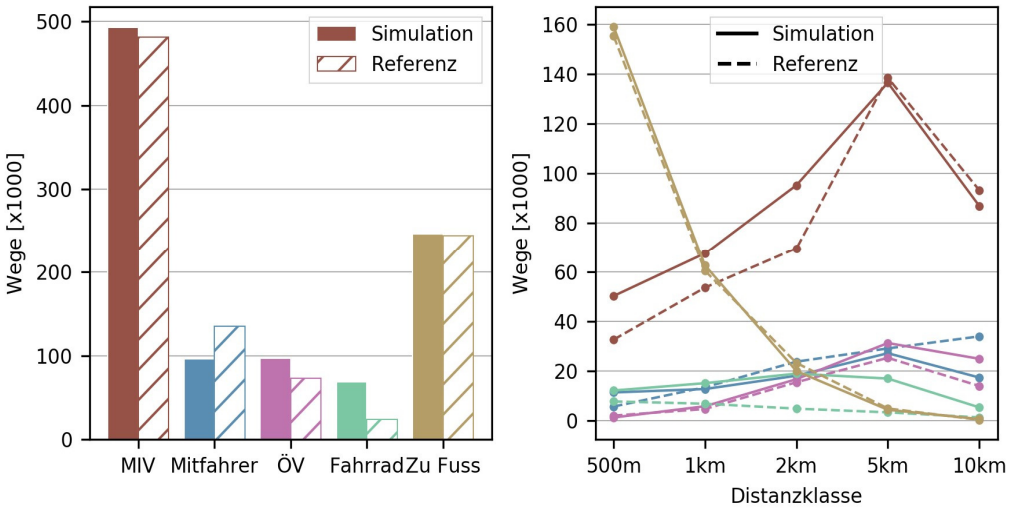


Abb. 5 *Ländlich Ungerichtet: Validierung der Verkehrsmittelanteile*

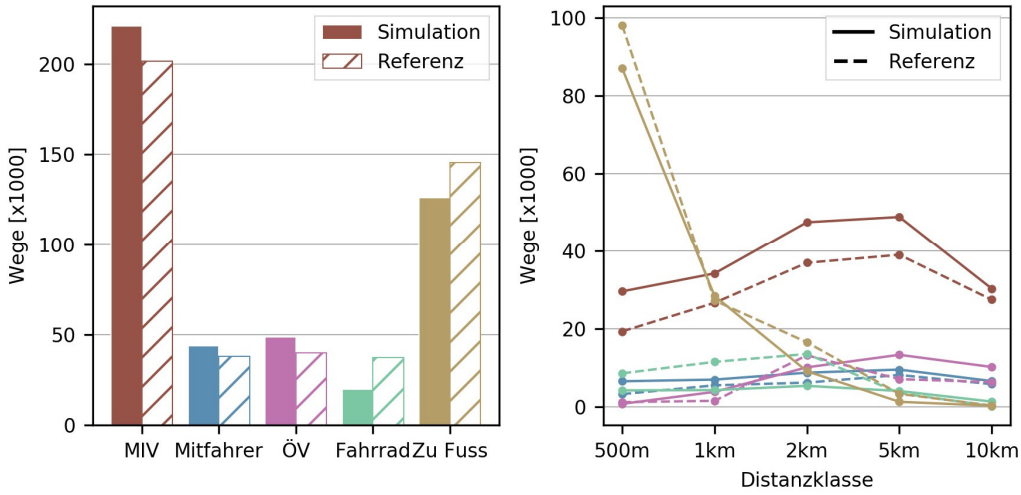


***Abb. 6** Ländlich Gerichtet: Validierung der Verkehrsmittelanteile*

Zudem wurde die Simulation der Schweiz mit Zähldaten des ASTRA verglichen. Die Schwierigkeit ist dabei, dass für das vorliegende Projekt ein Grundzustand für das Jahr 2020 generiert wurde, während zur Zeit der Generierung die aktuellsten Zähldaten für 2017 vorlagen. Weiter gestaltet sich ein Vergleich schwierig, da Zählstellen unterschiedlich definiert sind. Die ASTRA Referenzdaten geben Zählstellen als einen Punkt bzw. Koordinate an, während MATSim ein Netzwerk aus Knoten und Kanten nutzt. Daher musste ein Prozess aufgebaut werden, der die Zählstellen mit dem MATSim Netzwerk verknüpfen kann. Da aus Effizienzgründen das MATSim Netzwerk teilweise vereinfacht ist (z.B. für grosse Autobahnabschnitte zwischen Auf- und Abfahrten), muss eine Heuristik verwendet werden, welche wie folgt aufgebaut ist.

1. Für jede Zählstelle z_i werden alle Kanten im MATSim-Netzwerk gesucht, die einen Radius von 100m um die Zählstelle schneiden:

$$\boldsymbol{S_i = \{k_j | d(z_i k_j) < 100m\}} \qquad \textit{Formel 7}$$

   Die Menge S_i definiert dabei alle Kanten k_j für welche dieses Kriterium zutrifft (mit $d(z_i,k_j)$ als Distanz zwischen Zählstelle und Knoten).

2. Definiert man $N(z_i)$ und $N(k_j)$ als den Verkehrsfluss der Zählstelle, bzw. der Kante über einen bestimmten Zeitraum (hier ein ganzer Tag), so wird eine Kante aus der Menge ausgewählt nach:

$$\mathbf{k_i^* = \arg\max_{k0} \{f \cdot N(k^0) - N(z_i) | k^0 \in S_i\}} \qquad \textit{Formel 8}$$

   d.h. es wird die Kante ausgewählt, deren Verkehrsfluss am besten (im Sinne einer L1 Distanz) dem Fluss auf der Zählstelle entspricht. Die Variable f stellt dabei einen linearen Korrekturfaktor da, der berücksichtigt, dass der Verkehrsfluss im Zukunftsszenario im Vergleich zur Referenz von 2017 höher sein wird.

3. Für einen bestimmten Korrekturfaktor f kann nun eine Bewertung der Zählstellenzuordnung über den gesamten Datensatz definiert werden:

$$\boldsymbol{J(f) = \sum_i |f \cdot N(k_i^*) - N(z_i)|} \qquad \textit{Formel 9}$$

Dieser Vorgang kann für verschiedene Korrekturfaktoren f durchgeführt werden. Ist der Wert sehr klein, ist die Bewertung der Zuordnung J(f) sehr hoch (d.h. schlechter Fit), da die

Simulationswerte systematisch auf zu kleine Werte skaliert werden. Der gleiche Effekt tritt auf bei grossen f, da die Simulationswerte dann zu sehr hochskaliert werden. Es lässt sich also ein Optimum $f*$ ableiten, welches für das Szenario 2020 bei $f* = 0.914$ liegt. Dies bedeutet, dass alle Simulationswerte auf ca. 90% herunterskaliert müssen, um einen guten Fit mit den Zählstellen des ASTRA zu gewährleisten. Ein räumlicher Vergleich mit den Zählstellenwerten (für den Personenverkehr) ist in **Abb. 7** dargestellt.

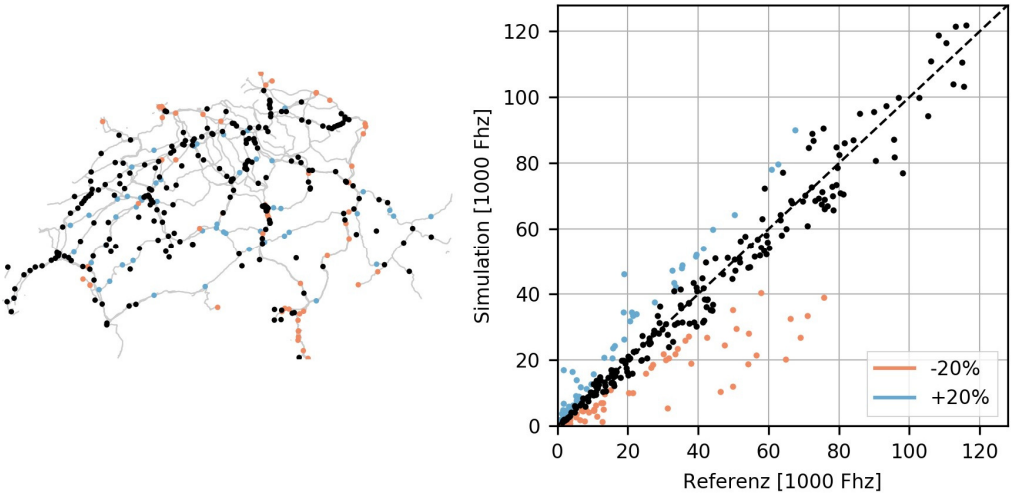


***Abb. 7** Validierung des Verkehrsflusses des MIV (über den gesamten Tag)*

Wie zu erwarten ist die Übereinstimmung mit den Zählstellen am schlechtesten in den Randgebieten der Schweiz, was darauf schliessen lässt, dass der Grenzverkehr noch unzureichend im Szenario dargestellt wird. Ein wichtiger Schritt für die Zukunft wird daher sein, weiter diese Verkehrsflüsse zu integrieren. Der Skalierungswert von ca. 90% ergibt sich vermutlich durch das erhöhte Verkehrsaufkommen in der Simulation aufgrund des Bevölkerungswachstums. Es ist allerdings zu beachten, dass auch andere Effekte hineinspielen, beispielsweise, dass im aktuellen Modell kein Tourismusverkehr, kein grenzquerender Personenverkehr, und kein Lieferverkehr (leichte Güterfahrzeuge) abgebildet wird. Festzuhalten ist, dass mit Hilfe der Skalierung gezeigt werden kann, dass die Verkehrsverteilung innerhalb der Schweiz den Referenzdaten (ausser in den Randgebieten) den Referenzwerten gut entspricht, während es in absoluten Zahlen noch Abweichungen gibt. Diese sollten in zukünftigen Verbesserungen und Weiterentwicklungen des Modells berücksichtigt werden.

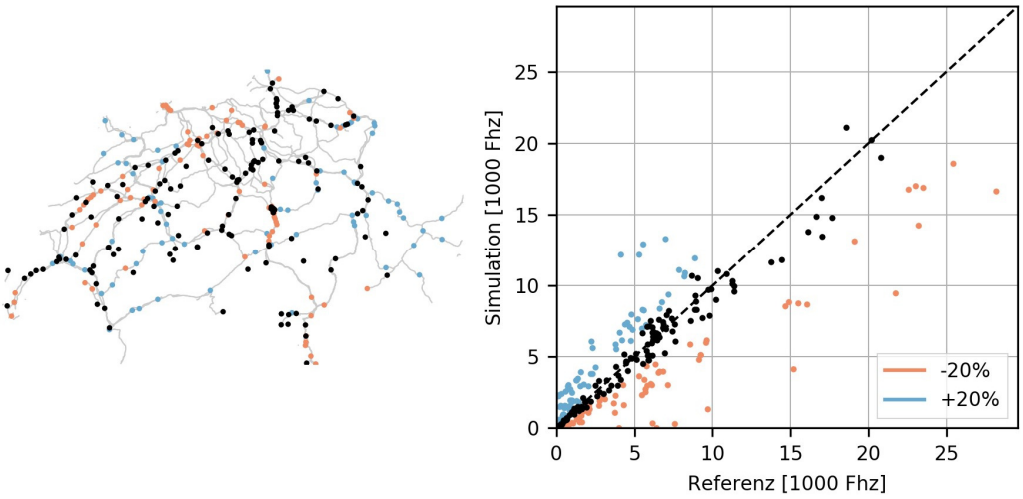


***Abb. 8** Validierung des Verkehrsflusses des schweren Güterverkehrs (über den gesamten Tag)*

Der gleiche Vorgang wurde für den Güterverkehr wiederholt. Hier ergibt sich ein Korrekturfaktor von 1.04. Es ist allerdings schwieriger diesen Wert zu interpretieren. **Abb. 8** zeigt die räumliche Verteilung der Zählstellenvergleiche. Es fällt auf, dass Abweichungen sehr gleichmässig über die Schweiz verteilt sind. Grund dafür ist das relativ einfache Modell des Güterverkehrs (wie weiter oben beschrieben), welches nur einen ersten Schritt zur Integration des Güterverkehrs in eine agentenbasierte Verkehrssimulation der Schweiz darstellen kann. Beispielsweise ist die Generierung von Reisen aus Gemeinde-basierten Quelle-Ziel-Matrizen relativ grob.

4 Beschreibung der Zukunftsszenarien

4.1 Entscheidungsmodell

Im Projekt SVI 2016/001 wurde in zwei Phasen gearbeitet. Während zwei detaillierte Verkehrsmittelwahlmodelle (Multinomial Logit und Mixed Logit) aus den Erhebungsdaten erarbeitet wurden, nutzten die Simulationen ein vereinfachtes, früh aufgebautes Multinomial Logit (MNL) Modell. Dabei wurden unter anderem Annahmen über die Zeitwerte der privaten automatisierten Fahrzeugnutzung gemacht. Im vorliegenden Projekt wurde nun das Grundmodell aus SVI 2016/001 genutzt (für die Parameter der konventionellen Verkehrsmittel) und so kalibriert, dass sich in den Teilgebieten sinnvolle Verkehrsmittelanteile ergeben. Um einen konsistenten Vergleich mit den neuen Verkehrsmodi (privates automatisiertes Fahrzeuge, automatisiertes Einzeltaxi und automatisiertes gepooltes Taxi) zu erlauben, wurden die Parameter, ausgehend von den kalibrierten Basisparametern und den Daten aus dem Projekt ASTRA 2016/001 neu geschätzt.

Dazu wurde ein MNL aufgebaut, in welchem die Parameter der konventionellen Parameter als konstant definiert werden. Folglich müssen sich die Parameter der neuen Verkehrsmittel daher an diese anpassen. Die Nutzenfunktionen der neuen Verkehrsmittel sind wie folgt:

$$\boldsymbol{u}_{\text{prav}} = \boldsymbol{\alpha}_{\text{prav}} + \boldsymbol{\beta}_{\text{travelTime,prav}} \cdot \boldsymbol{x}_{\text{travelTime,prav}} + \boldsymbol{\beta}_{\text{cost}} \cdot \left(\frac{\boldsymbol{x}_{\text{crowflyDistance}}}{\boldsymbol{\theta}_{\text{averageCrowflyDistance}}} \right)^{\boldsymbol{\lambda}_{\text{distance/cost}}} \cdot \boldsymbol{c}_{\text{prav}}(\cdot)$$ ***Formel 10***

$$u_{\text{AT}} = \alpha_{\text{AT}} + \beta_{\text{travelTime,AT}} \cdot x_{\text{travelTime,AT}} + \beta_{\text{cost}} \cdot \left(\frac{x_{\text{crowflyDistance}}}{\theta_{\text{averageCrowflyDistance}}} \right)^{\lambda_{\text{distance/cost}}} \cdot c_{\text{AT}}(\cdot) + \beta_{\text{waitingTime,AT}} \cdot x_{\text{waitingTime,AT}}$$ ***Formel 11***

$$u_{\text{PAT}} = \alpha_{\text{PAT}} + \beta_{\text{travelTime,PAT}} \cdot x_{\text{travelTime,PAT}} + \beta_{\text{cost}} \cdot \left(\frac{x_{\text{crowflyDistance}}}{\theta_{\text{averageCrowflyDistance}}} \right)^{\lambda_{\text{distance/cost}}} \cdot c_{\text{PAT}}(\cdot) + \beta_{\text{waitingTime, PAT}} \cdot x_{\text{waitingTime,PAT}}$$ ***Formel 12***

Die Parameter, die sich aus der erneuten Schätzung ergeben, sind in **Tab. 40** dargestellt. Die Kosten für die privaten automatisierten Fahrzeuge werden (entsprechend den Ergebnissen der Kostenstudie aus SVI 2016/001) gleich den Kosten des konventionellen Privatfahrzeugs angenommen (siehe oben). Die Kosten für geteilte und gepoolte Taxis (*AT* und *PAT*) werden entsprechend der aktuellen Flottenauslastung in den Simulationen mittels Kostenrechner berechnet.

Analog zum konventionellen MIV werden für die automatisierten Privatfahrzeuge pauschal vier Minuten für Zugangs- und Abgangszeit auf die Reisezeit aufgeschlagen. Die zusätzliche Zeit für die Parkplatzsuche (wie sie im MIV existiert) entfällt allerdings in diesem Fall.

Tab. 40 *Parameter der AF im Verkehrsmittelwahlmodell der Zukunftsszenarien*

Mode	Variable	Parameter	
Privates AF	α_{prav}	0.762	
	$\beta_{travelTime,prav}$	-0.036	min^{-1}
Automat.Taxi	α_{AT}	-0.533	
	$\beta_{travelTime,AT}$	-0.045	min^{-1}
	$\beta_{waitingTime,AT}$	-0.0605	min^{-1}
Gepooltes AT	α_{PAT}	-0.85	
	$\beta_{travelTime,PAT}$	-0.0379	min^{-1}
	$\beta_{waitingTime,PAT}$	-0.0605	min^{-1}

4.2 Annahmen zu den automatisierten Privatfahrzeugen

4.2.1 Kosten

Wie in Kapitel 3.3 erwähnt, werden die gleichen Annahmen (siehe Formel 3) für automatisierte Privatfahrzeuge verwendet wie für konventionelle automatisierte Privatfahrzeuge, da das Preisniveau laut dem IVT Kostenrechner (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018) ungefähr gleich ist.

4.2.2 Effizienzsteigerungen im Verkehrsfluss durch automatisierte Fahrzeuge

Die in Kapitel 2 beschriebene Methodik führt zu folgenden PCU-Werten bei konventionellen und automatisierten Privatfahrzeugen.

Tab. 41 *Verwendete PCU-Werte für automatisierte Privatfahrzeuge*

	Angebotsformen MATSim			PCU-Faktorenmodell			
	Angebotsform	zugelassener Straßentyp	Teilnetz und Geschwindigkeit	Kooperations-fähigkeit	Größe	Fahr-dynamik	PCU
Privater MIV	PW konventionell	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			HLS, 80-100 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
	PW hochautomatisiert und vernetzt	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			HLS, 80-100 km/h	0.77	1.00	1.00	**0.77**
			untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	1.00	1.00	**0.80**

4.2.3 Umsetzung der Strassenfreigabe

Der zeitliche und räumliche Ablauf der Strassenfreigabe für den automatisierten Fahrbetrieb wurde von TP5 festgelegt (Busch, et al., 2019). Dieser wurde in den Szenarien durch die Einfügung eines neuen Attributs der Kanten - auf Englisch "Links" - umgesetzt. Dieses neue Strassenfreigabe-Attribut kann zwei Werte - "wahr" oder "nicht wahr" - annehmen. Nur wenn das Strassenfreigabe-Attribut einer Kante einen Wert von "wahr" hat, wird der automatisierte Fahrbetrieb freigegeben.

Die Freigabe oder Sperrung des automatisierten Fahrbetriebs hat folgende Konsequenzen für automatisierte Privatfahrzeuge: Automatisierte Privatfahrzeuge können zwar auf allen Kanten verkehren, aber auf Kanten ohne Freigabe für den automatisierten Fahrbetrieb werden sie von der Verkehrssimulation sowie vom Entscheidungsmodell identisch zu konventionellen Privatfahrzeugen behandelt. Auf Kanten mit Freigabe für den automatisierten Fahrbetrieb werden für automatisierte Privatfahrzeuge je nach Open Street Map (OSM) Klassifizierung ein reduzierter *Passenger Car Unit (PCU*), auf Deutsch *Personenwagen Einheit (PWE)*, Wert in der Verkehrssimulation von MATSim angewandt. Diese Werte werden in **Tab. 41** gezeigt. Somit wird die vorher beschriebene Effizienzsteigerung in der Verkehrssimulation berücksichtigt. Zudem werden auf Kanten mit Freigabe für den automatisierten Fahrbetrieb für automatisierte Privatfahrzeuge der entsprechende *Value of Time* (VOT), auf Deutsch *Zeitkosten*, in der Berechnung des Nutzens einer Fahrt für das Entscheidungsmodell verwendet. Für nicht freigegebene Kanten wird der VOT des konventionellen Privatfahrzeugs angenommen.

Hinsichtlich dieser Umsetzung der Strassenfreigabe des automatisierten Fahrbetriebs wird klar, dass in diesem MATSim Modell automatisierte Privatfahrzeuge alle einen Automatisierungsgrad von Level oder Stufe 4 aufweisen, da sie auf Strassen ohne Freigabe konventionell geführt werden dürfen und müssen aber auf Strassen mit Freigabe vollautomatisiert verkehren können und müssen. Diese Umsetzung der Strassenfreigabe ist auch in Einklang mit der Umsetzung der Nutzung und des Zugangs zu automatisierten Privatfahrzeugen.

4.2.4 Nutzung und Zugang

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, werden für private automatisierte Fahrzeuge keine Leerfahrten simuliert, da die massgebenden Nutzungsfälle die theoretisch zu Leerfahrten führen (Haushaltsdynamik und Parkplatzverfügbarkeit und -suche) momentan im MATSim Modell der Schweiz unzureichend abgebildet sind. Dadurch ist der Anwendungsfall der automatisierten Privatfahrzeuge fast identisch mit konventionellen Privatfahrzeugen, ausgenommen die veränderte Wahrnehmung der Zeitkosten (VOT), welche die Abgabe der Fahrtätigkeit an das Fahrzeug und die damit verbundene Komforterhöhung abbildet. Zudem wird – hingegen zu den Reisen mit konventionelle Privatfahrzeuge - keine pauschale «Parksuchzeit» zu den Reisen mit einem automatisierten Privatfahrzeug hinzugefügt: somit nehmen die Agenten keine Parksuchzeit wahr, wenn sie mit einem automatisierten Privatfahrzeug ein Weg zurücklegen, jedoch wird die Parksuche des automatisierten Privatfahrzeugs nicht modelliert: es bleibt einfach dort stehen, wo der Agent aussteigt. Es wird aber eine pauschale Zugangszeit von 4 Minuten für Reisen mit automatisierte Privatfahrzeugen berechnet, genau wie für konventionellen Privatfahrzeugen.

Zugang zu einem automatisierten Privatfahrzeug kann nur an die Agenten zugeteilt werden, die im Grundzustand Zugang zu einem Privatfahrzeug haben (bzw. hätten, da es in den Zukunftsszenarien mehre "Kopien" eines Agenten des Grundzustandes geben kann, je nach soziodemografischen Merkmalen des Agenten und prognostizierte Bevölkerung und deren soziodemografische und räumliche Zusammensetzung). Somit wird angenommen, dass nur Personen mit Führerschein Zugang zu einem automatisierten Privatfahrzeug haben und dieses unabhängig nutzen können bzw. dürfen. Es wird daher auch angenommen, dass die Personen die in den Zukunftsszenarien Zugang zu einem automatisierten Privatfahrzeug haben, dieselben soziodemografischen Eigenschaften haben wie Personen, die im Grundzustand Zugang zu einem Privatfahrzeug haben. Somit wird nicht berücksichtigt, dass theoretisch bei automatisierten Privatfahrzeugen auch Personen ohne Führerschein ein Fahrzeug unabhängig nutzen könnten und dadurch neue soziodemografische Gruppen eigenständigen Zugang zu Privatfahrzeugen haben könnten. Somit sollten die Ergebnisse der Simulationen als sehr konservativ betrachtet werden, da diese potenziellen "Neukunden" von private AF ausgeschlossen sind.

4.2.5 Fahrzeugbesitz

MATSim und das Entscheidungsmodell berücksichtigen Besitz von einem Privatfahrzeug nicht als solches, sondern den Zugang zu einem Privatfahrzeug, weil dieses ausschlaggebend ist für die Nutzung eines Privatfahrzeuges für die persönliche Mobilität (entsprechend "Fahrzeugverfügbarkeit" im Mikrozensus Verkehr und Mobilität). Konkret bedeutet dieses, dass in der verwendeten synthetischen Bevölkerung keine konkrete Privatfahrzeugflotte vorhanden ist. Um das Flottenmodell von TP5 zu verwenden wurde deshalb statt absoluten Flottengrössen relativen Flottengrössen verwendet. Somit wurden zum Beispiel in Szenario A im Jahr 2050 31% der Agenten die im Referenzzustand 2050 (reine Bevölkerungswachstum bzw. -entwicklung) Zugang zu einem Privatfahrzeug haben, Zugang zu einem automatisierten Privatfahrzeug zugeteilt (und deren Zugang zu einem konventionellen Privatfahrzeug abgeschafft). Die verwendeten Durchdringungsraten der automatisierten Privatfahrzeuge können in **Tab. 42** eingesehen werden.

Tab. 42 *AF Durchdringung und Fahrzeugbesitz: grüne Zellen beinhalten die Werte, die in MATSim verwendet wurden*

Szenario	Jahr	Anzahl PW Gesamt (von TP5)	Anzahl PW sharing (von TP5)	Anzahl PW privat (von TP5)	Anzahl PW privat, autom. (von TP5)	Differenz PW Privat, Sz. A – Sz.B	Anzahl PW privat, Sz.B / Sz.A	% PW privat, autom.	% PW privat, konven.
A	2030	5391441	3071	5388370	24575			0.46	99.54
A	2040	5708928	28512	5680416	320837			5.65	94.35
A	2050	5591856	52457	5539399	1735052			31.32	68.68
B	2030	5416004	24567	5391437	82704	-24563	1.0006	1.53	98.47
B	2040	5199751	228100	4971651	682913	509177	0.8752	13.74	86.26
B	2050	2867391	419662	2447729	1364340	2724465	0.4419	55.74	44.26

4.3 Annahmen zu den automatisierten Taxis

Es ist derzeit rechentechnisch nicht möglich ist, automatisierte Taxis auf nationaler Ebene innerhalb einem angemessenen Zeitraum zu modellieren. Zusätzlich war es auch unklar, welche Marktaufteilungen und Betriebsstrategien für ein nationales Taxi-Szenario im Modell umgesetzt werden sollten. Da die Entwicklung konkrete, im Model einbaubare Marktaufteilungen (in jeder Region eine Flotte? Was gilt als eine Region? Dürfen die Taxis einer Flotte in der Region einer anderen hineinfahren? Wenn ja, unbegrenzt oder nicht?) und Betreiberstrategien (Monopol? Konkurrenz? Subventioniert? Eigenwirtschaftlich? Welches Algorithmus? Betriebszeiten?) nicht vorlagen, die dadurch erzeugten Komplexitäten den Projektrahmen sprengen würden, und die Rechenzeiten impraktikable lang geworden wären oder sogar einfach nicht möglich wären, wurde entschieden drei Regionen auszuwählen und für jede Region kleinere, berechenbare Szenarien mit automatisierten Taxis herzustellen. Somit wurden die regionalen Szenarien „Ländlich Gerichtet“ (lg), „Ländlich Ungerichtet“ (lu), und „Stadt und Agglomeration“ (sa) ausgewählt und umgesetzt.

4.3.1 Betriebsbedingungen und -strategie

Die zentrale Annahme für die Betriebsbedingungen war die Eigenwirtschaftlichkeit des Betriebs: der Preis pro Kilometer muss die Gesamtkosten der Flotte decken. Die zweite zentrale Annahme war, dass in jeder Betriebsregion nur ein Flottenbetreiber vorhanden ist: der Markt wird jeweils von einem lokalen Monopol bedient.

4.3.2 Kosten und Bestimmung der Flottengrösse

Die Betriebskosten und somit der Preis einer Fahrt wurde mit dem für das ASTRA 2016/001 (Hörl, Becker, Dubernet, & Axhausen, Induced demand by autonomous vehicles: An assessment, 2019) entwickelten Kostenrechner berechnet (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018). Somit floss nach jeder Iteration, die während dieser Iteration notwendigen Betriebskosten in die Berechnung des Kilometerpreises, der in der nächsten Iteration verwendet wurde, ein. Dadurch konnten sich Preis und Nachfrage gegenseitig beeinflussen.

Da die Flottengrösse eine Eingangsgrösse der Simulation ist, wurden mehrere Simulationsläufe durchgeführt, jeweils mit einer anderen Flottengrösse, um die optimale Flottengrösse zu bestimmen. Die optimale Flottengrösse wurde definiert als die Flottengrösse, die die höchste Nachfrage erzeugte.

4.3.3 Effizienzsteigerungen

Die in Kapitel 2 beschriebene Methodik führt zu folgenden PCU-Werten bei konventionellen und automatisierten Taxis. Bei der Kooperationsfähigkeit werden dieselben Werte wie bei automatisierten Privatfahrzeugen verwendet. Bei gleichen Fahrzeuggrössen wie bei Privatfahrzeugen wird auch die Fahrdynamik als unverändert betrachtet.

Tab. 43 *Verwendete PCU-Werte für automatisierte Taxis*

	Angebotsformen MATSim			PCU-Faktorenmodell			
	Angebotsform	**zugelassener Straßentyp**	**Teilnetz und Geschwindigkeit**	**Kooperations-fähigkeit**	**Größe**	**Fahr-dynamik**	**PCU**
Sharing/Taxi	PW konventionell	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			HLS, 80-100 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
			untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	1.00	1.00	**1.00**
	PW hochautomatisiert und vernetzt	*Input TP 5*	HLS, 120 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			HLS, 80-100 km/h	0.77	1.00	1.00	**0.77**
			untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	1.00	1.00	**0.83**
			untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	1.00	1.00	**0.80**

4.3.4 Umsetzung der Strassenfreigabe

Automatisierte Taxis dürfen nur dort verkehren, wo der automatisierte Betrieb freigegeben ist. Somit können die automatisierte Taxis als automatisierte Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 5 betrachtet werden, die völlig ohne Fahrer in jeder Situation verkehren können und zusätzlich als Fahrzeuge, die nur automatisiert fahren können. Dies ist auch sinnvoll, weil diese automatisierten Taxis immer ohne Fahrer verkehren müssen, um ihren Zweck erfüllen zu können. Da sie immer ohne Führer fahren, dürfen sie auch nur auf Strassen auf denen automatisierten Fahrbetrieb erlaubt ist verkehren, anders als die automatisierten Privatfahrzeuge, die aufgrund der vorher beschriebenen Annahmen immer mit einem Fahrer verkehren und somit auch Strassen ohne Freigabe (im "konventionellen Modus") befahren dürfen.

In der Zuweisung der Freigabe an den Kanten wurde sichergestellt, dass keine "Betriebsinseln" entstanden sind, insbesondere in den 2030 Szenarien für die nur Kernstädte und HLS freigegeben wurden. Insbesondere wurde im letzteren Fall sichergestellt, dass mindestens eine freigegebene Verbindung an die Autobahn existiert.

4.3.5 Nutzung und Zugang

Es wird angenommen, dass jeder Agent Zugang zu den automatisierten Taxis hat und nutzen kann. Somit werden potenzielle führerscheinlose "Neukunden" des motorisierten Individualverkehrs teilweise berücksichtigt, obwohl sie keinen Zugang zu automatisierten Privatfahrzeugen haben.

Eine Beschränkung der Nutzung der automatisierten Taxis wurde jedoch gesetzt: es wurden keine Anfragen für eine Fahrt mit einer Länge unterhalb 1 km angenommen. Diese Beschränkung wurde eingeführt nachdem Test-Simulationsläufe gezeigt hatten, dass die Taxis durch die hohe Anzahl an Anfragen für Fahrten unterhalb 1 km keine längeren Fahrten annehmen konnten. Dieser Zustand wurde als nicht sinnvoll eingestuft, da somit die längeren Fahrten, bei denen Taxis anderen motorisierten Verkehrsmitteln Konkurrenz bieten könnten gar nicht bedient wurden. Diese 1-km Beschränkung ist auch eine die Flottenbetreiber voraussichtlich auch setzten würden, um die sehr häufigen Leerfahrten (*rebalancing*) möglichst zu vermeiden. Alternative Preissysteme, die kurzen Fahrten benachteiligen, wurden aus Zeitgründen nicht getestet.

Eine Nutzergruppe die weder automatisierten Taxis wählen konnte noch ein anders Verkehrsmittel sind die Agenten, die im Grundzustand Mitfahrer sind. Diese Agenten müssen die Wege, die Sie im Grundzustand als Mitfahrer zurückgelegt haben, in allen Szenarien weiter als Mitfahrer zurücklegen. Grund dafür ist, dass das Thema der Mitfahrer im Rahmen agentenbasierter Simulationen bisher noch nicht vertieft betrachtet wurde. Eine Analyse des Schweizer Mikrozensus Verkehr zu diesem Thema würde ein interessantes weiterführendes Forschungsthema darstellen.

Da diese Agenten vermutlich mindestens teilweise einer der führerscheinlosen soziodemografischen Gruppen angehören, die potenzielle Kunden des automatisierten Fahrens darstellen würden - wie zum Beispiel Kinder, Jugendliche, mobilitätseingeschränkte Personen - sollte hervorgehoben werden, dass die Wege die als "Mitfahrer" zurückgelegt wurden, durchaus Taxifahrten sein könnten und somit die Ergebnisse der Simulationen als konservativ betrachtet werden sollten.

Das Verkehrsmittel "Mitfahrer" wurde in die Entscheidungsmodelle eingefügt, um einen guten kalibrierten Grundzustand in den ländlichen Untersuchungsregionen zu ermöglichen. Ohne das Verkehrsmittel "Mitfahrer" wurden in den Test-Simulationsläufen deutlich zu viele Wege mit dem ÖPNV zurückgelegt. "Mitfahrer"-Wege werden nicht auf dem Netz umgelegt, da sie per Definition mit einem (nicht spezifizierten) anderen Agent mitfahren und somit keine zusätzlichen Fahrzeuge auf das Netz bringen.

4.4 Annahmen zu den schweren Güterfahrzeugen

4.4.1 Generierung der Güter-Agenten

Um den schweren Güterverkehr ins Modell integrieren zu können, wurde eine Quelle-Ziel Matrize aus den Daten der GTE und des GQGV generiert. In den Erhebungen liegen teils detaillierte Wegeketten vor, jedoch da zur Zeit der Szenariogenerierung unzureichende Kenntnisse über das Entscheidungsverhalten der Logistik Unternehmen bezüglich der Bildung von Wegeketten bereitstanden, wurden entschieden diese erhobenen Wegeketten in ihren einzelnen Wegen zu zerlegen und eine skalierbare Quelle-Ziel-Matrize zu erzeugen. Diese Quelle-Ziel Matrize verwendet NUTS 3 Zonen für die Zuordnung der Start- und Endpunkten, weil diese in beiden Erhebungen vorhanden waren.

4.4.2 Skalierung

Die Skalierung erfolgt anhand der Prognosen der Tonnenkilometer aus den Verkehrsperspektiven 2040 (Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), 2016). Zwischen den prognostizierten Werten wird linear interpoliert. Es wird angenommen, dass die

durchschnittlich transportierten Tonnenkilometer pro Weg sich gegenüber 2020 nicht ändern. Fahrzeuge in diesem Sinne sind die Wege aus der Quelle-Ziel-Matrize. Von den Daten die für 2020 vorhanden waren wurden eine Kapazität in Tonnen je Fahrzeug, oder Weg, berechnet und anschließend berechnet, wie viele Fahrzeuge, oder Wege, notwendig wären um einen bestimmten, hoch-skalierten Wert der Tonnenkilometer zu befördern.

4.4.3 Nachfragegenerierung

Für die MATSim Simulationen wird die Nachfrage generiert, in dem einzelne Wege aus der Quelle-Ziel-Matrize zufällige ausgewählt werden und als ein Güter-Agent in die Simulation eingefügt werden. Da MATSim genaue Start- und Zielkoordinaten verlangt, müssen diese den Wegen zugewiesen werden. Für Wege, die im Ausland starten oder enden, wird der nächstgelegene Grenzübergang mittels der Luftlinien-Entfernung gewählt. Wege, die im Inland starten oder enden, werden zufällig einem der Unternehmen in der jeweiligen NUTS Zone zugewiesen. Die Unternehmen und deren Koordinaten stammen aus der Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT) (Bundesamt für Statistik, 2014). Diese Güter-Agenten legen nur diesen einen Weg pro Simulation zurück, und können weder ihr Verkehrsmittel (konventionelle oder automatisiert) noch ihre Startzeit wählen. Das Verkehrsmittel wird per Durchdringungsrate festgelegt und zufällig zugeteilt. Die Startzeit wird anhand der Tagesganglinien aus dem Bericht des Forschungsprojekt SVI 2009-008 (Weidmann, et al., 2014) zufällig zugeteilt.

4.4.4 Entscheidungsfähigkeit

Obwohl ihre Startzeit und Verkehrsmittel fixiert sind, können Güter-Agenten den Router verwenden, um den kürzesten Weg zwischen ihrem Startpunkt und Ziel zu finden. Güter-Agenten evaluieren auch ihre Tagespläne und wählen immer den Tagesplan mit der niedrigsten Fahrzeit.

4.4.5 Effizienzsteigerungen

Die im Kapitel 2 beschriebene Methodik führt zu folgenden PCU-Werten der Güterfahrzeuge. Bei der Kooperationsfähigkeit werden dieselben Werte wie bei automatisierten Privatfahrzeugen verwendet, da auch im Güterverkehr von einer Vernetzung ausgegangen wird. Bei der Fahrzeuggrösse sowie bei der Fahrzeugdynamik unterscheiden sich die PCU-Faktoren jedoch deutlich von Privatfahrzeugen.

***Tab. 44** Verwendete PCU-Werte für schwere Güterfahrzeuge*

		Angebotsformen MATSim			**PCU-Faktorenmodell**			
		Angebotsform	**zugelassener Straßentyp**	**Teilnetz und Geschwindigkeit**	**Kooperations-fähigkeit**	**Größe**	**Fahr-dynamik**	**PCU**
Grosse Güterfahrzeuge	LW/LZ/SZ konventionell		*Input TP 5*	HLS, 80 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
				untergeordnet, 60-80 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
				untergeordnet, 30-50 km/h	1.00	2.00	2.00	**4.00**
	LW/LZ/SZ hochautomatisiert und vernetzt		*Input TP 5*	HLS, 80 km/h	0.77	2.00	2.00	**3.08**
				untergeordnet, 60-80 km/h	0.83	2.00	2.00	**3.33**
				untergeordnet, 30-50 km/h	0.80	2.00	2.00	**3.20**

4.4.6 Umsetzung der Strassenfreigabe

Ähnlich wie automatisierte Privatfahrzeuge dürfen automatisierte Güterfahrzeuge auf allen Kanten verkehren, jedoch werden auf Kanten ohne Freigabe die konventionellen PCUs der Verkehrssimulation verwendet. Nur wenn ein automatisiertes Güterfahrzeug auf Kanten mit Freigabe verkehrt werden die automatisierte PCU Werte verwendet. Diese PCU Werte können in **Tab. 44** eingesehen werden.

4.4.7 Durchdringung der AF-Güterfahrzeugen

Ähnlich wie für die automatisierten Privatfahrzeuge wurde die Durchdringungsrate der automatisierten schweren Güterfahrzeuge in der Güterfahrzeugflotte von TP5 berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung wurden in Verhältnisse zwischen automatisiert und nicht-automatisierte schwere Güterfahrzeuge umgewandelt und dann wurden die Güterverkehrsagenten entsprechend Zugang zu einem automatisierten oder konventionellen schweren Güterfahrzeug zugewiesen. Die verwendeten Durchdringungsraten der automatisierten Privatfahrzeuge können in **Tab. 45** eingesehen werden.

***Tab. 45**: AF Durchdringung im schweren Güterverkehr: grüne Zellen beinhalten die Werte, die in MATSim verwendet wurden*

Jahr	Anzahl GV Gesamt	Anzahl GV automatisiert	truckAv = GV automatisiert/ GV	GV	% truckAv	% truck
2030	606986	3623	0.0060	0.9940	0.60	99.40
2040	706414	51734	0.0732	0.9268	7.32	92.68
2050	798122	311911	0.3908	0.6092	39.08	60.92

4.5 Pooling und Langstreckentaxis

Im Laufe des Projekts wurden Szenarien für die Simulation von Langstreckentaxis entwickelt. Leider hat sich herausgestellt, dass die Rechenzeiten aufgrund des Routings von Taxi-Reisen im gesamten Schweizer Netz exponentiell steigen. Das heisst, dass die vorliegenden 25% (und selbst 10%) Szenarien nicht ohne weiteres berechnet werden können. Dazu müsste weitere Zeit in die Optimierung des Quelltexts und der Dispatching-Algorithmen investiert werden. Zudem stellt sich die Frage, ob ein solcher Service überhaupt sinnvoller Weise als on-demand Angebot stattfinden sollte.

Damit verbunden ist eine weitere Fragestellung des Projekts, die bisher ansatzweise beschrieben wurde: die Simulation der Taxiflotten als Pooling-Angebot. Im Laufe des Projekts hat sich gezeigt, dass diesbezüglich viele offene Fragen bestehen: Was ist der optimale Flottenmix zwischen Pooling- und Einzelangeboten? Wie muss das Preisniveaus der Services aussehen, um den Profit für den Flottenbetreiber oder die Effizienz des Verkehrssystems zu steigern? Wahrscheinlich funktioniert ein Pooling-Service nur in Verbindung mit spezifischen Preisanreizen (z.B. niedrigere Preise zu Stosszeiten oder Kapazitätsbeschränkungen der Innenstädte.). Wie sollte solch eine Preisstruktur aussehen?

Für dieses Projekt wurden lediglich Situationen getestet, in denen Pooling-Angebote, wie die Einzeltaxiangebote, kostendeckend bereitgestellt werden müssen. Dabei wurden verschiedene Flottenzusammensetzungen getestet (z.B. 50% Einzeltaxi / 50% Pooling). Dabei hat sich herausgestellt, dass die Poolingangebote gegenüber den Einzelangeboten generell unattraktiv sind, wodurch sich der Preis erhöht, sodass weniger Agenten den Service nutzen. Über mehrere Iterationen führt dies dann zum ”Aussterben” des Pooling-Angebots. In Kapitel 5.2.3 wird beschrieben, unter welche Bedingungen in den gegebenen Szenarien mit dem gegebenen Pooling-Algorithmus ein Pooling-Angebot tatsächlich gepoolte Fahrten produzieren kann. In Kapitel 5.2.3 werden auch die Ergebnissen dieses Projekts hinsichtlich Pooling mit aktuelle Arbeiten am IVT, welche Pooling-Angebote weiterverfolgen, verglichen. Eine vollumfängliche Analyse im Rahmen des vorliegenden Projekts war allerdings nicht möglich.

Angelehnt an das Thema der Langstreckentaxis, bzw. Erschliessung nicht-urbaner Räume möchten wir auf Sieber *et al.* (2018) verweisen. Für Pooling-Angebote wurde zudem in einer vereinfachten Simulation das Potenzial in Zürich untersucht (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019). Diese Studie, zusammen mit der aktuellen Literatur, zeigte, dass

Pooling-Angebote meist nur sinnvoll sind, wenn Reisen explizit entweder räumlich (z.B. durch Haltepunkte) und/oder zeitlich (z.B. durch Wartezeiten) aggregiert werden. Diese Ergebnisse werden zudem durch die Arbeiten des Instituts für Dynamische Systeme der ETH Zürich bestätigt, in welchen verschiedene in der Literatur verfügbare Pooling-Algorithmen auf die Nachfrage in Zürich angewendet werden. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass ein Flottenbetreiber (ohne explizite Aggregierung) einen On-demand Service nur mit Einzeltaxis sinnvoll anbieten kann, wobei ähnliche Reisen optional zu Stosszeiten zusammengefasst werden können (Ruch, Lu, Sieber, & Frazzoli, 2019).

4.6 Übersicht zu den Szenarien

4.6.1 Unterschiede zwischen den Projektszenarien und den MATSim Szenarien

Projektszenarien

Für dieses Projekt werden zwei Szenarien untersucht: eines, nämlich Szenario A, dass im Zwischenbericht von TP1 als «Individual und Monomodal» bezeichnet wird und ein zweites, nämlich Szenario B, dass im Zwischenbericht von TP1 als «Kollektiv und Multimodal» bezeichnet wird (Oehry, et al., 2018). Stark vereinfacht, wird bei Szenario A «Individual und Monomodal» angenommen, dass die heutigen Präferenzen bezüglich Privatfahrzeugbesitz, individuelle Verkehrsmittel und monomodale Wege beibehalten werden. Szenario B «Kollektiv und Multimodal» hingegen nimmt an, dass sich die Bevölkerung vom Privatfahrzeugbesitz abwenden wird und eher kollektive Verkehrsmittel wie Taxis, Pooling, MaaS, und dem ÖV verwenden und somit auch eher intermodale Wege zurücklegen wird.

MATSim Szenarien

Innerhalb dieses Teilprojekt war es notwendig diese Szenarien stark zu vereinfachen um sie in dem verfügbaren MATSim Modell und mit der zur Zeit der Simulationen vorhanden Daten abbilden zu können. Somit unterscheiden sich in den MATSim Simulationen die Szenarien A und B nur anhand des Privatfahrzeugbesitzes bzw. den Zugang zu einem Privatfahrzeug (siehe Kapitel 4.2.5).

Ein Hinweis: das verwendete MATSim Modell und Entscheidungsmodell kann multimodale Wegeketten abbilden, aber keine intermodalen Wege. Somit kann ein Agent eine Wegekette wählen, in dem er oder sie von zu Hause nach der Arbeit mit dem ÖV fährt, von der Arbeit zum Sport mit einem automatisierten Taxi, und vom Sport wieder nach Hause zu Fuss. Jedoch muss jeder Weg mit nur einem Verkehrsmittel zurückgelegt werden. Zum Beispiel: ein Agent kann sich nicht dafür entscheiden, von zu Hause mit dem automatisierten Taxi zum Bahnhof zu fahren und anschliessend mit der Bahn zur Arbeit. Eine Ausnahme: Fußwege die nur als Zugang zu einem Verkehrsmittel dienen sind in den ökonometrischen Gleichungen des Entscheidungsmodells sowie die Wegeketten der Agent in der MATSim Simulation berücksichtigt, werden jedoch in der Auswertung der Ergebnisse nicht separat von der ÖV- oder Taxifahrt ausgewertet.

Die Auch die regionalen Szenarien wurden alle bis zum Gleichgewichtszustand simuliert.

Abb. 9 zeigt wie die Szenarien aufeinander aufgebaut werden. Wichtig anzumerken ist, dass bevor die regionalen Szenarien aus den nationalen Szenarien herausgeschnitten wurden, die nationalen Szenarien bis zum Gleichgewichtszustand hinsichtlich der Verkehrsmittelwahlanteile (siehe Kapitel 3.4) und deren realistischen Tagesganglinien simuliert wurden. Somit wurde sichergestellt, dass der Durchgangsverkehr den Verhältnissen der jeweiligen nationalen Szenarien entspricht. Auch die regionalen Szenarien wurden alle bis zum Gleichgewichtszustand simuliert.

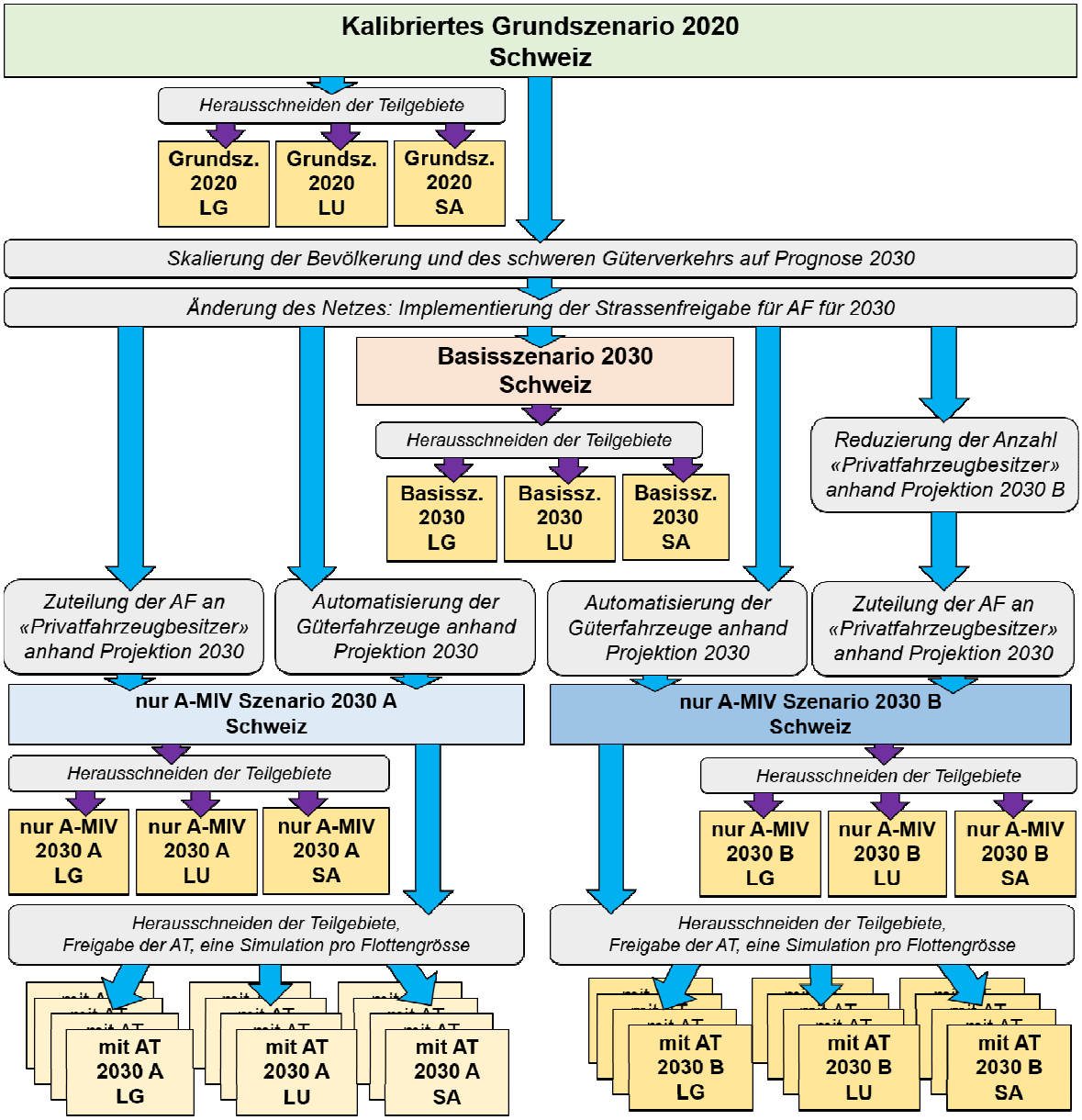


Abb. 9 *Aufbau der Szenarien: Beispiel für das Jahr 2030*

4.6.2 Basisszenarien: Grundzustand 2020 und Referenzfälle 2030, 2040 und 2050

Wie in Kapitel 3.1 und 3.2 erwähnt, wurden Basisszenarien erstellt die, die prognostizierte Entwicklung der Bevölkerung und des schweren Güterverkehrs der Schweiz in den Zeitzuständen 2030, 2040, und 2050 berücksichtigen. Basisszenarien wurden für die gesamte Schweiz sowie auch für die Regionen simuliert (siehe **Abb. 9**). Diese Basisszenarien wurden simuliert, um sinnvolle Vergleiche der Entwicklung ohne und mit AF zu ermöglichen.

4.6.3 Die Szenarien mit private AF, aber ohne automatisierte Taxis

Die Szenarien mit private AF, aber ohne automatisierte Taxis verwenden dieselbe Grundlage wie die entsprechenden Basisszenarien. Als erster Schritt der Integrierung des automatisierten Fahrens wurden automatisierte Privatfahrzeuge und automatisierte schwere Güterfahrzeuge hinzugefügt. Wie in Abschnitt 4.2.5 erwähnt, wurde anhand der

von TP5 prognostizierten Flottenzusammensetzungen Durchdringungsraten berechnet und diese Durchdringungsraten wurden verwendet um die Prozentanzahl der Agenten und Güteragenten zu bestimmen, die in den jeweiligen Zeitzuständen ein automatisiertes Fahrzeug zur Verfügung haben. Für Szenario B wurde zuerst der prozentuale Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes berücksichtigt, und erst danach wurden die Durchdringungsraten des AF angewandt. Dieser Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes wurde auch den Flottenmodellen TP5s entnommen und entspricht deren Extremszenario (Busch, et al., 2019). Die resultierenden Szenarien werden in Grafiken und Tabellen als «nur A-MIV» für «nur mit automatisierter motorisierten Individualverkehr» und als «ohne automatisierte Taxis» im Fliesstext bezeichnet.

4.6.4 Die Szenarien mit automatisierten Taxis

Nachdem die Szenarien A und B ohne automatisierte Taxis simuliert wurden, wurden darauf basierend die Szenarien mit automatisierten Taxis gebildet in dem die Teilgebiete sorgfältig aus dem jeweiligen simulierten Szenario ohne automatisierte Taxis geschnitten wurden und in jedem Teilgebiet die entsprechende Taxiflotte freigegeben wurde. Hinzu kommt, das für jede zu-testende Flottengrösse eine neue Simulation durchgeführt werden musste. Zum Beispiel: für das Teilgebiet Stadt/Agglomeration (sa) mussten zwölf Flottengrössen simuliert werden um sicherzustellen, dass die Flottengrösse, die die Anzahl der mit einem automatisierten Taxi zurückgelegten Wege maximieren würde, gefunden war.

Um die Teilgebiete möglichst realitätsnah abbilden zu können, wurden folgende Massnahmen verwendet um die Grenzeffekte möglichst klein zu halten. Wie vorher erwähnt, bauten die Szenarien mit automatisierten Taxis auf den simulierten Private-AF Szenarien auf. Nur die Agenten, die in dem Ergebnis der Simulation des entsprechenden Private-AF Szenario innerhalb dem Teilgebiet all ihre Wege zurücklegen oder das entsprechende Teilgebiet durchqueren, einfahren, und/oder verlassen, wurden für das entsprechende Szenario mit automatisierten Taxis beibehalten. Die Wege, die ihren Start, Ziel, oder beides ausserhalb das entsprechende Teilgebiet hatten, wurden fixiert in dem der Agent für diese "grenzquerenden" Fahrten während der Simulation des entsprechenden regionalen Szenarios keine Verkehrsmittel- oder Routenwahl durchführen konnte. Um auch auf regionale Ebene konsistente Vergleiche zwischen den Szenarien mit automatisierten Taxis, Private-AF Szenarien und den Referenzszenarien zu ermöglichen, wurden auch regionale Private-AF und Referenzszenarien simuliert.

5 Ergebnisse der Simulationen

5.1 Hauptergebnisse

5.1.1 Übersicht

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Szenarien A und B überwiegend gegenüber dem Grundszenario 2020 dargestellt. Um die Effekte der Bevölkerungsentwicklung von den Effekten des automatisierten Fahrens (AF) zu trennen, werden aber auch die Ergebnisse der AF-Szenarien mit dem entsprechenden Referenzszenario verglichen.

Schweizweite Betrachtung: Nicht überraschend ist, dass die zurückgelegten Personenkilometer in der Schweiz über die nächsten Jahrzehnte steigen werden (vgl. **Abb. 10**). Ursache dafür ist die Bevölkerungsentwicklung. Die Steigerung der Verkehrsleistungen (in Personenkilometer) über alle Verkehrsmittel ist in allen Szenarien für die jeweiligen Jahre identisch. Grund dafür ist, dass nur Routenwahl und Verkehrsmittelwahl modelliert werden. Eine Abschätzung des durch neue Wege induzierten Verkehrs sowie eine Diskussion des möglichen Einflusses von Zielwahländerungen erfolgt in Kapitel 5.2.6. Die Gesamtverkehrsleistung im Modell ist somit allein durch die Bevölkerungsentwicklung gemäss BFS und von den Aktivitätenketten der Agenten abhängig. Sie ändern sich zwischen Szenarien grundsätzlich nicht. Änderungen der Verkehrsleistung (in Personenkilometer) durch Verkehrsmittelwahl und Routenwahl sind theoretisch möglich, aber im Vergleich zur Gesamtmenge gering. Die Ergebnisse fokussieren damit auf die Verkehrsmittelverlagerung.

Regionale Betrachtungen: Bei den regionalen Betrachtungen sind öfters Unterschiede in den Gesamtverkehrsleistungen zwischen den Szenarien eines Jahres erkennbar. Dies liegt vor allem am Durchgangsverkehr bzw. im Transitverkehr durch die Regionen. Grund dafür ist, dass die regionalen Szenarien aus den entsprechenden simulierten nationalen Szenarien herausgeschnitten sind (siehe Auch die regionalen Szenarien wurden alle bis zum Gleichgewichtszustand simuliert.

Abb. 9), um solche Änderungen im Durchgangsverkehr in den regionalen Szenarien mitzuberücksichtigen. Der Schwerpunkt der Analyse der Verkehrsleistungen bleibt auf den Verlagerungen zwischen den Verkehrsmitteln.

Ferner werden die Fahrzeugkilometer für die strassengebundenen motorisierten Verkehrsmittel dargestellt. Es werden nur motorisierte Verkehrsmittel berücksichtigt, da der Mischverkehr zwischen motorisierten Verkehrsmitteln und nicht-motorisierten Verkehrsmitteln im Modell nicht abgebildet wird[3]. Die Fahrzeugkilometer im ÖV auf der Strasse ändern sich zwischen den Szenarien nicht, da im Modell der ÖV-Fahrplan über alle Jahre und Szenarien identisch ist. Wieder zu bemerken ist, dass ÖV-Fahrzeuge nicht im Verkehrsfluss auf den Kanten abgebildet werden[4]. Deshalb tragen sie weder zu den Reiseverlusten bei, noch sind sie davon betroffen. Diese Vereinfachung wurde aus Rechenzeitgründen gewählt.

Die auf den Strassen zurückgelegten Fahrzeugkilometer können sich zwischen den Szenarien aufgrund von Routen- und Verkehrsmittelwahlentscheidungen erheblich unterscheiden (vgl. **Abbildung 12**). Es wird daher für Fahrzeugkilometer die Summe über

[3] Fussgänger und Fahrradfahrer bekommen zwar eine Route durch das Strassennetz und werden anhand der dadurch berechneten Reisezeiten und Reisedistanz in der Umlegung «befördert», werden aber nicht im Verkehrsfluss auf den Kanten abgebildet und tragen deshalb in dieser MATSim Implementierung weder zum Kapazitätsverbrauch noch zu den Reisezeitverlusten bei. Fussgänger und Fahrradfahrer werden auch nicht von Reisezeitverlusten betroffen.

[4] Dennoch können die ÖV-Fahrzeugkilometer anhand des Fahrplans und des Strassennetzes berechnet werden.

alle strassengebundenen motorisierten Verkehrsmittel und auch die Verlagerungen zwischen den strassengebundenen motorisierten Verkehrsmitteln dargestellt.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist zudem festzuhalten, dass «Privatfahrzeugbesitz» in dieser Analyse nicht eine absolute Zahl an Privatfahrzeugen darstellt, sondern den Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu einem Privatfahrzeug.

5.1.2 Schweizweite Betrachtung (ohne automatisierte Taxis)

Auf nationaler Ebene wurden aus rechentechnischen Gründen nur private automatisierte Fahrzeuge (private AF bzw. A-MIV) modelliert. Eine Folge dieser Einschränkung ist, dass das Szenario B auf nationaler Ebene nur begrenzt interpretierbar ist, da der angenommene Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes einen universalen Zugang zu automatisierten Taxis (AT) implizit unterstellt. Der Vergleich zwischen Szenario B (ohne automatisierte Taxis) und Szenario B (mit AT) ist auf regionaler Ebene möglich und wird in den Kapiteln 5.1.3 bis 5.1.5 gezeigt. Wie in Kapitel 4.5 beschrieben, ist der Versuch Langstreckentaxis zu modellieren an impraktikabel langen Rechenzeiten gescheitert und somit liegen keine Ergebnisse bezüglich Langstreckentaxis vor.

Ergebnisse: Personen- und Fahrzeugkilometer, Verkehrsmittelanteile

In der **Abb. 10** sind Verkehrsleistungen (in Pkm) für den Grundzustand und je Szenario dargestellt. In den Referenzszenarien (Referenzszenario 2030, 2040 und 2050) steigen gegenüber dem Grundszenario 2020 die Personenkilometer mit konventionellen Privatfahrzeugen (MIV) und durch Mitfahrer bis 2040. Danach gehen sie leicht zurück, bleiben aber höher als im Jahr 2020. Im Folgenden werden diese Verkehrsmittel (gemeinsam mit den privaten AF und den automatisierten Taxis in den regionalen Betrachtungen) als «gesMIV» bezeichnet, weil alle diese Modi individuell genutzt werden (die Taxis befördern immer nur einen Agenten) und motorisiert sind. In Szenario A hingegen steigen die gesMIV-Pkm leicht aber kontinuierlich, und in Szenario B sinken die gesMIV-Pkm erheblich.

In Zahlen gefasst: Im Grundzustand Schweiz liegen die gesMIV-Pkm im Jahr 2020 bei etwa 211.0 Mio. Pkm und im Jahr 2050 etwa bei 221.2 Mio. Pkm, nachdem sie im Jahr 2040 etwa 231.7 Mio. Pkm betrugen. Der Rückgang ist vor allem – aber nicht nur – mit den Preissenkungen im ÖV zu erklären (vgl. dazu auch Kapitel 5.2.1), dessen Automatisierung auch für den Referenzszenario 2050 unterstellt wurde. Im schweizweiten Szenario A steigen mit der beginnenden Marktdurchdringung von privaten AF die gesMIV-Pkm auf 235.8 Mio. Pkm. Im schweizweiten Szenario B 2050 sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz die gesMIV-Pkm auf ca. 139.6 Mio. Pkm. In den Kapiteln 5.1.3 bis 5.1.5 wird gezeigt, dass diese Senkung der gesMIV-Pkm im Szenario B 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020 durch die automatisierten Taxis zu einem Grossteil ausgeglichen (in der Region LG) oder sogar umgekehrt wird (in den Regionen SA und LU). Grundsätzliches Fazit hier ist, dass bei gleichbleibenden Besitz von Privatfahrzeugen wie heute und deren teilweise Automatisierung die gesMIV-Pkm aufgrund von Verkehrsmittelverlagerungen steigen.

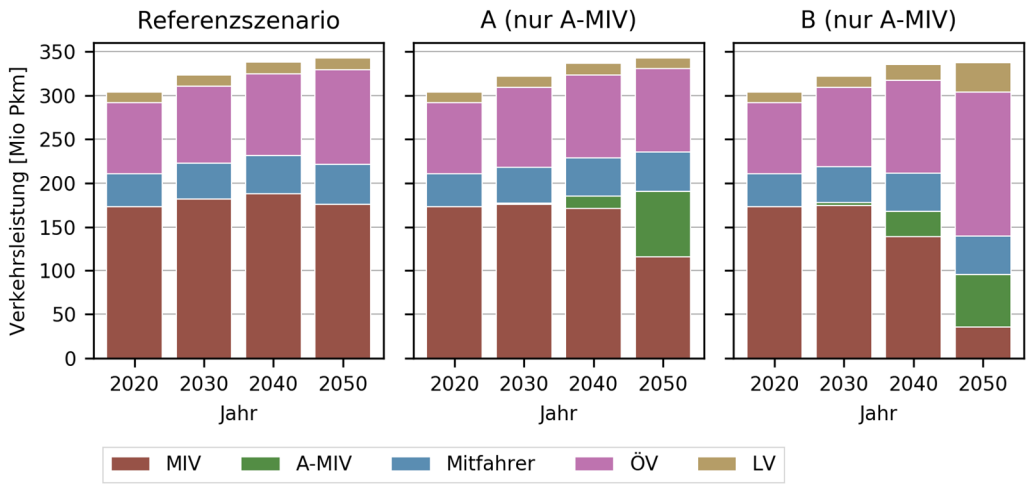


Abb. 10: *Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Schweiz (Berechnungen ohne automatisierte Taxis)*

Die Veränderungen der Verkehrsmittelwahl in Bezug auf Wege sind den Veränderung der Verkehrsmittelwahl in Bezug auf Personenkilometer ähnlich (vgl. **Tab. 46**). Der Anteil vom gesMIV geht im Referenzszenario bis 2040 langsam zurück, wonach er deutlich sinkt. In Szenario A sinkt der Anteil vom gesMIV in 2030 und danach steigt er langsam an, bis er in 2050 etwas über dem Niveau von 2020 liegt. In Szenario B sinkt der Anteil vom gesMIV schneller, bis im Jahr 2050 der Anteil des gesMIV nur noch 60% des Anteils aus dem Jahr 2020 beträgt. Die regionalen Szenarien zeigen, dass mit automatisierten Taxis diese Abnahme nicht so stark ist (LG) oder ausgeglichen wird (SA).

Tab. 46*: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Schweiz, ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV [%]	A-MIV [%]	Mitfahrer [%]	ÖV [%]	LV [%]	Ges. MIV (exkl. Mitfahrer) [%]	Ges. MIV [%]
Grundzustand	2020	43.4	0.0	9.8	14.3	32.5	43.4	53.2
Referenzszenario	2030	42.8	0.0	10.0	14.3	32.9	42.8	52.8
Referenzszenario	2040	42.3	0.0	10.2	14.5	33.0	42.3	52.5
Referenzszenario	2050	39.8	0.0	10.3	17.0	32.9	39.8	50.2
A (nur A-MIV)	2020	43.4	0.0	9.8	14.3	32.5	43.4	53.2
A (nur A-MIV)	2030	42.2	0.2	10.0	14.6	33.0	42.4	52.4
A (nur A-MIV)	2040	39.4	3.0	10.2	14.5	32.9	42.5	52.7
A (nur A-MIV)	2050	26.8	16.6	10.3	15.0	31.3	43.4	53.7
B (nur A-MIV)	2020	43.4	0.0	9.8	14.3	32.5	43.4	53.2
B (nur A-MIV)	2030	41.7	0.8	10.0	14.5	33.0	42.6	52.6
B (nur A-MIV)	2040	31.9	6.5	10.2	16.4	35.0	38.4	48.6
B (nur A-MIV)	2050	8.1	13.4	10.4	26.0	42.2	21.4	31.8

Die **Abb. 11** zeigt – bezogen auf die Wege – von welchen anderen Verkehrsmitteln die Nutzer der neuen privaten automatisierten Fahrzeuge (A-MIV) kommen. Für das Jahr 2050 zeigt sich, dass die meisten Nutzer der privaten AF ehemalige konventionelle PW-Nutzer sind. Dies überrascht nicht, weil im Modell private AF nur an Agenten zugeteilt wurden, die im Referenzszenario 2050 auch einen konventionellen PW besassen. Trotzdem gibt es auch eine bedeutende Verschiebung von ÖV- und LV-Wegen zum MIV, da PW-Besitzer

mit Führerschein mehr mit ihrem PW fahren, wenn er automatisiert ist und sie nicht selber lenken müssen. Im Szenario B 2050 ist der Effekt weniger stark als im Szenario A, da der Privatfahrzeugbesitz geringer ist.

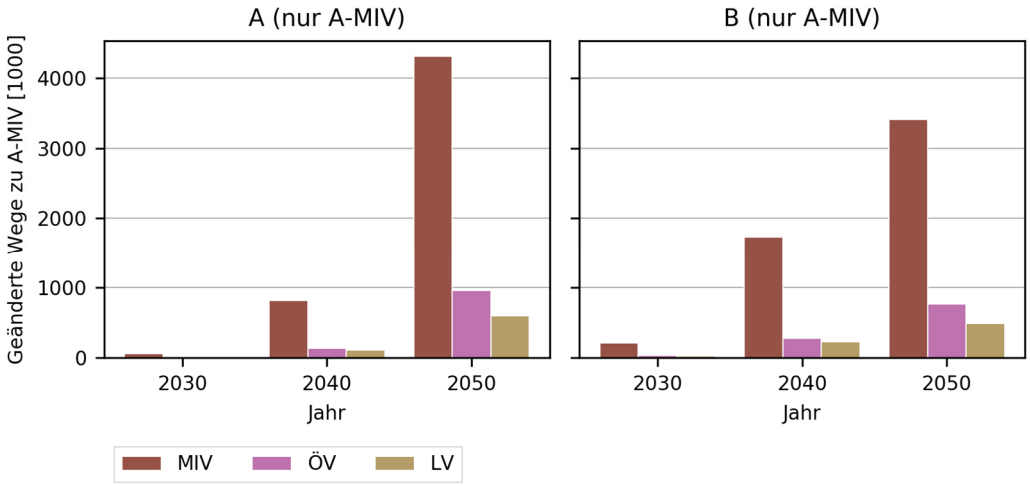


***Abb. 11**: Verlagerung von Wegen vom MIV, ÖV und LV auf A-MIV zwischen AF-Szenarien A und B und die entsprechenden Referenzszenarien je Jahr (ohne automatisierte Taxis)*

Die Entwicklung der Fahrzeugkilometer auf der Strasse im Referenzszenario und in den Szenarien entspricht den Tendenzen der gesamten MIV-Verkehrsleistungen (gesMIV-Pkm). Dies ist damit begründet, dass der Personenverkehr den grössten Anteil an den Fahrzeugkilometern aufweist. Dieser Anteil liegt zwischen 82% (Szenario B 2050) und 92% (Grundszenario 2020). In **Abbildung 12** ist zu sehen, dass die Einführung von privaten AF ohne einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz zu einem Anstieg der auf der Strasse abgewickelten Fahrzeugkilometer führt, sowohl in Bezug auf das Jahr 2020 als auch in Bezug auf das Referenzszenario 2050. Im Basisszenario Schweiz 2020 liegen die gesMIV-Fzg-km bei etwa 173.5 und im Jahr 2050 bei etwa 176.2 Mio. Fzg-km. Im Szenario A 2050 steigen mit dem Aufkommen privater AF die gesMIV-Pkm auf 190.8 Mio. Fzg-km an. In Szenario B 2050 sinken mit dem Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes trotz privater AF die gesMIV- Fzg-km auf circa 95.2 Mio. Fzg-km. In den Kapiteln 5.1.3 bis 5.1.5 wird analog zu den gesMIV-Pkm gezeigt, dass die Senkung der gesMIV-Fzg-km im Szenario B 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020 durch die automatisierten Taxis ausgeglichen (in der Region LG) wird bzw. sogar zu einem Wachstum (in den Regionen SA und LU) führen.

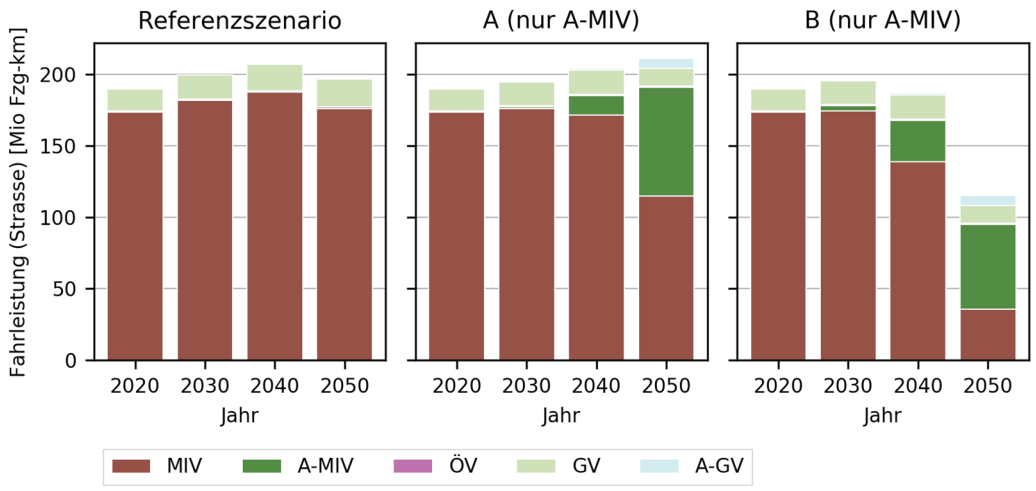


Abbildung 12: *Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Schweiz (ohne automatisierte Taxis) Räumliche Belastungsänderungen im HLS Netz*

Wie sich diese Verkehrsmittelwahl-Entscheidungen auf die Verkehrsbelastungen der Hochleistungsstrassen auswirken, ist in den folgenden Abbildungen (**Abb. 13** bis **Abb. 30**) dargestellt. Dabei werden die Belastung sowohl in PCU als auch in Fahrzeugen dargestellt. Bezüglich Kapazität und Auslastung sind die PCU-Werte relevant. Die Belastungsänderungen in Fahrzeugen werden aufgeführt, um die Auswirkungen der AF-Durchdringungsraten erkennbar zu machen. Das Thema Auslastung wird in Kapitel 6 behandelt.

Generell zeigt sich, dass in Szenario A die Belastungen in PCU stärker wachsen als im Referenzszenario, trotz steigendem AF-Anteil im Verkehr (siehe **Tab. 133**). Auch zu sehen ist die Stagnation und teilweise der Rückgang der Belastungen in PCU im Referenzszenario 2050 gegenüber 2020. Wie zu erwarten, geht gegenüber dem Grundszenario 2020 ab 2040 in Szenario B die Belastungen in PCU und Fahrzeugen stark zurück. Hier muss wieder bemerkt werden, dass das Szenario B auf nationaler Ebene eine sehr eingeschränkte Aussagekraft hat, da die im Szenario unterstellten automatisierten Taxis in der nationalen Betrachtung nicht simuliert werden. Ohne diese ist der unterstellte Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes aber nicht denkbar. Die Darstellungen zeigen somit Auswirkungen, wenn die Menschen ihr Privatfahrzeug aufgeben, ohne ein vergleichbares Ersatzverkehrsmittel zu haben. Die Bedeutung der automatisierten Taxis insbesondere im Szenario B, wird in den Kapiteln 5.1.3 bis 5.1.5 gezeigt.

Der Vergleich zwischen den Belastungsänderungen in PCU und denjenigen in Fahrzeugen für das Referenzszenario 2050 zeigt, dass für verschiedene Strecken in der Deutschschweiz, der Romandie und auch in Graubünden die Belastung in PCU trotz eines Rückgangs bei den Fahrzeugen steigt. Grund dafür ist der steigende Güterverkehrsanteil (siehe **Tab. 131**) kombiniert mit geringen Personenverkehrsbelastungen, da im Modell kein grenzquerender Personenverkehr enthalten ist. Ob der Einbau des grenzquerenden Personenverkehrs diesen Effekt verschwinden lässt, ist ungewiss, aber nicht unwahrscheinlich. Es wäre sinnvoll, dies in einem Nachfolgeprojekt aufzugreifen.

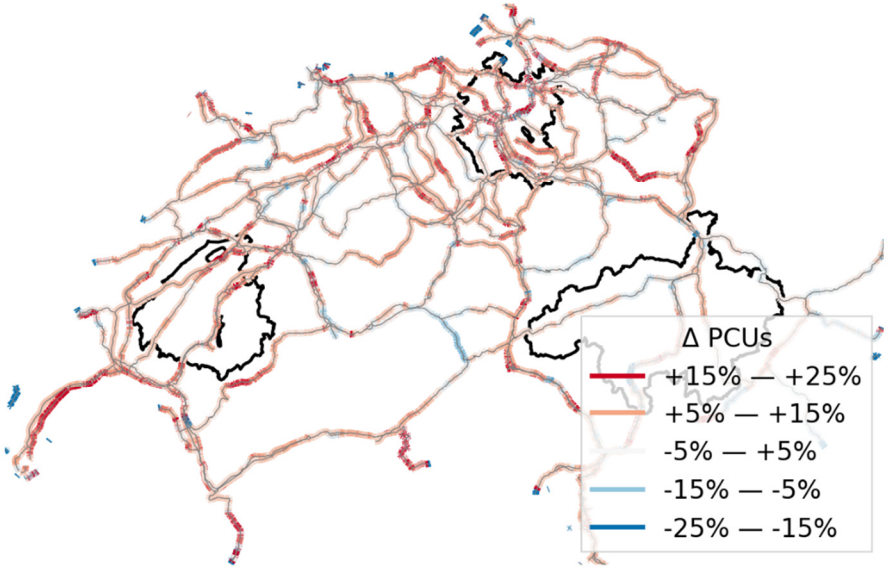


***Abb. 13**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2030*

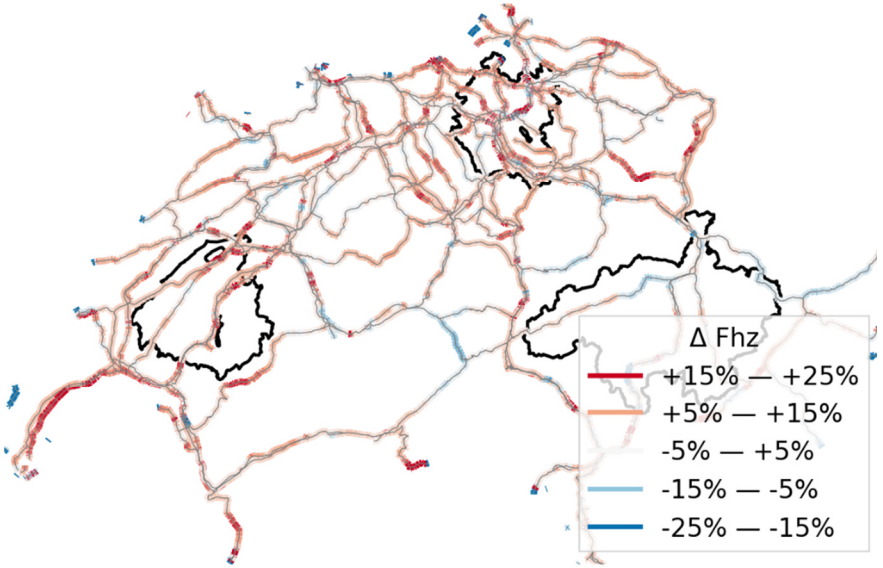


***Abb. 14**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2030*

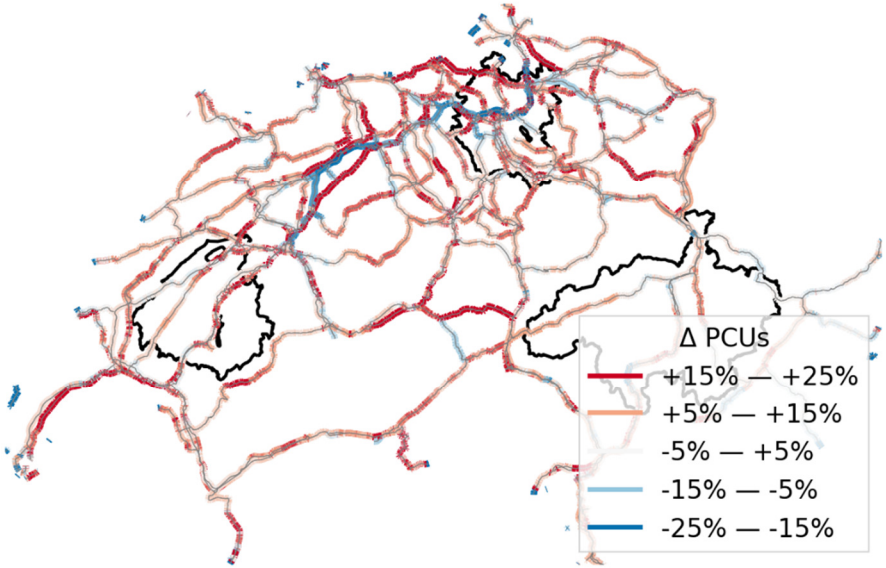


***Abb. 15**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

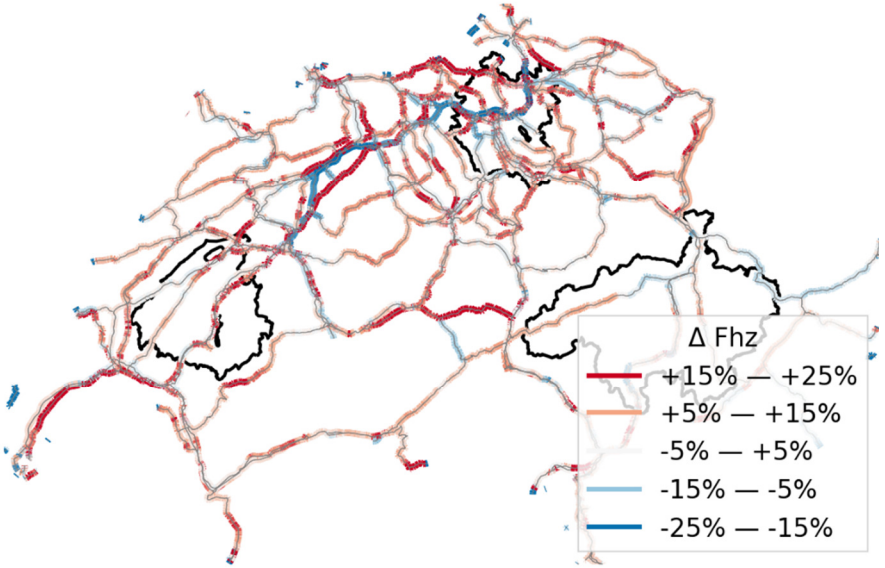


***Abb. 16**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

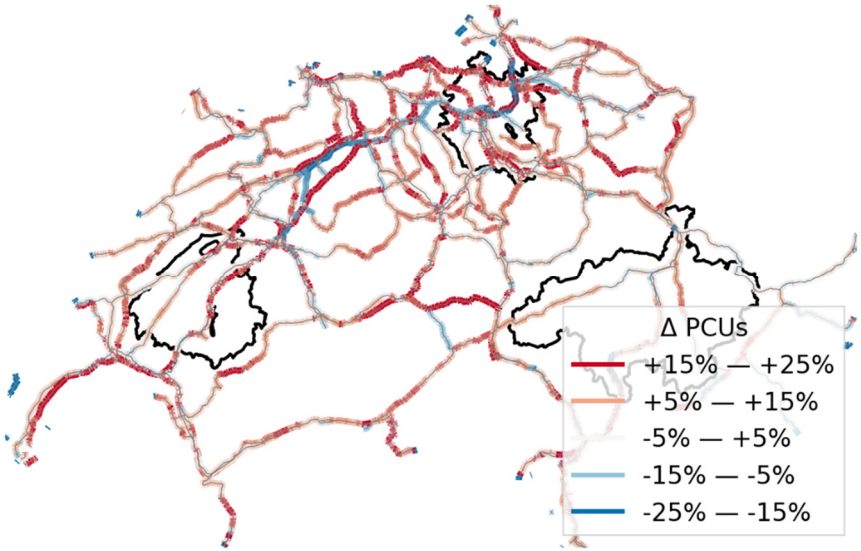


***Abb. 17**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B (nur A-MIV) 2030*

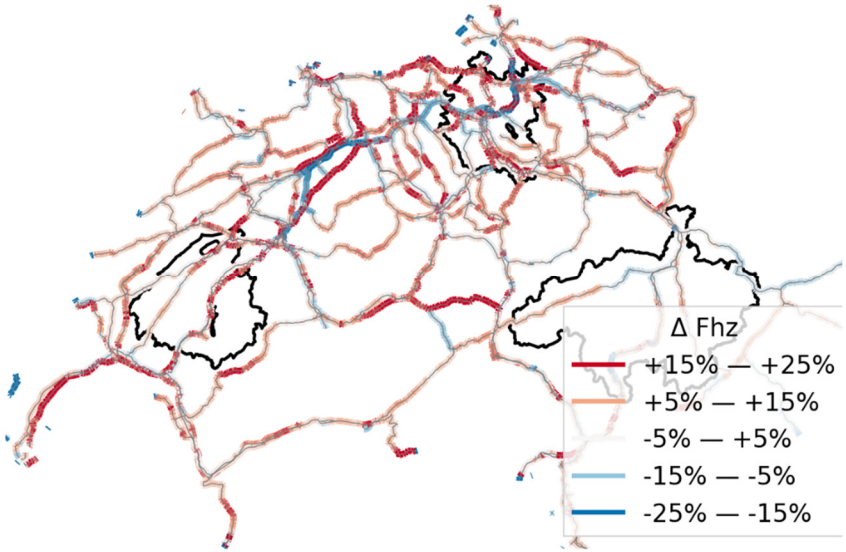


***Abb. 18**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B(nur A-MIV) 2030*

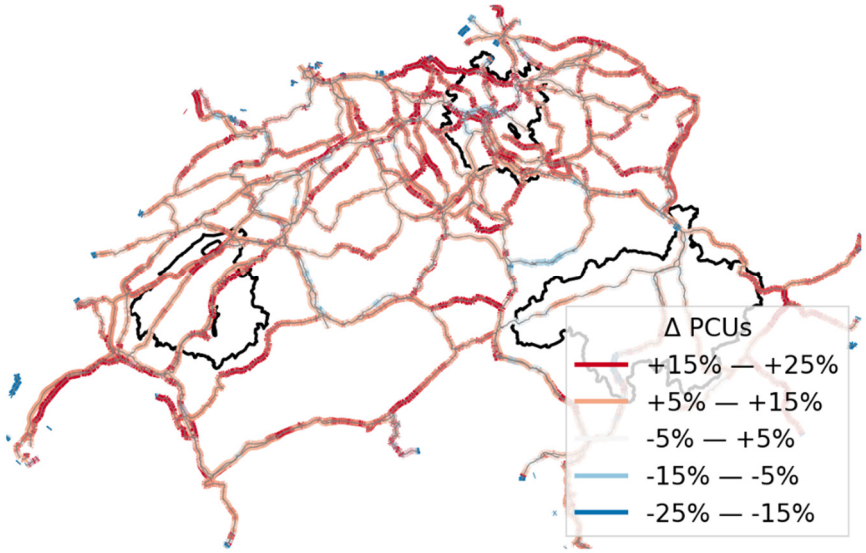


***Abb. 19**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2040*

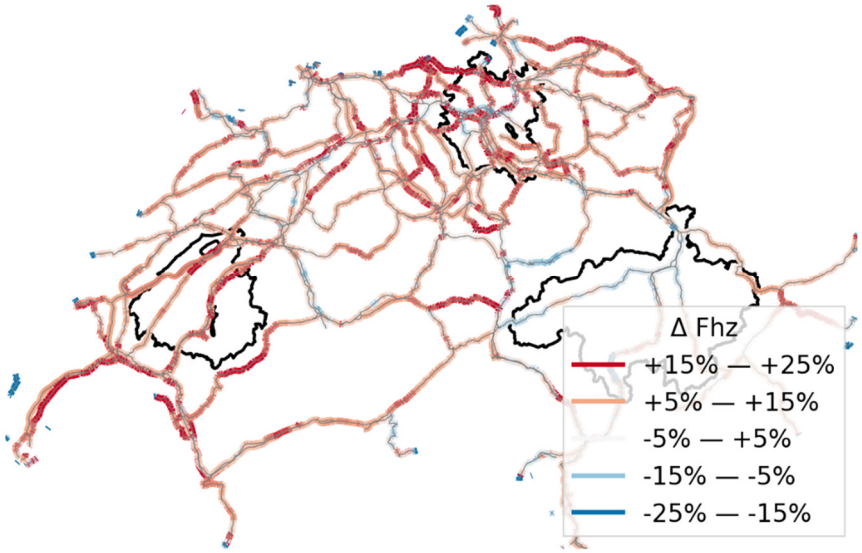


***Abb. 20**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2040*

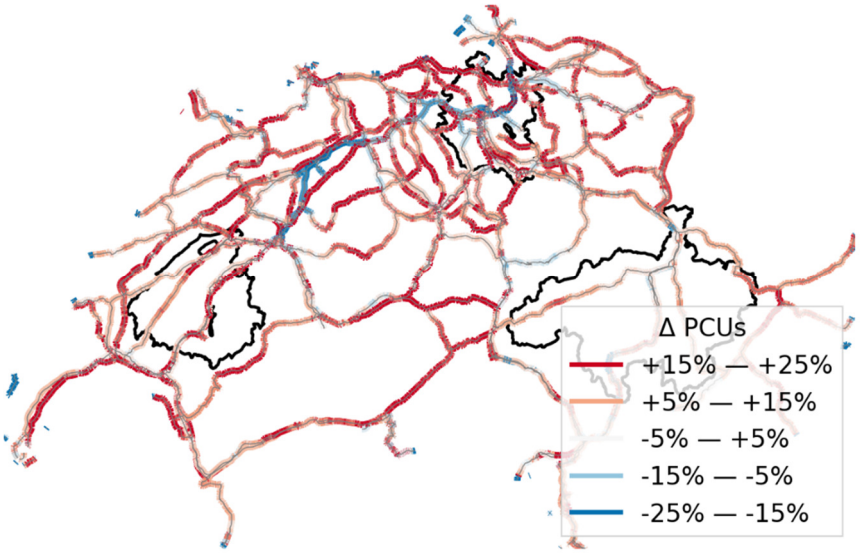


***Abb. 21**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

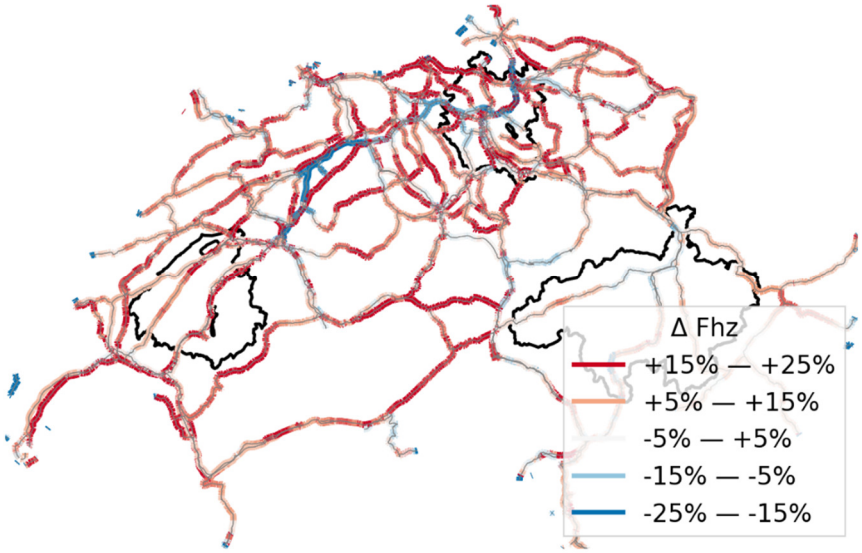


***Abb. 22**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

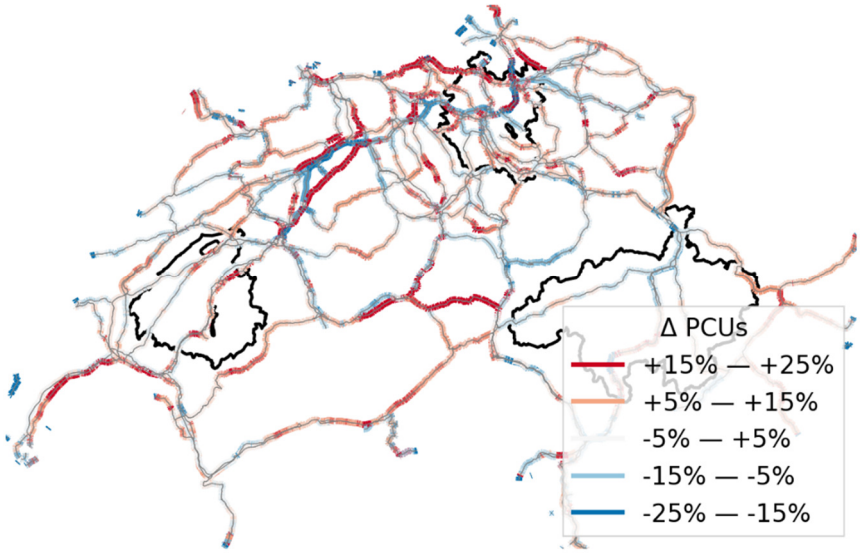


***Abb. 23**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

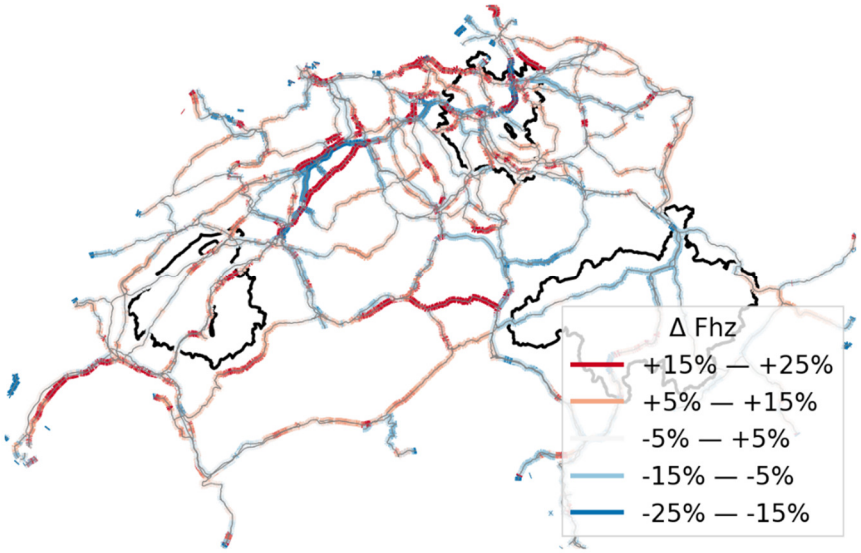


***Abb. 24**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

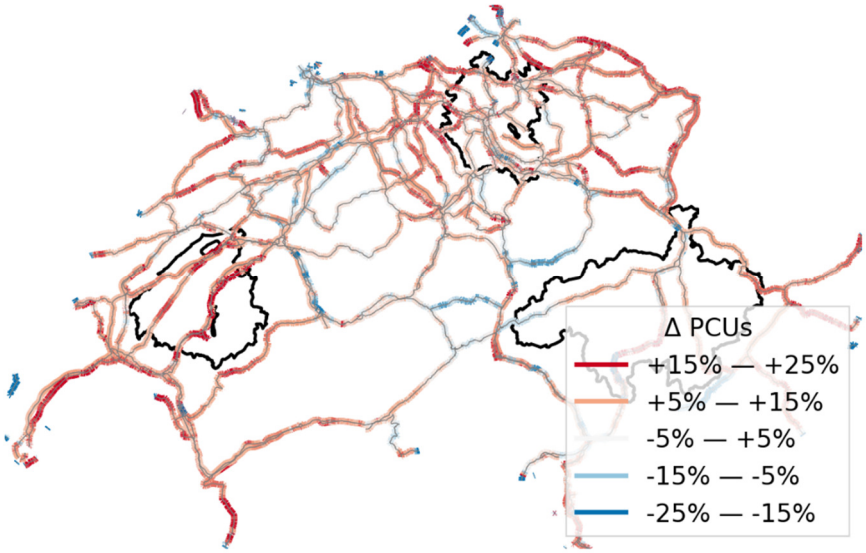


***Abb. 25**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2050*

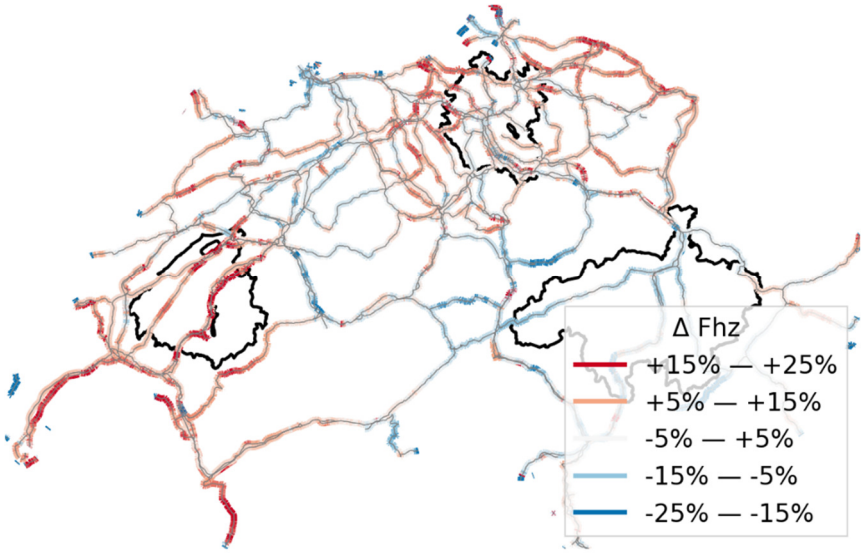


***Abb. 26**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Referenzszenario 2050*

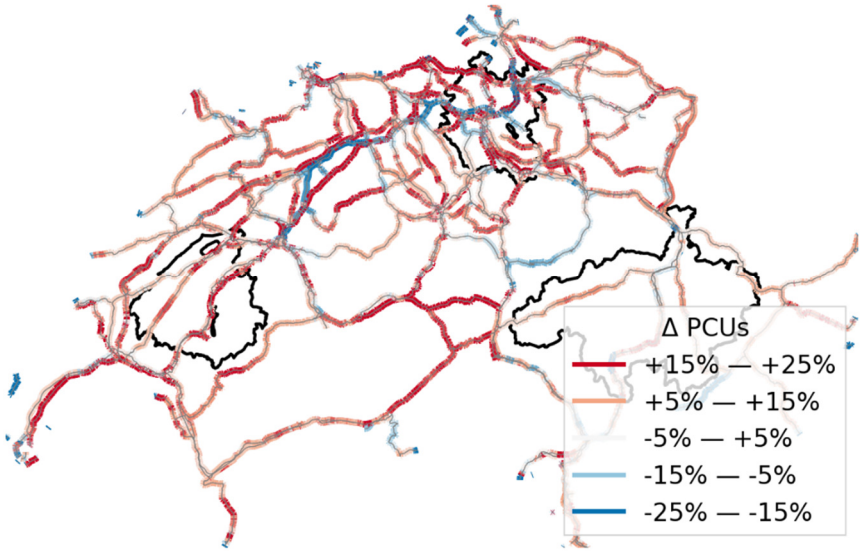


***Abb. 27**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

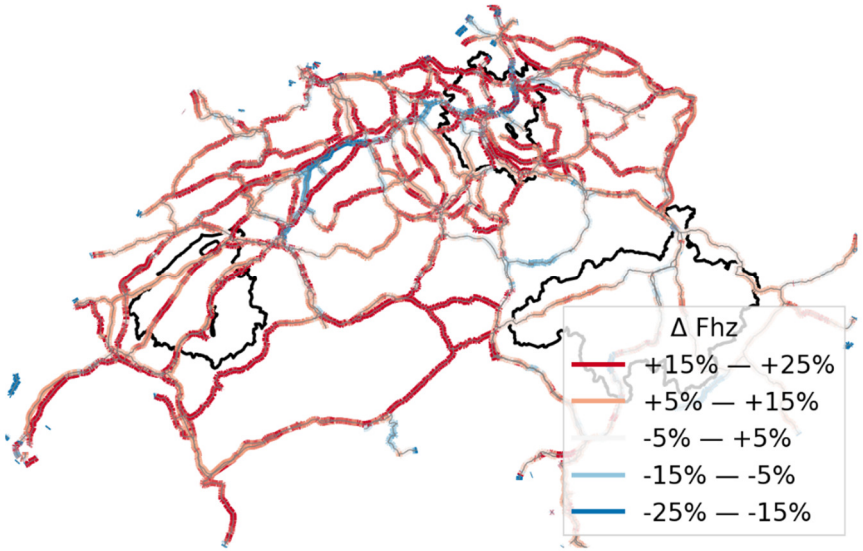


***Abb. 28**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

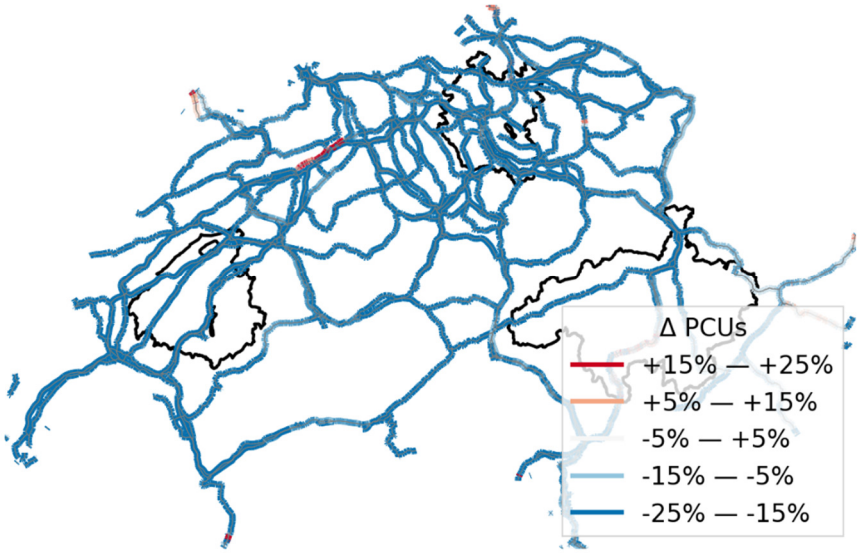


***Abb. 29**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

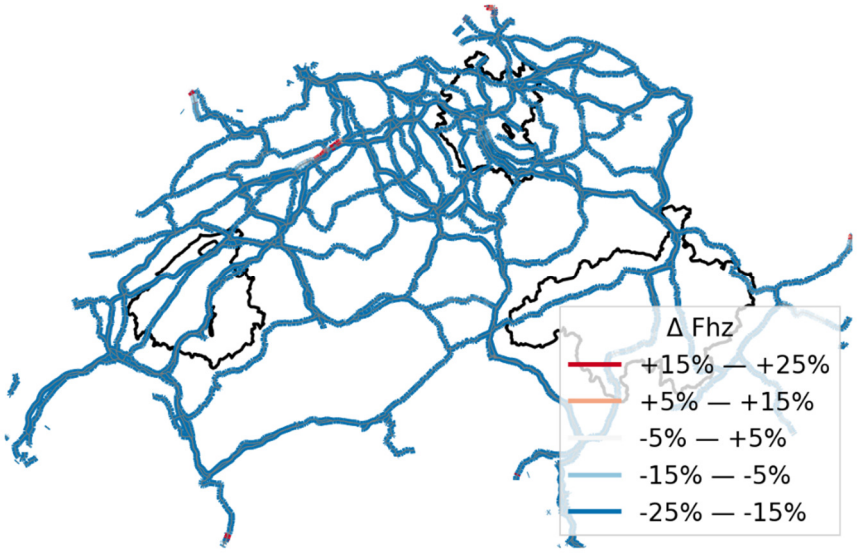


***Abb. 30**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Schweiz: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

In den AV-Szenarien ist der Kontrast zwischen Strecken, die einen Anstieg der PCU/Tag und/oder Fahrzeuge/Tag aufweisen, und solchen, die einen Rückgang aufweisen, stärker ausgeprägt als in den Referenzszenarien. In den AV-Szenarien nehmen die Strecken, die zunehmen, stärker zu und die Strecken, die abnehmen, stärker ab. Darüber hinaus verteilt sich der Verkehr an Orten mit mehreren parallelen Routen und hoher Verkehrsnachfrage entlang des Korridors, der die parallelen Routen enthält, nicht gleichmäßig auf alle Routen, sondern konzentriert sich stattdessen auf nur eine Teilmenge der parallelen Routen. Besonders ausgeprägt ist dieser zweite Effekt auf der A1 und auf Parallelstrassen in Solothurn (A1 in Solothurn >-15%, 2 Parallelstrassen >+15%). Im Szenario B für 2050 ist dieser Effekt durch die erhebliche, flächendeckende Reduktion der Belastungen nicht direkt erkennbar.

Diese zwei Effekte sind zurzeit nicht schlüssig erklärbar. In Bezug auf den zweiten Effekt ist eine Vermutung, dass dieser Effekt teilweise auf ein neu identifiziertes Modellartefakt zurückzuführen ist. Wenn es eine sehr stark belastete Strecke gibt, deren Ausweichmöglichkeiten sehr ähnlich zur Strecke selbst sind, dann ergeben sich über mehrere Iterationen öfters Oszillationen zwischen der Strecke und den Ausweichmöglichkeiten. Die Agenten suchen sich immer die (reisezeitmässig) absolut kürzeste Route aus, unabhängig von der Reisezeitdifferenz zur nächstkürzesten Route. Die Reisezeit einer Route wird aus der vorherigen Iteration übernommen. Wenn die Strecke stark genug belastet ist um Reisezeitverzögerungen zu erzeugen und dadurch die Ausweichstrecke zeitlich kürzer wird, wählen die Agenten nach einer Iteration (etwa 10% der Agenten werden nach jeder Iteration zufällig ausgewählt um Routen- und Verkehrsmittelwahlentscheidungen durchzuführen), die Ausweichmöglichkeit in der nächsten Iteration. Dieses Verhalten ist realistisch und prinzipiell unproblematisch. Jedoch führt dieses Verhalten dazu, dass wenn zu viele Agenten ähnliche Routen fahren müssen, in einer Iteration die Strecke von allen der «wahlberechtigten» Agenten gewählt wird und somit überlastet wird. In der folgenden Iteration wird die Ausweichmöglichkeit von allen «wahlberechtigten» Agenten gewählt und überlastet, aber die Strecke sinkt wieder unter die Überlastungsgrenze. Das führt dazu, dass in der darauffolgenden Iteration wieder die Strecke von allen «wahlberechtigten» Agenten gewählt wird. Es entstehen Oszillationen. Da die Strecken die vermutlich von diesen Oszillationen betroffen sind Grossteils Engpässe der Stufe III sind (vgl. **Abb. 27** und **Abb. 164**), ist es wahrscheinlich, dass die Bedingungen, die zur Oszillationen führen, gegeben sind. Da aus rechentechnischen Gründen gewöhnlich nur für die letzte Iteration von MATSim die kompletten Ergebnisse gespeichert werden, wird in den Ergebnissen nur einer der vermuteten Oszillationszustände gezeigt. Um die Vermutung zu verifizieren wäre es nötig, alle Simulation wieder durchzurechnen, um auch von anderen Iterationen die Ergebnisse speichern zu lassen. Dadurch würde sich die Rechenzeiten wesentlich verlängern. Im Rahmen des Projekts konnte dies aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden. Zudem ist es zurzeit nicht klar, ob ein «Durchschnitt» der Oszillationszustände den Effekt der Oszillationen tatsächlich ausgleicht oder nicht. Die Untersuchung dieser Oszillationen und deren Effekte auf das restliche Modell ist zurzeit ein internes Forschungsthema am IVT (Tchervenkov, Hörl, Balac, Dubernet, & Axhausen, 2020). Zur Zeit der Berichtserfassung lagen noch keine Ergebnisse vor. Nichtdestotrotz beinträchtigen diese Oszillationen die aggregierten Ergebnisse der Simulationen – zum Beispiel die Fahrzeugkilometer, Personenkilometer, Verkehrsmittelwahlanteile – nicht. Es erschwert nur die Interpretation disaggregierter Ergebnisse (einzelne Strecken oder Agenten). Grund dafür ist, dass das Modell hinsichtlich Verkehrsmittelwahlanteile konvergiert und stabil ist (siehe Kapitel 3.4): die Oszillationen die auf Strecken-Ebene stattfinden, ändern diesen Zustand auf der aggregierten Gesamt-Modell-Ebene nicht.

Schlussendlich ist der Effekt dieser bis jetzt beschriebenen Änderungen auf die Funktionsfähigkeit des Netzes interessant. In Kapitel 6 wird dieses im Rahmen einer Engpassanalyse gemacht. Im Folgenden werden grob Änderungen in der durchschnittlichen Reisedistanz, der Geschwindigkeit und der Reisezeit der zurückgelegten Wege (siehe **Abb. 31** bis **Abb. 33**) analysiert.

Die Änderungen der durchschnittlichen Reisedistanz, Geschwindigkeit und Reisezeit pro Weg zwischen den Szenarien im Vergleich zum Grundzustand sind gering (es muss auf die Skala der Abbildungen geachtet werden). Sie geben aber Hinweise für mögliche

Interpretationen. Im Referenzszenario und in den zwei Szenarien bleibt die durchschnittliche Reisedistanz annähernd konstant. Lediglich beim ÖV sinkt die Reisedistanz bis 2050. Beim ÖV sinkt auch in allen drei Fällen die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit im Zeitverlauf leicht. Dies weist darauf hin, dass die Agenten in Zukunft eher den strassengebundenen ÖPNV als den SPV nutzen und ihre längeren Wege – die eher mit dem SPV zurückgelegt werden – in Zukunft mit anderen Verkehrsmitteln zurücklegen. In Szenario A fahren private AF leicht längere Wege als private PW. Dies ist ein Indiz, dass private AF für lange Wege besonders bevorzugt werden, und somit auch den ÖV auf Langstrecken starke Konkurrenz bieten, was angesichts der Zeitkosten und Kilometerkosten der privaten AF durchaus der Fall sein könnte. Es ist empfehlenswert, diese mögliche Wirkung in zukünftigen Projekten näher zu untersuchen. Dass Wege mit privaten AF geringfügig langsamer als Wege mit konventionellen PW sind, könnte daran liegen, dass private AF verhältnismässig mehr auf Strassen mit hohen Auslastungen fahren, weil die Reisezeitverluste angesichts der niedrigeren Zeitkosten nicht so stark wahrgenommen werden. Bezüglich des LV fällt auf, dass in Szenario B die Reisedistanzen und die Reisegeschwindigkeiten des LV steigen: Vermutlich weichen Agenten bevorzugt auf das Fahrrad aus, wenn ihnen ein privater PW nicht mehr zur Verfügung steht. Siehe Kapitel 5.1.3 bis 5.1.5 inwiefern die automatisierten Taxis diese Tendenz beeinflussen. In Szenario B steigt auch die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit des MIV deutlich, welches auf den sinkenden Belastungen der Strassen zurückzuführen ist. Jedoch steigt trotzdem die durchschnittliche Reisezeit aller Wege in B aufgrund der Wegeverlagerung zum ÖV und LV. Siehe Kapitel 5.1.3 bis 5.1.5 inwiefern die automatisierten Taxis diese Tendenz beeinflussen.

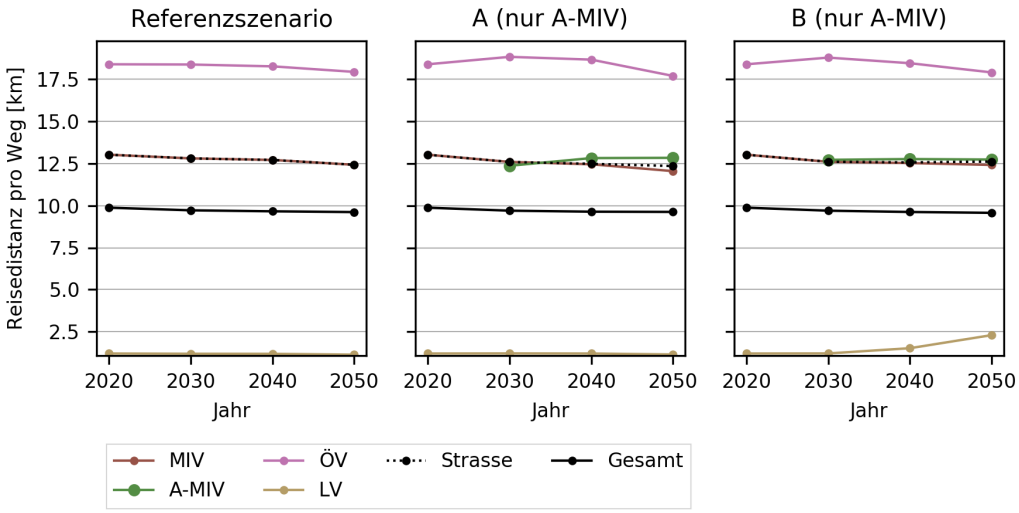


***Abb. 31**: Durchschnittliche Reisedistanz pro Weg in der Schweiz nach Jahr und Szenario (ohne automatisierte Taxis)*

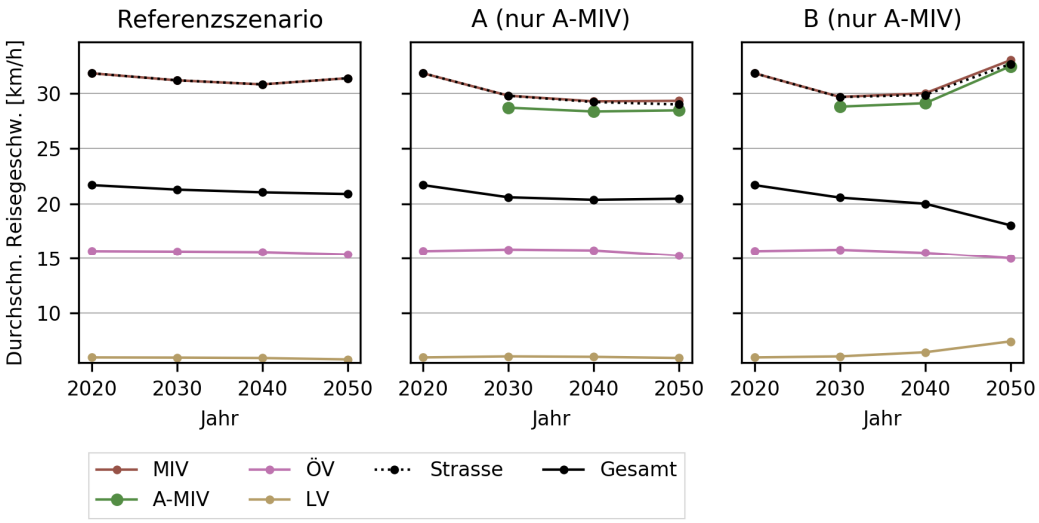


***Abb. 32**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg in der Schweiz nach Jahr und Szenario (ohne automatisierte Taxis)*

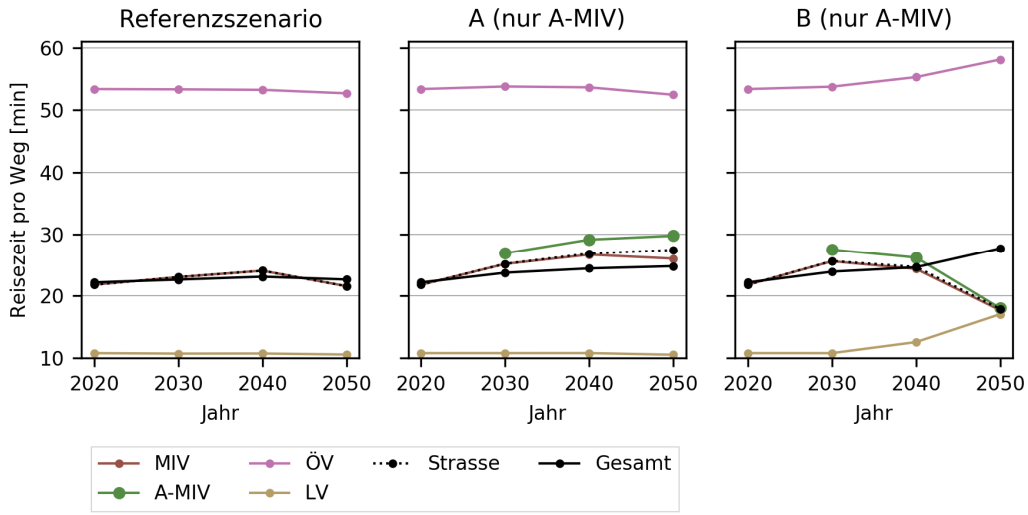


***Abb. 33**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs-, Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg in der Schweiz nach Jahr und Szenario (ohne automatisierte Taxis)*

5.1.3 Teilgebiet Stadt / Agglomeration

Für die Region SA ist deutlich: automatisiertes Fahren bedeutet Mehrverkehr auf den Strassen, auch ohne Leerfahrten der privaten AF, neue Wege, Zielwahl- oder Wohnortsänderungen. Die Verfügbarkeit von privaten AF und automatisierten Taxis verlagern Pkm von anderen Verkehrsmitteln auf den gesMIV. Diese Verlagerung lässt die gesMIV-Pkm stärker gegenüber 2020 steigen als sie im Referenzszenario steigen, egal ob es ein Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes gibt (Szenario B mit automatisierten Taxis) oder nicht (Szenario A mit automatisierten Taxis und Szenario A mit nur privaten AF). In Zahlen gefasst: im Grundszenario 2020 liegen die gesMIV-Pkm bei etwa 16,8 Mio. Pkm. Im Referenzszenario 2050 liegen die gesMIV-Pkm bei etwa 17.3 Mio. Pkm. In Szenario A 2050 steigen mit den privaten AF die gesMIV-Pkm auf 20.1 Mio. Pkm. Mit den zusätzlichen automatisierten Taxis erfolgt eine weitere Steigerung auf circa 22.4 Mio. Pkm. In Szenario

B 2050 sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz privater AF die gesMIV-Pkm auf circa 12.8 Mio. Pkm, jedoch mit den automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Pkm rasant auf circa 20.4 Mio. Pkm: Die automatisierten Taxis kompensieren den Effekt des Rückgangs des Privatfahrzeugbesitzes und lassen gegenüber dem Referenzszenario die gesMIV-Pkm sogar steigen.

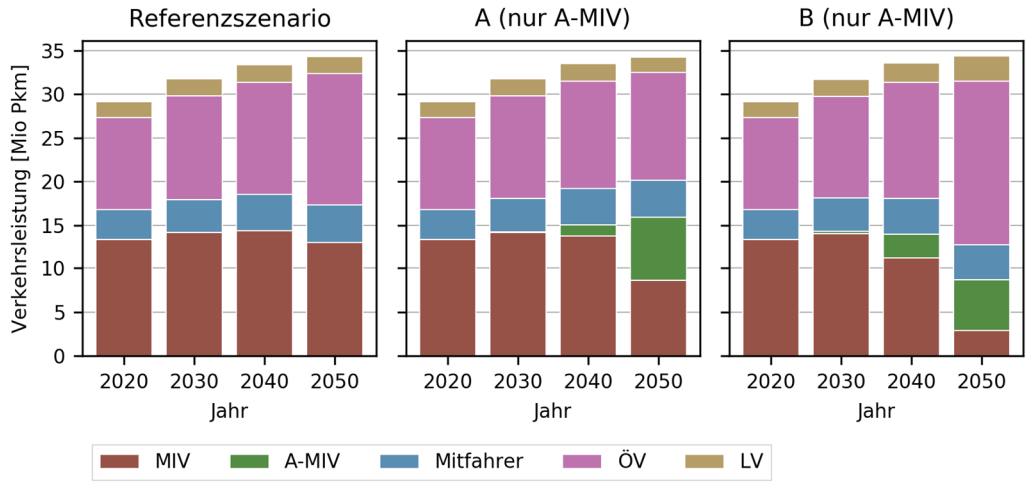


***Abb. 34**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

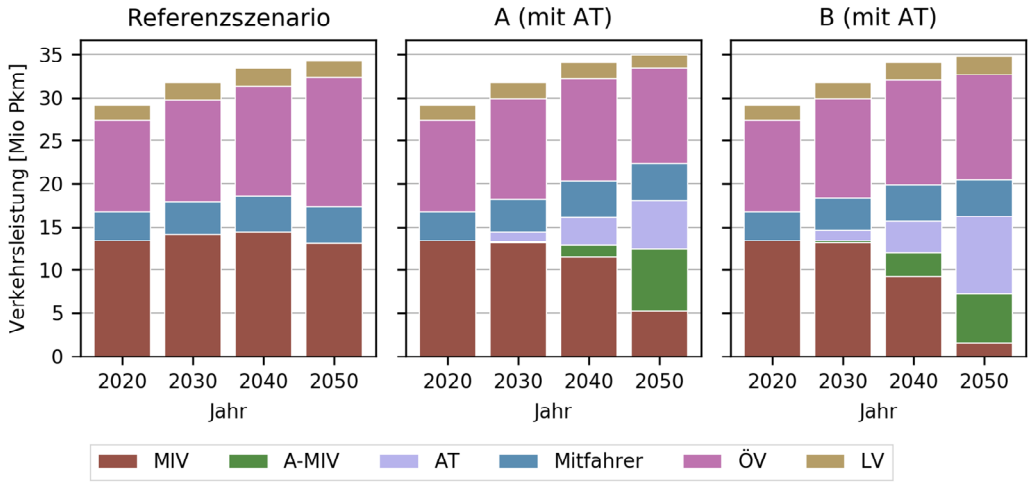


***Abb. 35**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

Für die Fahrzeugkilometer auf den Strassen zeigen sich analoge Ergebnisse, wobei das Wachstum noch etwas stärker ist: Private AF und automatisierten Taxis bewirken eine Zunahme der Fahrleistungen, unabhängig vom Privatfahrzeugbesitz. In Zahlen gefasst: im Referenzszenario 2050 liegen die gesMIV-Fzg-km bei etwa 13.1 Mio. Fzg-km. In Szenario A 2050 steigen mit privaten AF die gesMIV-Fzg-km auf 15.9 Mio. Fzg-km und mit den automatisierten Taxis steigen diese weiter auf circa 19.2 Mio. Fzg-km. Davon sind circa 1.0 Mio. Fzg-km Leerfahrten von automatisierten Taxis. In Szenario B 2050 sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz privater AF die gesMIV-Fzg-km auf circa 8.7 Mio. Fzg-km, jedoch mit den zusätzlichen automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Fzg-km rasant auf circa 17.6 Mio. Fzg-km, davon sind circa 1.2 Mio. Fzg-km Leerfahrten von

automatisierten Taxis. Wie auch für die Pkm: die automatisierten Taxis kompensieren den Fahrleistungsreduktion aufgrund des geringeren Privatfahrzeugbesitzes und lassen gegenüber dem Referenzszenario die auf den Strassen zurückgelegten Fzg-km sogar steigen. Jedoch steigen die auf den Strassen zurückgelegten Fzg-km weniger stark mit einem Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes (Szenario B mit automatisierten Taxis) als ohne (Szenario A mit automatisierten Taxis).

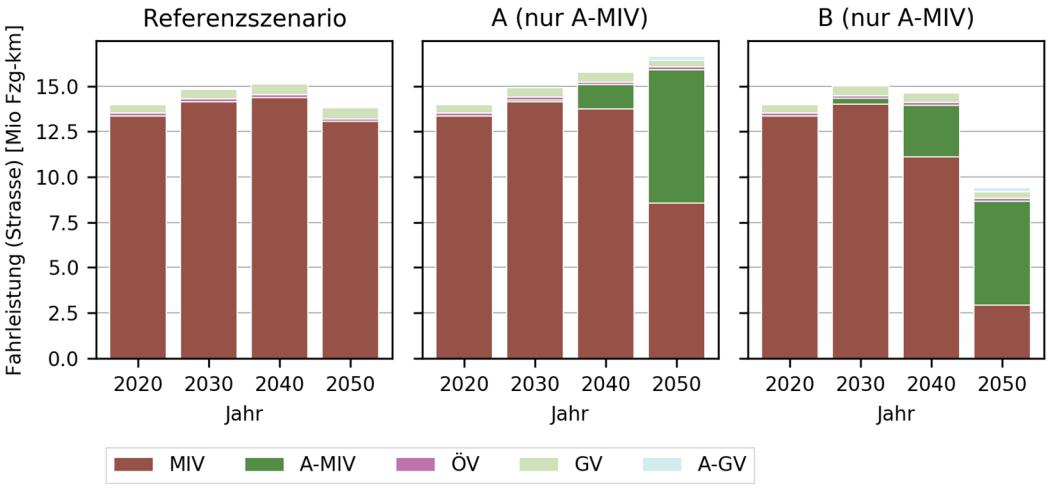


***Abb. 36**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

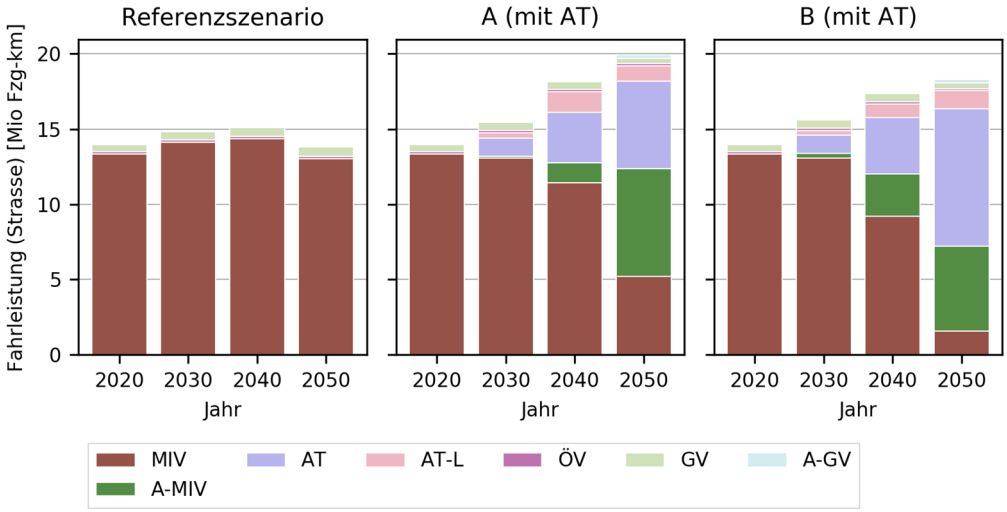


***Abb. 37**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

Die Verkehrsmittelverteilung der Wege unterscheidet sich etwas von den der Personenkilometer, wie in **Tab. 47** und **Tab. 48** zu sehen ist. Der Anteil des gesMIV geht im Referenzszenario bis 2040 langsam zurück, wonach er deutlich schneller sinkt – obwohl die gesMIV Pkm und Fzg.-km bis 2040 steigen und erst dann sinken. In Szenario A (ohne automatisierten Taxis) sinkt der Anteil vom gesMIV sehr leicht in 2030 und danach steigt es bis es in 2050 merkbar über dem Niveau von 2020 liegt: die Pkm und Fzg.-km hingegen, steigen kontinuierlich. In Szenario A (mit automatisierten Taxis) steigt der Anteil vom gesMIV langsam bis 2040, wonach das Wachstum deutlich beschleunigt: die Pkm und Fzg.-km hingegen, steigen stetiger. In Szenario B (mit automatisierten Taxis) steigt der

Anteil vom gesMIV sehr leicht in 2030, stagniert in 2040, und sinkt auf knapp unter das Niveau von 2020 in 2050: die Pkm und Fzg.-km, hingegen, steigen langsam aber stetig.

***Tab. 47**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region "SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	32.2	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
Referenzszenario	2030	31.3	0.0	9.0	21.2	38.5	31.3	40.3
Referenzszenario	2040	30.4	0.0	9.2	21.7	38.7	30.4	39.6
Referenzszenario	2050	27.3	0.0	9.3	25.2	38.1	27.3	36.6
A (nur A-MIV)	2020	32.2	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
A (nur A-MIV)	2030	31.1	0.2	9.0	21.1	38.6	31.4	40.4
A (nur A-MIV)	2040	28.9	2.9	9.2	20.9	38.1	31.8	41.0
A (nur A-MIV)	2050	18.2	15.9	9.3	21.1	35.6	34.0	43.3
B (nur A-MIV)	2020	32.2	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
B (nur A-MIV)	2030	31.0	0.8	9.0	20.8	38.4	31.8	40.8
B (nur A-MIV)	2040	23.4	6.3	9.2	22.2	38.9	29.7	38.9
B (nur A-MIV)	2050	6.0	12.8	9.3	30.3	41.6	18.8	28.1

***Tab. 48**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region "SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
Referenzszenario	2030	31.3	0.0	0.0	9.0	21.2	38.5	31.3	40.3
Referenzszenario	2040	30.4	0.0	0.0	9.2	21.7	38.7	30.4	39.6
Referenzszenario	2050	27.3	0.0	0.0	9.3	25.2	38.1	27.3	36.6
A (mit AT)	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
A (mit AT)	2030	28.4	0.2	3.4	9.0	20.7	38.2	32.0	41.1
A (mit AT)	2040	24.1	2.9	5.9	9.2	20.2	37.7	32.9	42.1
A (mit AT)	2050	11.6	15.2	10.1	9.3	19.1	34.7	36.9	46.2
B (mit AT)	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
B (mit AT)	2030	28.3	0.8	3.3	9.0	20.5	38.2	32.4	41.4
B (mit AT)	2040	19.3	6.1	6.8	9.2	20.4	38.2	32.2	41.4
B (mit AT)	2050	3.4	12.1	15.8	9.3	21.3	38.2	31.2	40.5

Wie in die nationalen Szenarien, ist es offensichtlich, dass die meisten Nutzer der privaten AF ehemalige konventionelle PW-Nutzer sind (vgl. **Abb. 38**). Aber in der Region SA werden deutlich mehr Fahrten vom ÖV und LV auf das private AF verlagert als in den nationalen Szenarien. PW-Besitzer mit Führerschein fahren mehr mit ihrem PW wenn er automatisiert ist, als wenn sie selber lenken müssen – besonders in der Region SA. Ein wesentlicher Grund dafür ist höchstwahrscheinlich, dass im Referenzszenario in der Region SA einfach verhältnismässig mehr Wege mit dem ÖV und LV zurückgelegt werden als auf nationale Ebene. Somit gibt es mehr verlagerbare ÖV und LV Wege. Damit sind die Wirkungen in der Region SA im Vergleich zu den anderen Regionen besonders stark: Es gibt viele Fahrten, die mit dem MIV zurückgelegt werden könnten, aber z.B. aufgrund von Überlastungen bei Eigenlenkern nicht durchgeführt werden, sondern der ÖV und LV genutzt wird. Wenn dann mit dem AF die Zeitkosten des gesMIV sinken, werden diese Reisezeitverlängerungen nicht so stark wahrgenommen, und das gesMIV gewinnt an Attraktivität.

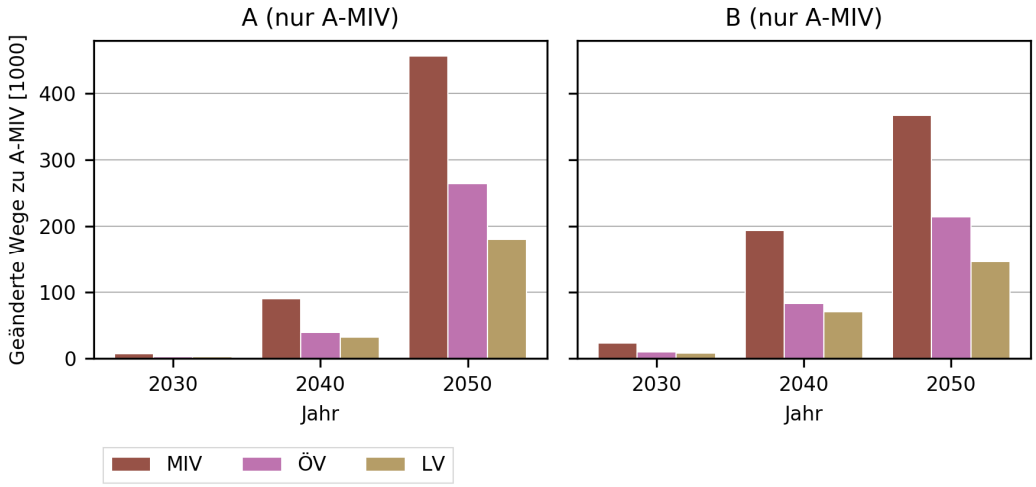


***Abb. 38**: Wegeverlagerung von MIV, ÖV, und LV auf A-MIV zwischen AF-Szenarien A und B und die entsprechenden Referenzszenarien nach Jahr, ohne automatisierte Taxis, Region «SA»*

Wenn die entsprechenden Wege der Szenarien A (ohne automatisierten Taxis) und Szenario B (ohne automatisierten Taxis) mit den gleichen Wegen in jeweils Szenario A (mit automatisierten Taxis) und Szenario B (mit automatisierten Taxis) verglichen werden, wird deutlich, dass die automatisierten Taxis von alle anderen Verkehrsmitteln Wege auf sich verlagern. Dieses ist sinnvoll, da sie für alle Agenten zur Verfügung stehen. Die meisten Wege kommen vom ÖV, die zweitmeisten von konventionellen Privatfahrzeugen, ausser in Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050, wo der LV an zweiter Stelle steht. Dass automatisierte Taxis dem ÖV und den konventionellen Privatfahrzeugen die stärkste Konkurrenz bietet, ist nachvollziehbar: die Streckenlängen sind ähnlich und oberhalb der Mindestfahrdistanz von 1 km die für Fahrten mit automatisierten Taxis festgelegt wurde. Bezüglich des ÖV kommt dazu, dass die automatisierten Taxis Vorteile bieten, wie kein Umsteigen und kürzere Zu- und Abgangswege ans Ziel. Gegenüber dem konventionellen Privatfahrzeug bieten die automatisierten Taxis die Möglichkeit, die Zeit anders als mit der Fahrtätigkeit zu nutzen (was sich im Modell als niedrigere Zeitkosten ausdrückt), und die Möglichkeit zur Bildung von multi-modalen Wegeketten, welche einen höheren Nutzen als mono-modale Wegeketten mit dem Privatfahrzeug aufweisen können. Die Bildung multimodaler Wegeketten ist der einzige wesentliche Vorteil, den die automatisierten Taxis – wenn nur tägliche Entscheidungen betrachtet werden – gegenüber den privaten AF haben. Entsprechend klein ist die Verlagerung von privaten AF auf automatisierte Taxis. Ob dieses Verhältnis sich ändern würde, wenn die privaten AF leer fahren könnten und

somit auch multi-modale Wegeketten für ihre Fahrer ermöglichen würden, ist offen, da die Leerfahrten der privaten AF ihre Besitzer auch etwas kosten würden.

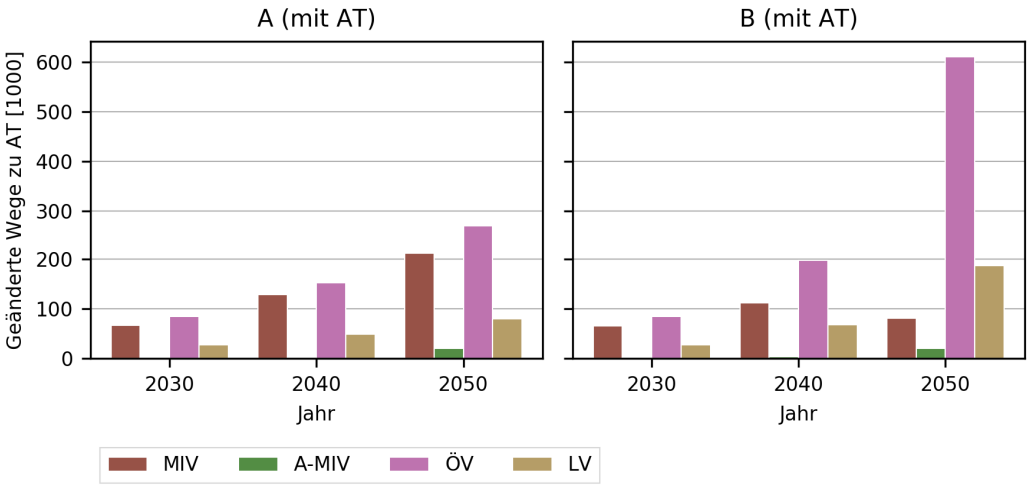


***Abb. 39**: Wegeverlagerung von MIV, A-MIV, ÖV, und LV auf AT zwischen AF-Szenarien A und B mit automatisierten Taxis und die entsprechenden Szenarien ohne automatisierten Taxis nach Jahr, Region «SA»*

Räumliche Belastungsänderungen im HLS Netz

Wie sich diese Verkehrsmittelwahl-Entscheidungen auf die Verkehrsbelastungen der Hochleistungsstrassen auswirken, ist in den folgenden Abbildungen (**Abb. 40** in bis **Abb. 70**) dargestellt. Dabei werden die Belastung sowohl in PCU als auch in Fahrzeugen dargestellt. Bezüglich Kapazität und Auslastung sind die PCU-Werte relevant. Die Belastungsänderungen in Fahrzeugen werden aufgeführt, um die Auswirkungen der AF-Durchdringungsraten erkennbar zu machen. Das Thema Auslastung wird in Kapitel 6 behandelt.

In den Abbildungen zeigt sich das Wachstum der Fahrzeugkilometer. In 2030 ist deutlich zu sehen, dass die automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020 mehr Fahrzeuge auf die HLS der Stadt Zürich bringen als im Referenzszenario und im Szenario A und B ohne automatisierten Taxis, aber das die PCUs nicht wesentlich steigen. Wie erwartet, beeinflussen die automatisierten Taxis in 2030 die Agglomeration nicht, da sie nur in der Stadt fahren durften.

In 2040 ist die Belastungszunahme gegenüber 2020 stärker in Szenario A (ohne automatisierten Taxis) als in dem Referenzszenario in Fahrzeugen und auch in PCU auf den HLS der Agglomeration aber nicht in der Stadt. Die zusätzliche Freischaltung von automatisierten Taxis verstärkt die Belastungszunahme in Fahrzeugen flächendenkend, aber verstärkt jedoch die Belastungszunahme der PCUs nur in der Agglomeration und nicht in der Stadt. In Szenario B (ohne automatisierten Taxis) ist die Belastungszunahme in Fahrzeugen und PCU flächendeckend schwächer als im Referenzszenario, teils findet eine Belastungsabnahme statt. In Szenario B (mit automatisierten Taxis), hingegen, ist die Belastungszunahme in Fahrzeugen ähnlich stark wie in Szenario A (mit automatisierten Taxis) und ähnlich flächendeckend, und wieder gibt es in der Agglomeration eine starke Belastungszunahme in PCU, aber in der Stadt stagniert die Belastung in PCU oder geht leicht zurück.

In 2050 gibt es im Referenzszenario gegenüber 2020 flächendeckend keine bedeutenden Veränderungen der Belastungen in Fahrzeugen, teilweise sogar eine Abnahme in Fahrzeugen. Allerdings gibt es eine flächendeckende leichte Belastungszunahme in PCU. Dieses ist - wie auch auf nationale Ebene - wahrscheinlich auf die relative Zunahme des schweren Güterverkehrs zurückzuführen (siehe **Tab. 134**). Jedoch ist insbesondere in der

Region SA fraglich, ob dieser Effekt mit der Hinzufügung von grenzquerenden Personenverkehr und Touristenverkehr verschwinden würde oder nicht. In Szenario A (ohne automatisierte Taxis) ist gibt es gegenüber 2020 eine starke Belastungszunahme in Fahrzeugen und PCU in der Agglomeration, jedoch ist in der Stadt die Belastungszunahme in PCU und Fahrzeugen schwächer bis rückgängig. In Szenario A (mit automatisierten Taxis) gibt es gegenüber 2020 eine flächendeckende, sehr starke Belastungszunahme in Fahrzeugen – auch in der Stadt – jedoch beschränkt sich die starke Belastungszunahme in PCU auf die Agglomeration, und ist erkennbar kleiner in der Stadt. Auf manchen HLS der Stadt gibt es sogar eine Belastungsabnahme. In Szenario B (ohne automatisierten Taxis) gibt es gegenüber 2020 eine flächendeckende, starke Belastungsabnahme in Fahrzeugen und PCU. In Szenario B (mit automatisierten Taxis) hingegen, gibt es eine flächendeckende, sehr starke Belastungszunahme in Fahrzeugen, aber eine flächendeckende, moderate Belastungsabnahme in PCU.

Zusammengefasst: Private AF alleine führen in der Agglomeration zu einer Belastungszunahme in Fahrzeugen und PCU. Die Belastungszunahme in PCU ist im Vergleich zu der Belastungszunahme der Fahrzeuge etwas geringer. Wahrscheinlich geschieht dies nicht in der Stadt selber aufgrund des niedrigeren Privatfahrzeugbesitzes. Automatisierte Taxis beschleunigen den Durchdringungsgrad von AF im Strassenverkehr und erhöhen die Belastung in Fahrzeugen. Dieses ist besonders bemerkbar in der Stadt, wo es jedoch zu einer Belastungstagnation oder –Abnahme in PCU kommt. In der Agglomeration hingegen, ist der Privatfahrzeugbesitz deutlich höher als in der Stadt. Das führt dazu, dass selbst die automatisierten Taxis den Durchdringungsgrad nicht genügend erhöhen können um eine gleiche Belastungen oder einen Rückgang in PCU bis 2050 zu erzeugen. Automatisierte Taxis führen überall zu einer Belastungszunahme in Fahrzeugen. Wenn auch der Privatfahrzeugbesitz zurückgeht, ist die Durchdringung der AF so hoch, dass es flächendeckend mit automatisierten Taxis zwar starke Belastungszunahmen in Fahrzeugen gibt, aber leichte bis starke Belastungsabnahmen in PCU.

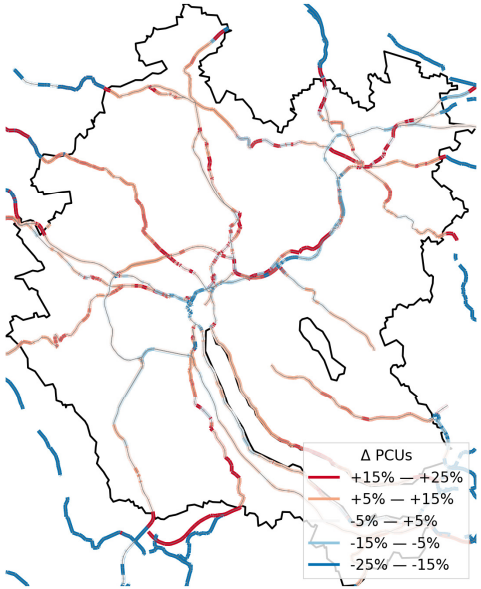


***Abb. 40**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2030*

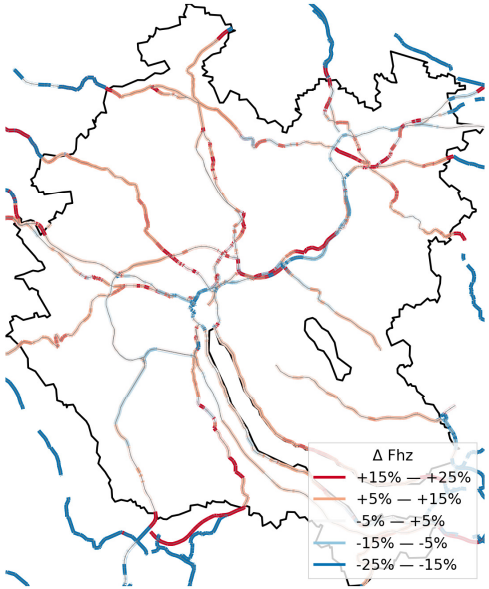


***Abb. 41**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2030*

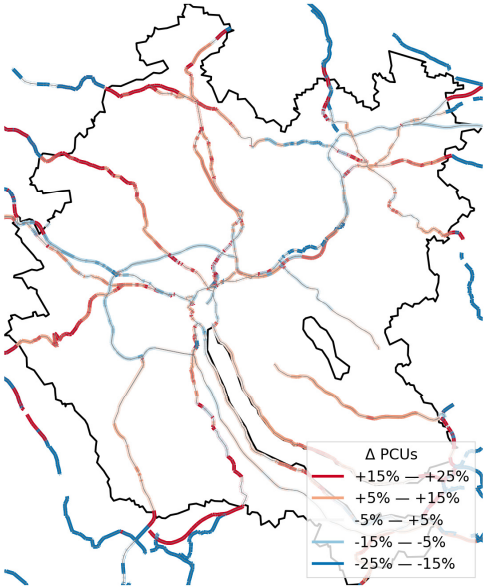


***Abb. 42**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

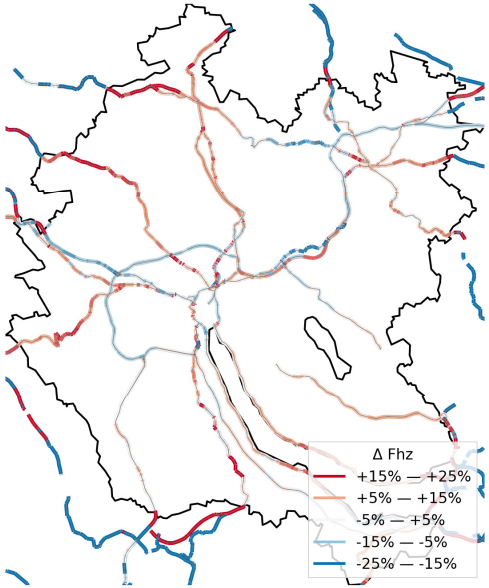


***Abb. 43**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

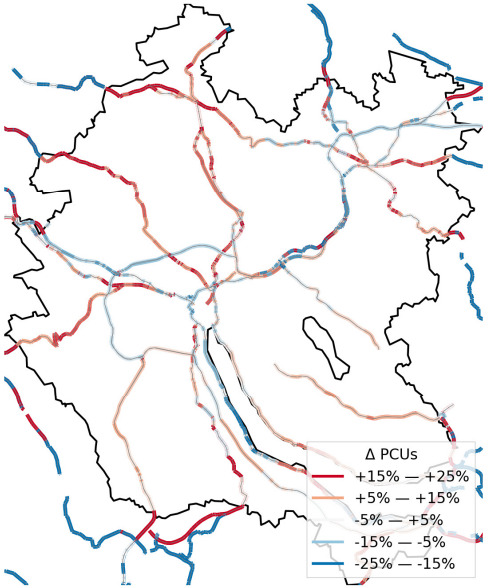


***Abb. 44**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

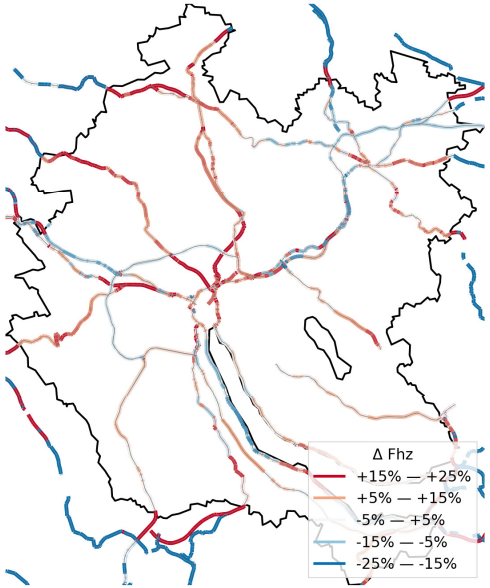


***Abb. 45**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

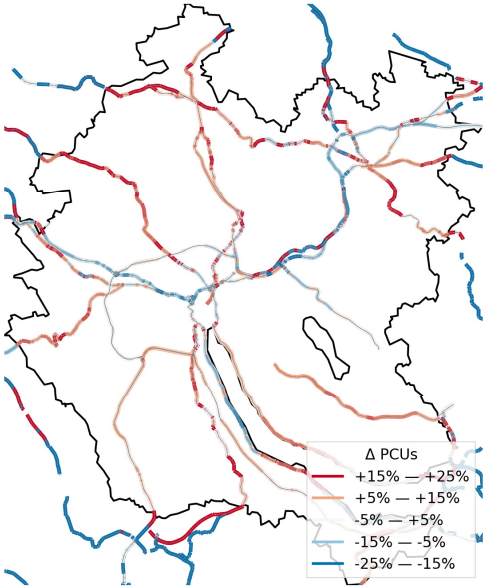


***Abb. 46**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (nur A-MIV) 2030*

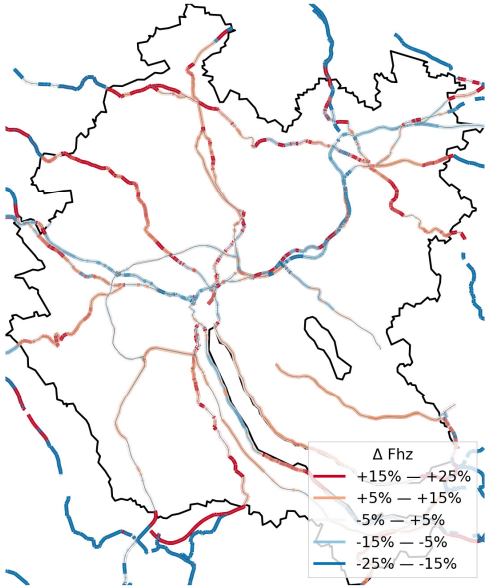


***Abb. 47**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B(nur A-MIV) 2030*

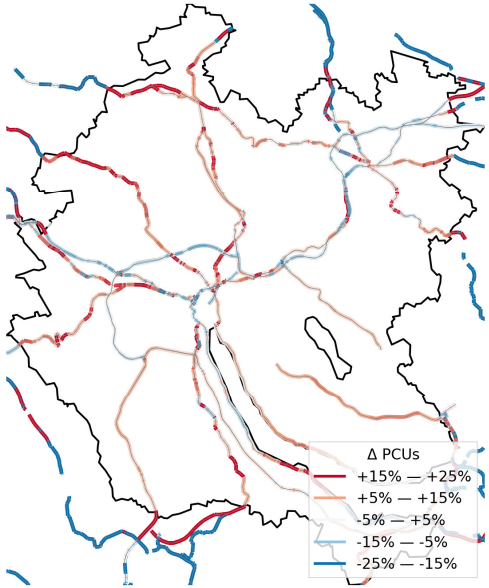


***Abb. 48**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

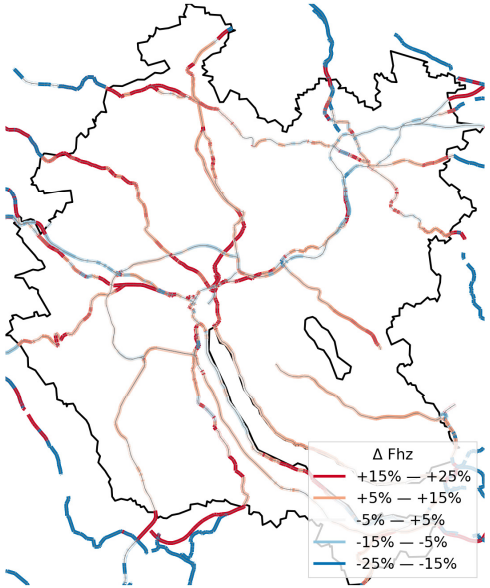


***Abb. 49**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

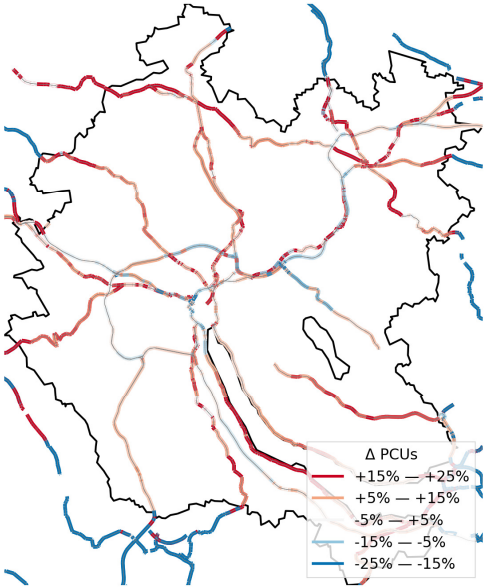


***Abb. 50**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2040*

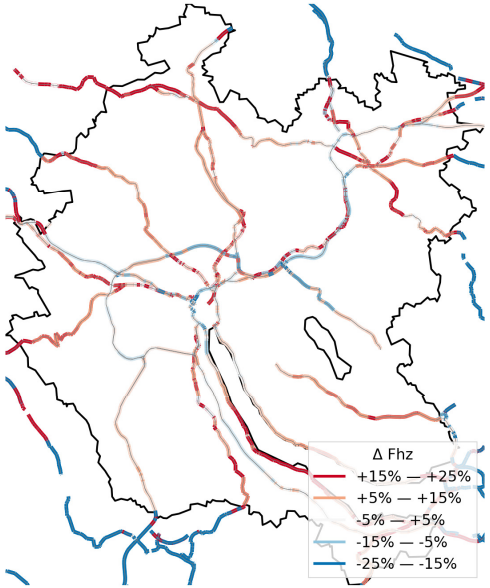


***Abb. 51**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2040*

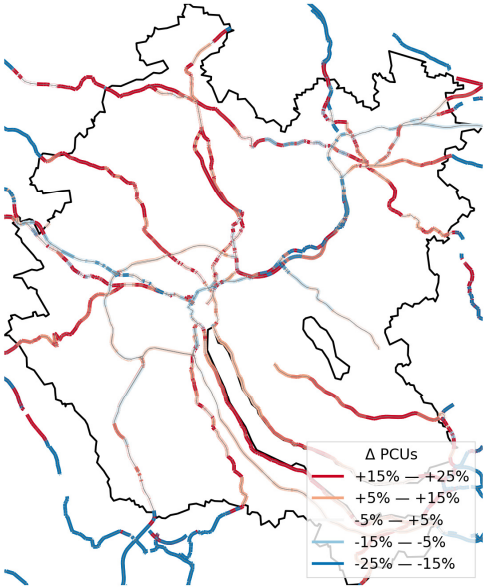


***Abb. 52**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

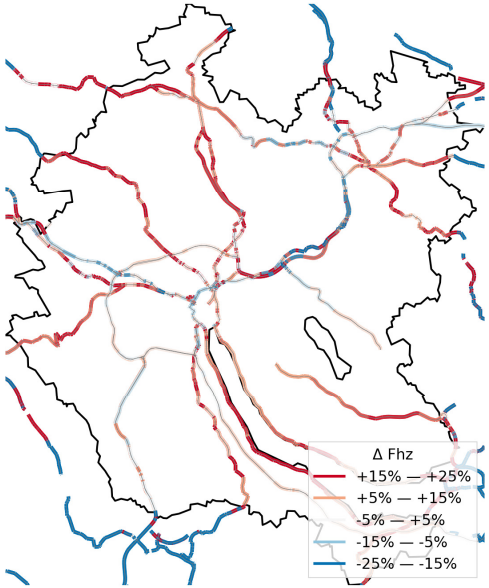


***Abb. 53**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

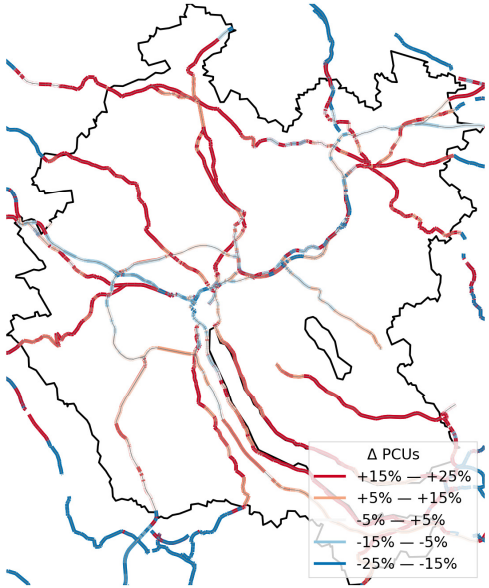


***Abb. 54**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2040*

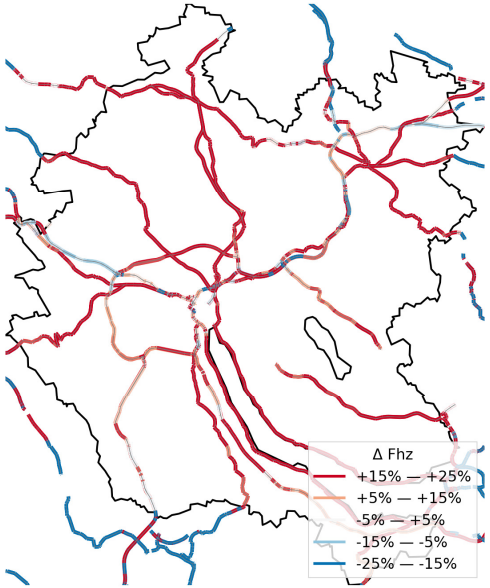


***Abb. 55**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur automatisierte Taxis) 2040*

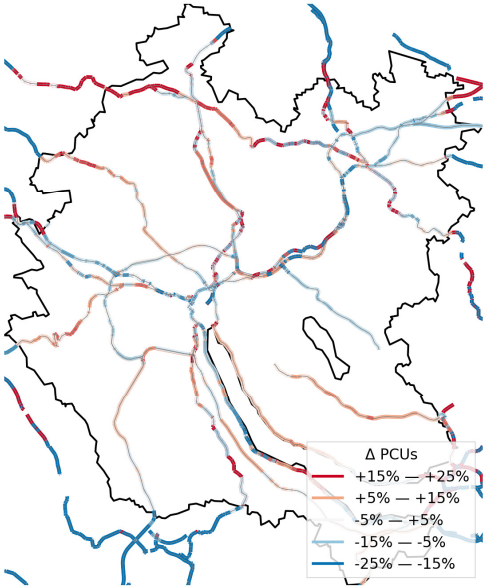


***Abb. 56**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

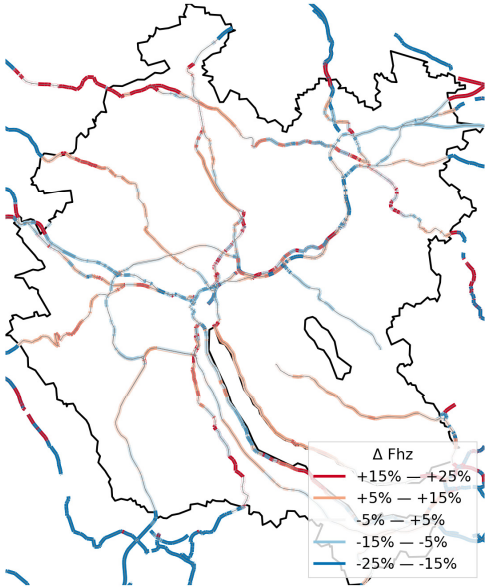


***Abb. 57**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

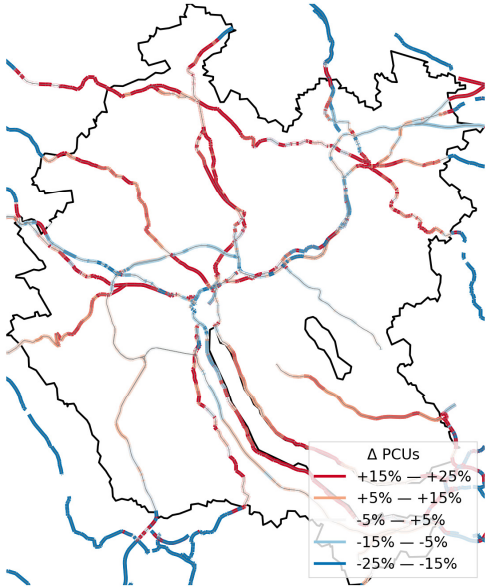


***Abb. 58**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

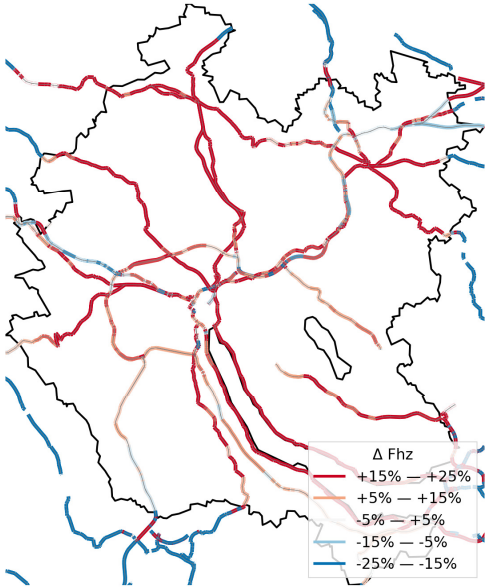


***Abb. 59**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

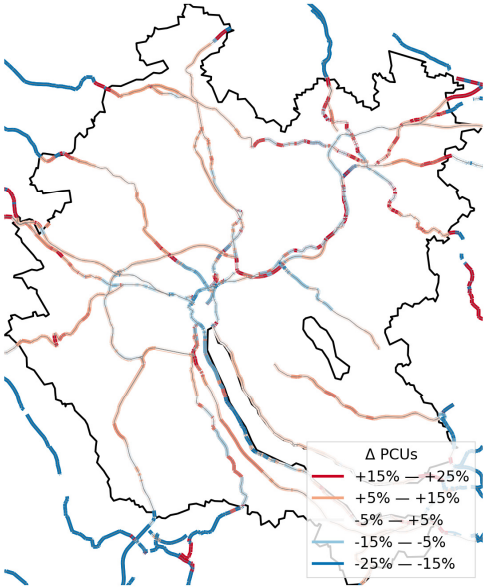


***Abb. 60**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2050*

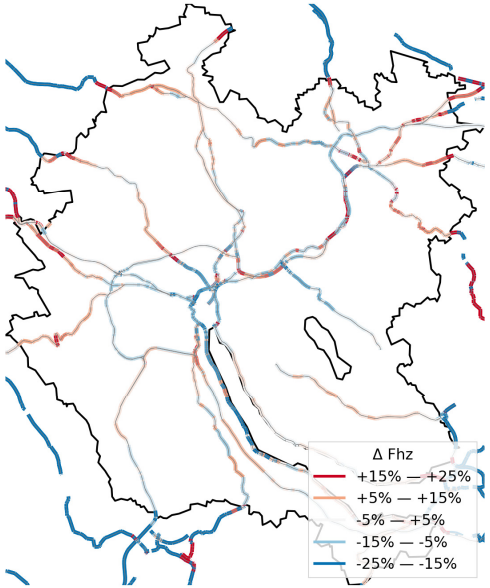


***Abb. 61**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Referenzszenario 2050*

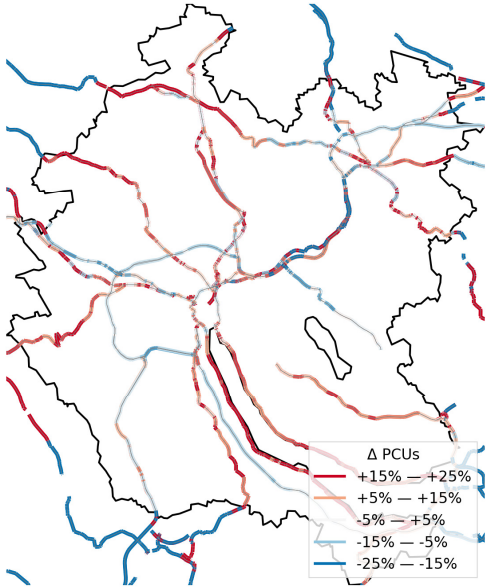


***Abb. 62**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

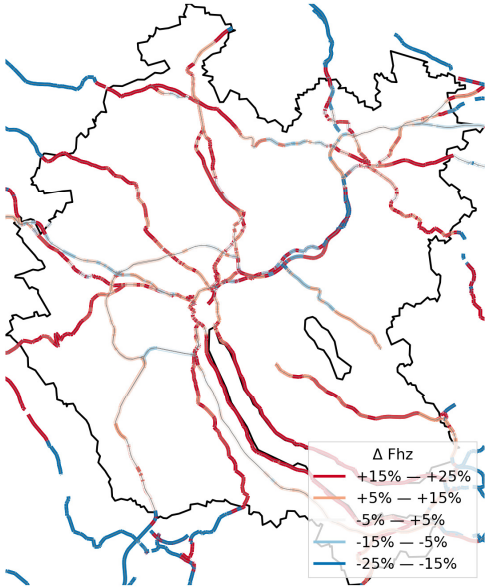


***Abb. 63**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

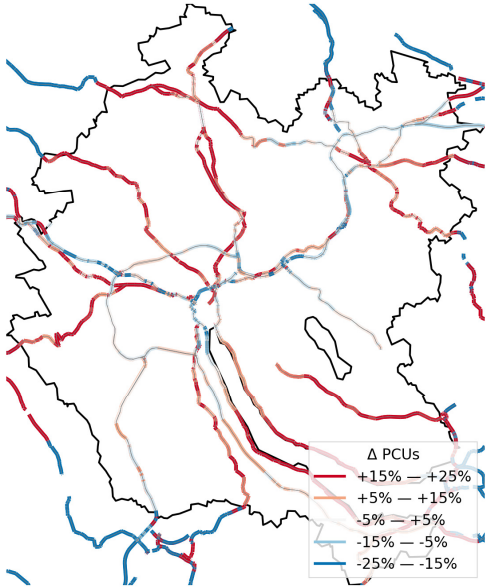


***Abb. 64**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

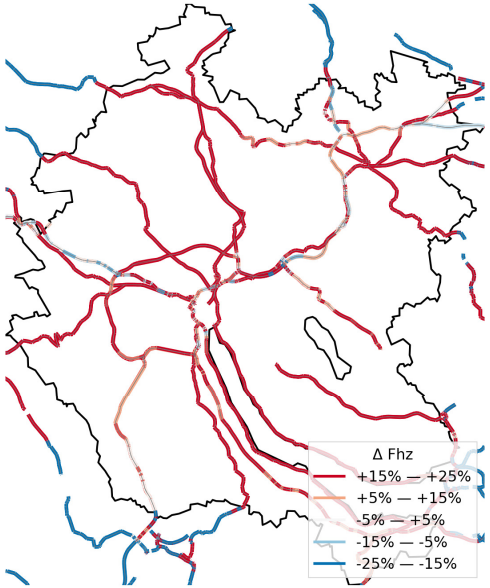


***Abb. 65**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

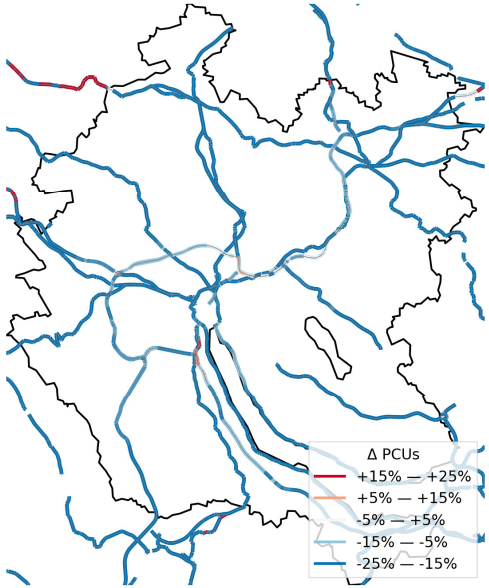


***Abb. 66**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

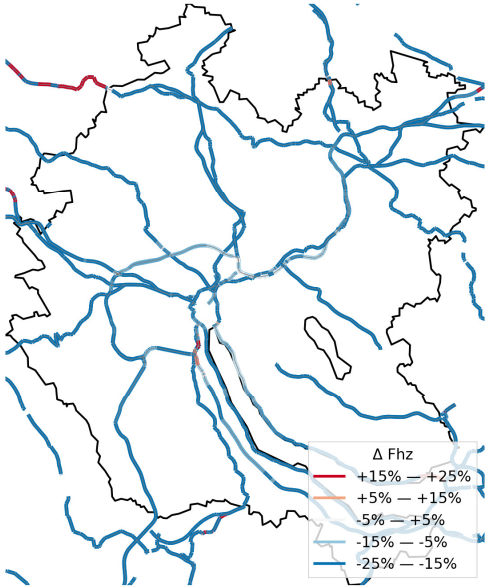


***Abb. 67**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

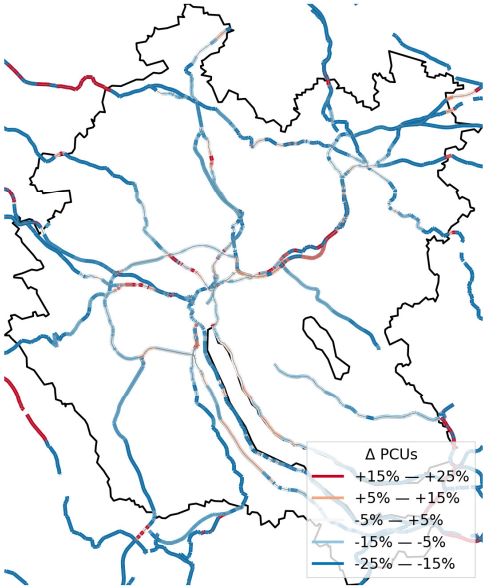


***Abb. 68**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

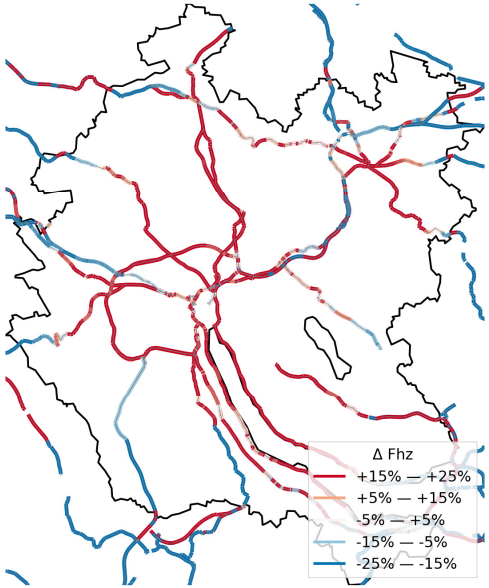


***Abb. 69**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «SA»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

Die Änderungen der durchschnittlichen Reisedistanz, Geschwindigkeit und Reisezeit pro Weg zwischen den Szenarien im Vergleich zum Grundzustand sind gering (es muss auf die Skala der Abbildungen geachtet werden). Sie geben aber Hinweise für mögliche Interpretationen.

Im Referenzszenario und in den zwei Szenarien bleibt die durchschnittliche Reisedistanz annähernd konstant. Unterschiede ergeben sich bei der Betrachtung der einzelnen Verkehrsmittel. Anders als auf nationaler Ebene, ist die durchschnittliche Reisedistanz der Wege der privaten AF in den Szenarien A (ohne automatisierte Taxis) und B (ohne automatisierte Taxis) leicht kürzer als für konventionelle Fahrzeuge. Jedoch kehrt sich dieses wieder um mit den zusätzlichen automatisierten Taxis. In den Szenarien A (mit automatisierten Taxis) und B (mit automatisierten Taxis) wird die durchschnittliche Reisedistanz für Wege des AF deutlich länger: die durchschnittliche Reisedistanz der automatisierten Taxis nähert oder gleicht die durchschnittliche Reisedistanz des ÖVs aus. Dies ist ein weiterer Hinweis dafür, das AF den ÖV besonders auf längere Strecken (>10km) starke Konkurrenz bieten könnte. Dieses mögliche Phänomen sollte näher untersucht werden, da es für das gesamte Verkehrssystem – Schiene und Strasse – grosse Auswirkungen haben könnte.

In den Szenarien mit automatisierten Taxis ist in den durchschnittlichen Reisegeschwindigkeiten des AF zu sehen, das AF langsamer unterwegs sind als konventionelle Fahrzeuge. Dieses könnte ein Hinweis sein, dass sie verhältnismässig mehr auf Strassen mit hohen Auslastungen fahren, weil die Reisezeitverluste angesichts der niedrigeren Zeitkosten nicht so stark wahrgenommen werden. Die These, das AF eher kürzere Wege fahren und dadurch eher auf untergeordneten Strassen fahren, wird durch die höhere Reisedistanz widerlegt. Um diese zwei möglichen Erklärungen endgültig zu verifizieren, würde es einer tieferen Analyse benötigen, wofür im Rahmen dieses Projektes die Zeit nicht ausreicht.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit auf der Strasse, führt die Einführung von AF zu einer Verlangsamung gegenüber dem Referenzszenario wie auch gegenüber dem Grundszenario 2020. Jedoch ist dies in Szenario B (mit automatisierten Taxis) auf der langsamen durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit der automatisierten Taxis zurückzuführen: die private AF und konventionelle Fahrzeuge werden deutlich schneller. Die durchschnittliche Reisezeit steigt in Szenario A gegenüber dem Referenzszenario. In Szenario B sinkt sie.

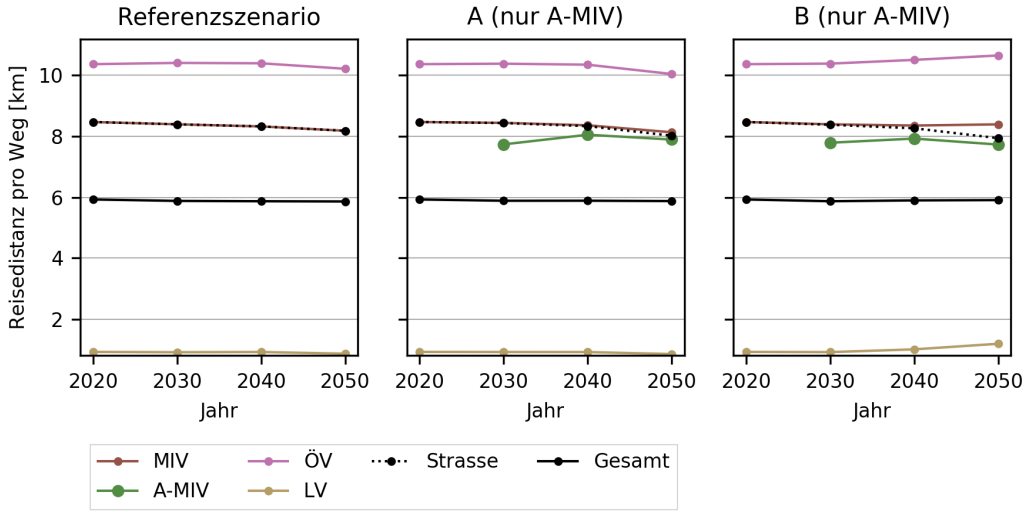


***Abb. 70**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

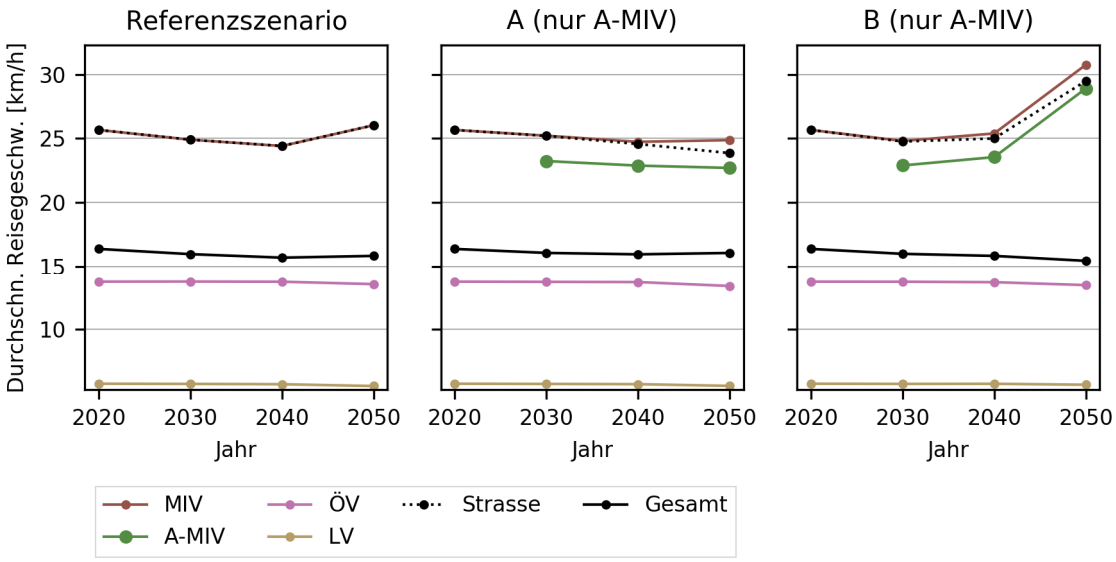


***Abb. 71**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

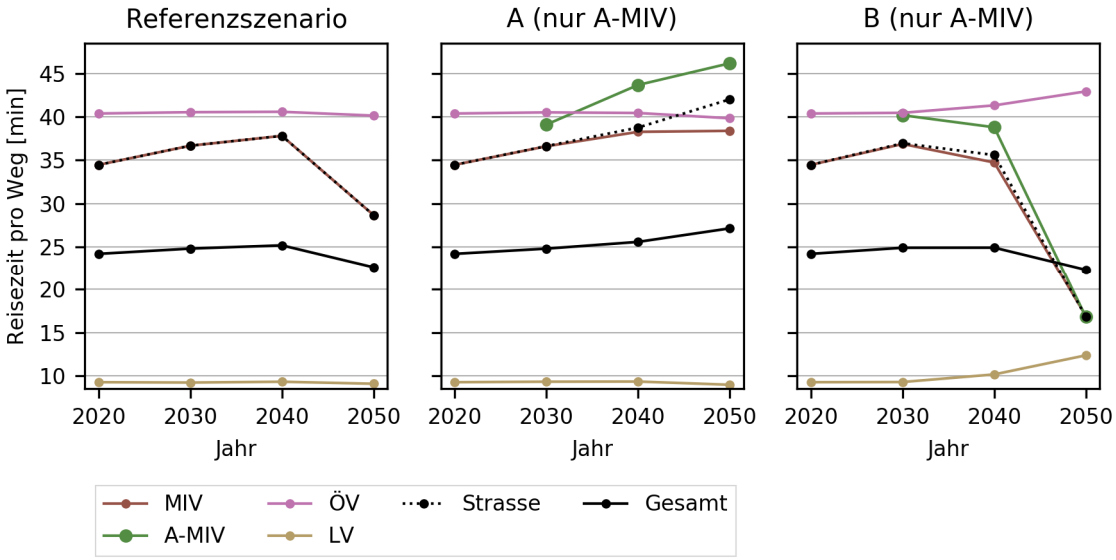


***Abb. 72**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), ohne automatisierte Taxis*

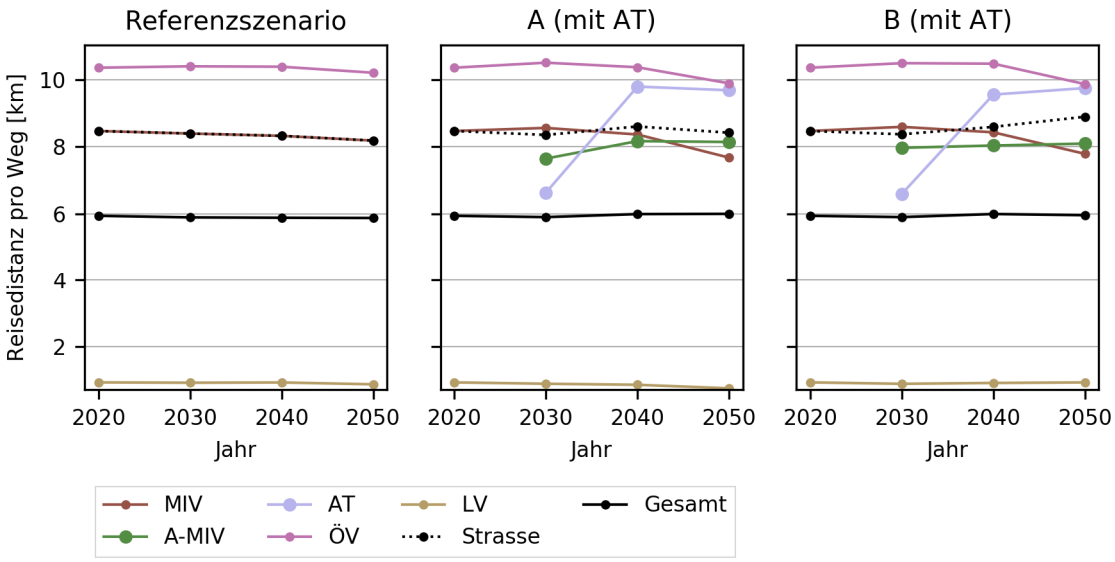


***Abb. 73**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

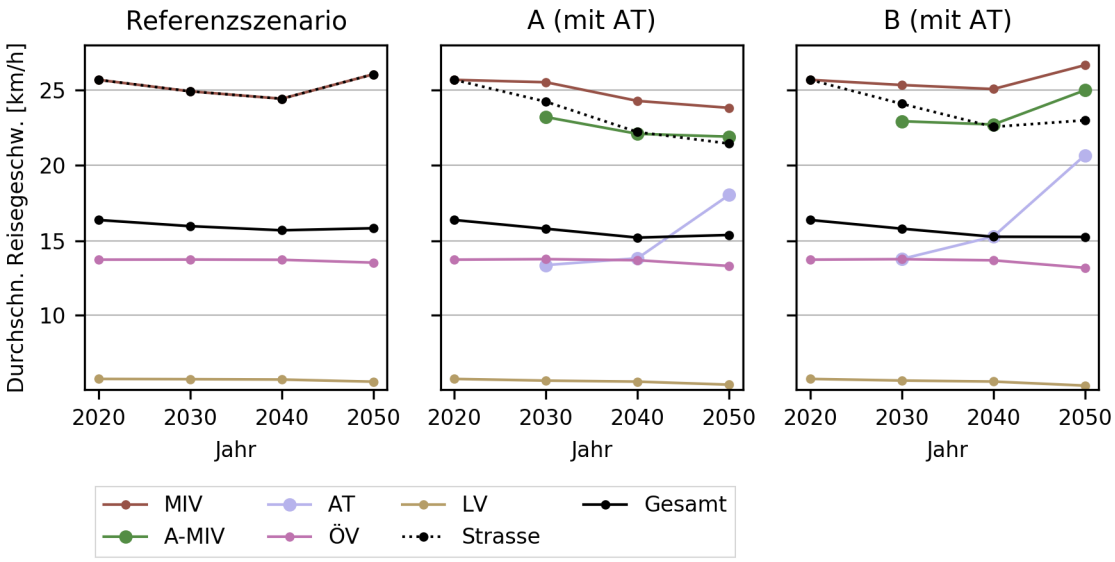


***Abb. 74**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

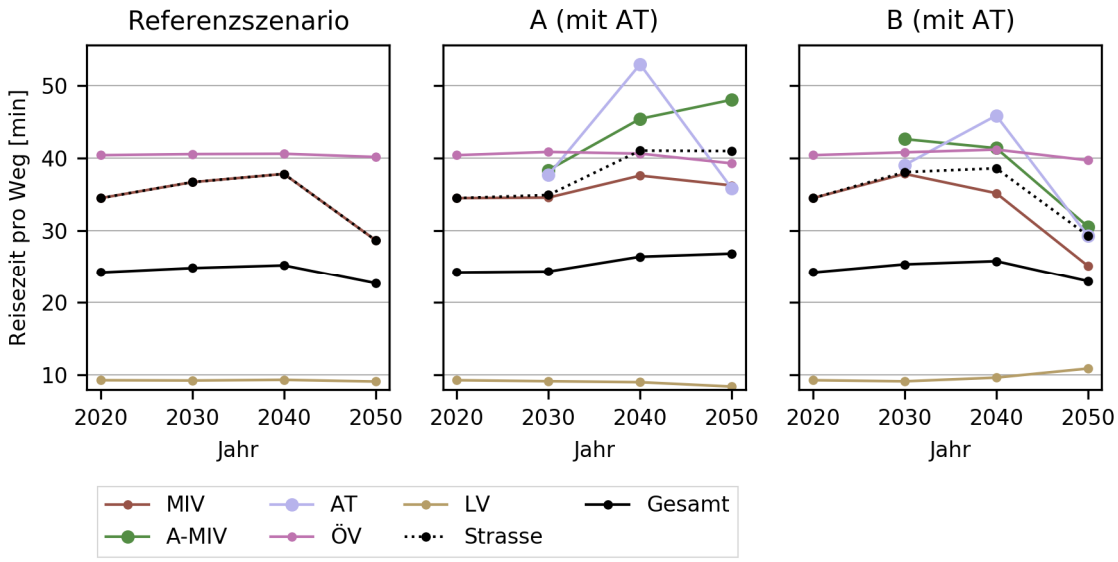


***Abb. 75**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschaler Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «SA» (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis*

Szenario B (ohne automatisierte Taxis) im Vergleich zu Szenario B (mit automatisierten Taxis)

Die Ergebnisse des Szenario B (ohne automatisierte Taxis) zeigen das Potenzial zur Reduktion von Verkehrs- und Fahrleistungen aufgrund eines Rückgangs des Privatfahrzeugbesitzes. Fraglich ist nun, wie viel von diesem Reduktionspotenzial durch die automatisierten Taxis aufgebraucht wird. Wie viele Fahrten die im Referenzszenario MIV fahren, aber in Szenario B (ohne automatisierte Taxis) mit dem ÖV oder LV zurückgelegt wurden, wandern zum automatisierten Taxi? Bewirkt der Verzicht auf ein Privatfahrzeug eine Affinität zum Umweltverbund, die trotz Verfügbarkeit von automatisierten Taxis weiterhin besteht? Oder ersetzen automatisierte Taxis einfach das private PW Fahrzeug für die Fahrt? Ein Vergleich der regionalen Szenarien B (ohne automatisierte Taxis) und B (mit automatisierten Taxis) für die Region SA zeigt letzteres, weil relativ zu den Referenzszenarien die Reduktion der gesMIV-Pkm, die in B (ohne automatisierte Taxis) zu sehen ist, völlig in B (mit automatisierten Taxis) verschwindet. In der Tat steigen gegenüber den Referenzszenarien die gesMIV-Pkm, welches andeutet, dass die automatisierten Taxis nicht nur die ehemalige privaten-PW Fahrten völlig ersetzen, sondern auch Fahrten vom Umweltverbund zum MIV verlagern.

Demographischer Wandel führt zu Änderungen im Mobilitätsverhalten

Zum Beispiel: In der städtischen Agglomeration im Referenzszenario 2050 steigen die als Mitfahrer in einem Privatfahrzeug zurückgelegten Personenkilometer um 25% gegenüber 2020, während die als Fahrzeugführer eines Privatfahrzeugs zurückgelegten Personenkilometer um 2% sinken. Da die einzige Änderung der Präferenzen in der Bevölkerung zwischen dem Grundszenario 2020 und dem Referenzszenario 2050 durch Änderungen in den Verhältnissen zwischen demographische Gruppen entstehen implizieren diese Ergebnisse, dass sich die demographischen Gruppen die eher Mitfahren als selber Fahren verhältnismässig stark wachsen. Dies führt auch zu einen höheren Besetzungsgrad der Privatfahrzeuge. In Chur ist – zusätzlich zu der schon erwähnten deutlichen Alterung der dortigen Bevölkerung - ein ähnlicher Trend bezüglich Mitfahrer vs. Fahrer zu erkennen (vgl. Kapitel 5.1.5).

5.1.4 Teilgebiet «Ländlich ungerichteter Verkehr»

Für die Region LU ist deutlich: automatisiertes Fahren bedeutet Mehrverkehr in Pkm auf den Strassen gegenüber dem Referenzszenario, auch ohne neue Wege, Zielwahl- oder Wohnortsänderungen – ausser es gibt einen drastischen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz. In diesen letzten Fall, nämlich in Szenario B (mit AT), steigen ab 2040 die gesMIV-Pkm langsamer als im Referenzszenario. In Zahlen: im Grundszenario 2020 liegen die gesMIV-Pkm bei etwa 3.87 Mio. Pkm. In der Region LU steigen die gesMIV-Pkm zwischen 2020 und 2050 stetig, statt wie auf nationaler Ebene und in der Region SA in 2040 ihren maximalen Wert zu erreichen. Somit liegen im Referenzszenario 2050 die gesMIV-Pkm bei etwa 4.77 Mio. Pkm. In Szenario A 2050 steigen mit den privaten AF die gesMIV-Pkm auf 4.94 Mio. Pkm und mit den automatisierten Taxis weiter auf circa 5.30 Mio. Pkm. In Szenario B 2050 (ohne automatisierte Taxis) sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz privaten AF die gesMIV-Pkm auf circa 2.71 Mio. Pkm, jedoch mit den zusätzlichen automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Pkm rasant auf circa 4.63 Mio. Pkm, welches jedoch nicht ganz dem Wachstum im Referenzszenario entspricht.

Dass im Szenario B 2050 (mit automatisierten Taxis) die gesMIV-Pkm das Wachstum des Referenzszenarios nicht übersteigen ist anders als in der Region SA, in der die gesMIV-Pkm das Wachstum des Referenzszenarios weit übersteigen und das Niveau des Szenario A (ohne automatisierte Taxis) etwa gleichen. Eine teilweise Erklärung für diesen Unterschied ist, dass sich der Durchgangsverkehr zwischen Szenario B und Referenzszenario/Szenario A wesentlich unterscheidet. Die Hauptachsen des Durchgangsverkehrs in der Region LU sind die Autobahnen A1 und A12 und die Bahnstrecke zwischen Bern und Lausanne über Fribourg. Die A12 ist zum Grossteils komplett innerhalb der Region LU, während die A1 nur teils innerhalb der Region LU liegt. Hingegen liegt fast die gesamte Bahnstrecke zwischen Bern und Lausanne über Fribourg, über der die IC1 und der IR15 fahren, innerhalb der Region LU. Wenn also im nationalen Szenario B (ohne automatisierte Taxis) sehr viele Agenten gezwungen werden vom MIV auf dem ÖV umzusteigen, zwingt es den Durchgangsverkehr durch die Region LU auf die Schiene und die Gesamtanzahl der Pkm in der Region steigt. Diese These stimmt überein mit dem deutlichen Anstieg der gesamten Pkm in Szenario B 2050 (ohne automatisierte Taxis) und Szenario B 2050 (mit automatisierten Taxis) gegenüber dem Referenzszenario, während die Gesamtanzahl der Pkm im Referenzszenario 2050, Szenario A 2050 (ohne automatisierte Taxis), und Szenario A (mit automatisierten Taxis) fast gleich sind. Wenn im regionalem Szenario B (mit automatisierten Taxis) die automatisierten Taxis eingefügt werden, kann der Durchgangsverkehr aufgrund der Modeleinschränkungen nicht vom ÖV auf die automatisierten Taxis umsteigen. Somit können die automatisierten Taxis diese Wege nicht verlagern und dieses bremst das Wachstum der gesMIV-Pkm. Vermutlich könnten aber die automatisierten Taxis diese überregionalen Wege ohnehin schwer verlagern, weil die Machbarkeit einer Langstrecken-Taxiflotte mindestens mit diesem Modell nicht bestätigt werden konnte.

Eine zweite Erklärung könnte sein, dass es im ländlichem Raum gegenüber der städtischen Agglomeration mehr ursprüngliche PW-Fahrten gibt, die nur einen geringfügig höheren Nutzen haben als die jeweiligen ÖV oder LV Alternativen. Der eigene PW, ob automatisiert oder konventionell, ist wegen seine niedrigen Kilometerkosten und kleiner oder keinen Wartezeiten attraktiver als der ÖV oder LV. Jedoch wenn statt einem privaten AF oder konventionellen Fahrzeug nur noch die automatisierten Taxis als alternative verfügbar sind, sind sie wegen ihren doch etwas höhere Kilometerkosten und nicht vernachlässigbaren Wartezeiten etwas weniger attraktiv als die ÖV oder LV Alternativen. Ehemalige PW-Besitzer steigen dann statt auf automatisierte Taxis auf den ÖV und LV um. Die Ergebnisse der regionalen Szenarien LU (und auch LG, vgl. nächstes Kapitel) deuten darauf hin, dass in der Region LU und LG mehr Fahrten auf diesem Kipppunkt liegen als in der Region SA: Der Markt ist näher an seiner Sättigung hinsichtlich der MIV-Nachfrage als im städtischem Raum. Gründe für diese höhere «MIV-Sättigung» im ländlichem Raum gegenüber der städtischen Agglomeration könnten unter anderem sein, dass in der städtischen Agglomeration viele PW-Besitzer ihre Fahrzeuge wegen der hohen Stauwahrscheinlichkeit stehen lassen, aber wenn mit der Automatisierung die Zeitkosten des MIV senken, fahren sie trotz Stau mehr Auto, weil sie die Zeit anders nutzen können. Im ländlichem Raum sind die Staus geringer. Die meisten Agenten fahren schon mit dem

MIV und der Nutzen der Automatisierung ist nicht so gross wie in der Region SA mit Stau. Die grössere Anzahl von Engpässen der Stufe III im städtischem Raum als im LU Raum oder LG Raum unterstützen diese These.

Weitergehende Analysen zur Erklärung des Sachverhalts waren im Rahmen dieses Projekts nicht möglich.

Festzuhalten sind zwei Erkenntnisse: Die Einführung von AF und die Entwicklungen im Privatfahrzeugbesitz lösen im ländlichem Raum andere Reaktionen aus als im städtischem Raum. Im ländlichem Raum werden automatisierte Taxis und sinkender Privatfahrzeugbesitz das Wachstum der gesMIV-Pkm insgesamt (gegenüber dem Referenzszenario) bremsen. Die zweite Erkenntnis ist, dass Verkehrsmittelverlagerungen im Langstreckenverkehr erhebliche Auswirkungen auf regionale Verkehrsentwicklungen haben könnte: Es wird sehr empfohlen, die möglichen Auswirkungen des AF und der damit verbundenen neuen Verkehrsmittelarten auf den Langstreckenverkehr tiefer zu untersuchen.

Exkurs: Es hat sich im Laufe eines anderen Projekts herausgestellt, dass im Modell der Schweiz der Nahverkehr des ÖV in Genf (exklusiv alle SBB Verkehre) fehlen. Da diese Lücke sehr spät entdeckt wurde, konnte es für die Simulationsläufe dieses Projekts nicht korrigiert werden. Dies hat evtl. Einfluss für die Ergebnisse der Region LU, falls es sehr viele Langstreckenpendler aus der Region nach Genf geben sollte. Diejenigen, die mit dem ÖV fahren würden hätten, in Genf für die letzten Kilometer keinen örtlichen ÖV, um ihre Reise zügig abzuschliessen und könnten sich deshalb – soweit vorhanden – für das Privatfahrzeug entscheiden. Die Ergebnisse in der Region LU könnten damit etwas MIV-lästiger sein als mit Berücksichtigung des Nahverkehrs des ÖV in Genf.

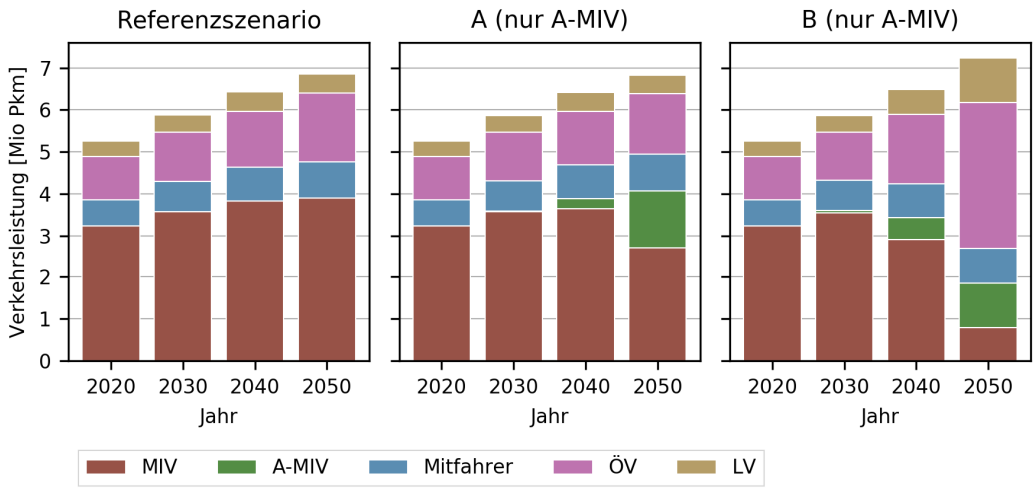


***Abb. 76**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «LU» (Fribourg & Region), ohne automatisierte Taxis*

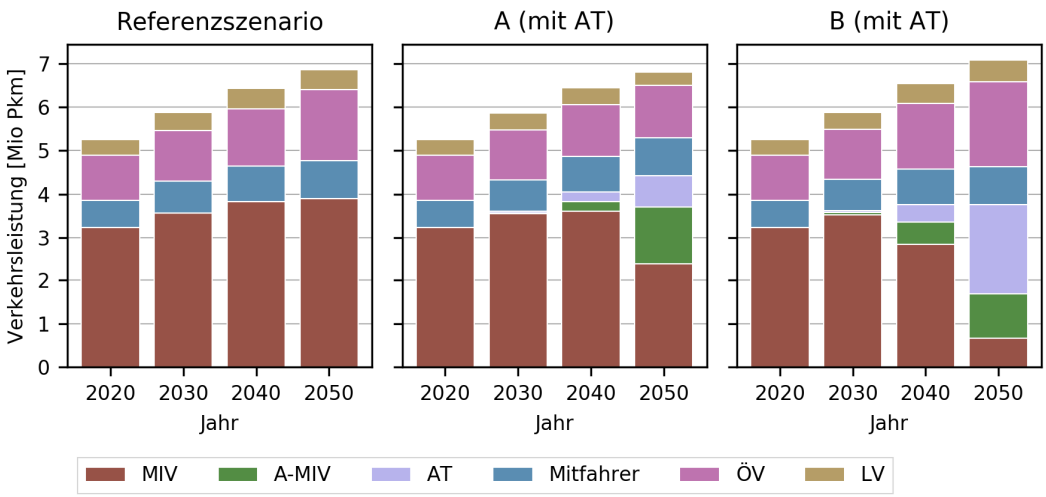


***Abb. 77**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «LU» (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis*

Für die Fahrzeugkilometer auf den Strassen zeigen sich analoge Ergebnisse wir für die gesMIV-Pkm, ausser für Szenario B (mit automatisierten Taxis). Ohne einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz führen private AF gegenüber dem Referenzszenario zu einer Zunahme der gesMIV-Fzg-km und die automatisierten Taxis verstärken dieses Wachstum deutlich. Auch mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz führen die automatisierten Taxis zu einer Zunahme der gesMIV-Fzg-km gegenüber dem Referenzszenario. Dies anders als die Entwicklung der gesMIV-Pkm, die in Szenario B (mit automatisierten Taxis) gegenüber dem Referenzszenario sinken. In Zahlen gefasst: im Grundszenario liegen die gesMIV-Fzg-km bei etwa 3.24 Mio.-Fzg-km. Sie steigen kontinuierlich an bis sie im Referenzszenario 2050 bei etwa 3.90 Mio. Fzg-km liegen. In Szenario A 2050 steigen mit den privaten AF die gesMIV-Fzg-km auf 4.07 Mio. Fzg-km und mit den automatisierten Taxis weiter auf circa 4.66 Mio. Fzg-km. Davon sind circa 0.22 Mio. Fzg-km Leerfahrten von automatisierten Taxis. In Szenario B 2050 (ohne automatisierten Taxis) sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz privater AF die gesMIV-Fzg-km auf circa 1.85 Mio. Fzg-km, jedoch mit den automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Fzg-km rasant auf circa 4.36 Mio. Fzg-km an. Davon sind circa 0.54 Mio. Fzg-km AF-Taxi-Leerfahrten. Die AF-Taxi-Leerfahrten erklären, warum in Szenario B (mit automatisierten Taxis) die Fzg-km gegenüber dem Referenzszenario stärker wachsen, obwohl die gesMIV-Pkm schwächer Wachsen als im Referenzszenario. Somit ist nicht nur für die Region SA, sondern auch für die Region LU folgendes zu erkennen. Die automatisierten Taxis kompensieren den Rückgang der Fahrleistungen aufgrund des Rückgangs des Privatfahrzeugbesitzes und lassen gegenüber dem Referenzszenario die Fzg-km sogar steigen. Jedoch steigen die auf den Strassen zurückgelegten Fzg-km weniger stark mit einem Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes (Szenario B mit automatisierten Taxis) als ohne (Szenario A mit automatisierten Taxis).

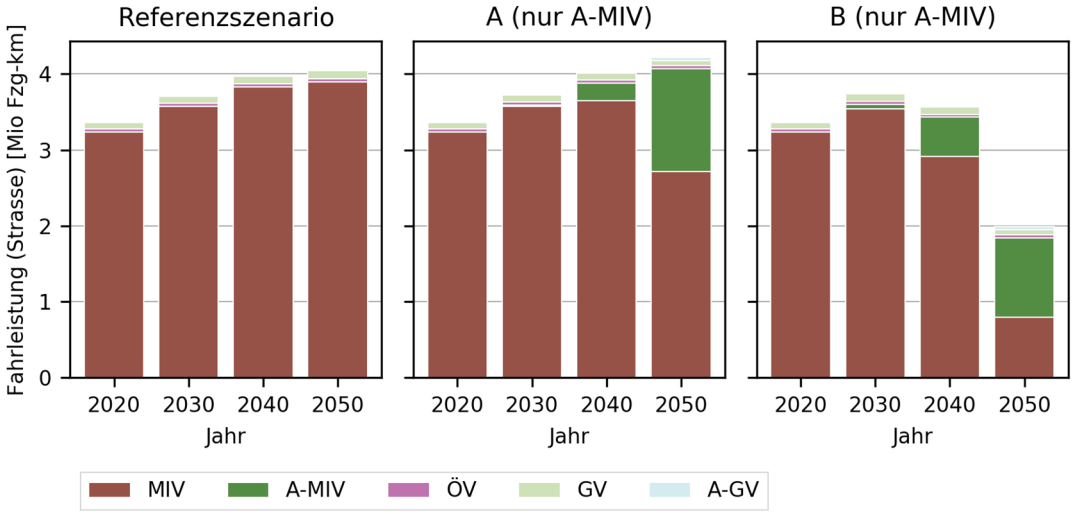


***Abb. 78**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region) ohne automatisierte Taxis, Region «LU»*

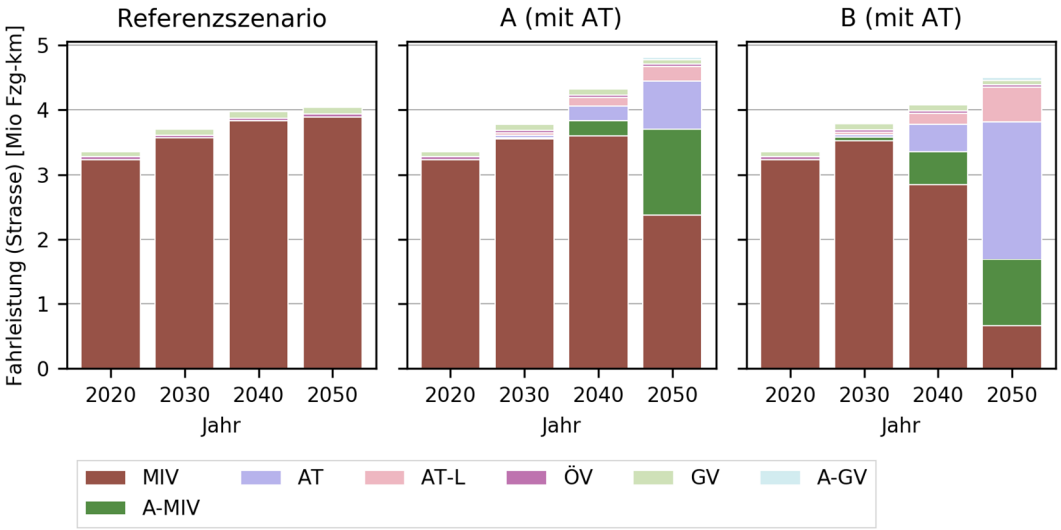


***Abb. 79**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region) mit automatisierten Taxis*

Bezüglich der Verkehrsmittelverteilung der Wege (siehe **Tab. 49** und **Tab. 50**) ist wieder der Trend zum ÖV in Szenario B erkennbar. Mögliche Erklärungen dafür wurden schon anhand den Entwicklung der Pkm weiter oben diskutiert. Somit ist nur im Szenario A (ohne automatisierte Taxis) und im Szenario A (mit automatisierten Taxis) eine deutliche Erhöhung des Anteils des gesMIV gegenüber dem Referenzszenario zu erkennen.

***Tab. 49**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region «LU» (Fribourg & Region), ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	49.2	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
Referenzszenario	2030	48.6	0.0	9.8	9.8	31.8	48.6	58.4
Referenzszenario	2040	47.9	0.0	10.0	10.0	32.1	47.9	57.9
Referenzszenario	2050	46.3	0.0	10.1	11.9	31.7	46.3	56.4
A (nur A-MIV)	2020	49.2	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
A (nur A-MIV)	2030	48.7	0.2	9.8	9.6	31.7	48.9	58.7
A (nur A-MIV)	2040	45.5	2.9	10.0	9.7	32.0	48.4	58.3
A (nur A-MIV)	2050	32.2	15.8	10.1	10.8	31.0	48.0	58.1
B (nur A-MIV)	2020	49.2	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
B (nur A-MIV)	2030	48.3	0.8	9.8	9.6	31.6	49.1	58.9
B (nur A-MIV)	2040	36.5	6.3	10.0	12.0	35.2	42.8	52.7
B (nur A-MIV)	2050	9.3	12.7	10.1	22.8	45.1	22.0	32.1

***Tab. 50**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region «LU» (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
Referenzszenario	2030	48.6	0.0	0.0	9.8	9.8	31.8	48.6	58.4
Referenzszenario	2040	47.9	0.0	0.0	10.0	10.0	32.1	47.9	57.9
Referenzszenario	2050	46.3	0.0	0.0	10.1	11.9	31.7	46.3	56.4
A (mit AT)	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
A (mit AT)	2030	48.3	0.2	0.8	9.8	9.5	31.4	49.3	59.1
A (mit AT)	2040	44.5	2.9	2.6	10.0	9.3	30.9	49.9	59.8
A (mit AT)	2050	28.7	15.1	7.3	10.1	9.7	29.1	51.1	61.2
B (mit AT)	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
B (mit AT)	2030	47.9	0.8	0.8	9.8	9.4	31.4	49.4	59.2
B (mit AT)	2040	35.3	6.2	4.2	9.9	11.2	33.2	45.7	55.6
B (mit AT)	2050	7.9	12.0	18.2	10.0	14.8	37.1	38.1	48.1

Wie auch in der Region SA zeigt sich, dass die Nutzer der privaten AF hauptsächlich ehemalige konventionelle PW Nutzer sind (**Abb. 80**). Auch die Kunden der automatisierten Taxis kommen im Wesentlichen von den gleichen Verkehrsmitteln wie in der Region SA, obwohl in der Region LU die Nutzer der automatisierten Taxis wahrscheinlicher häufiger ehemalige Fussgänger oder Radfahrer als in der Region SA sind (**Abb. 81**).

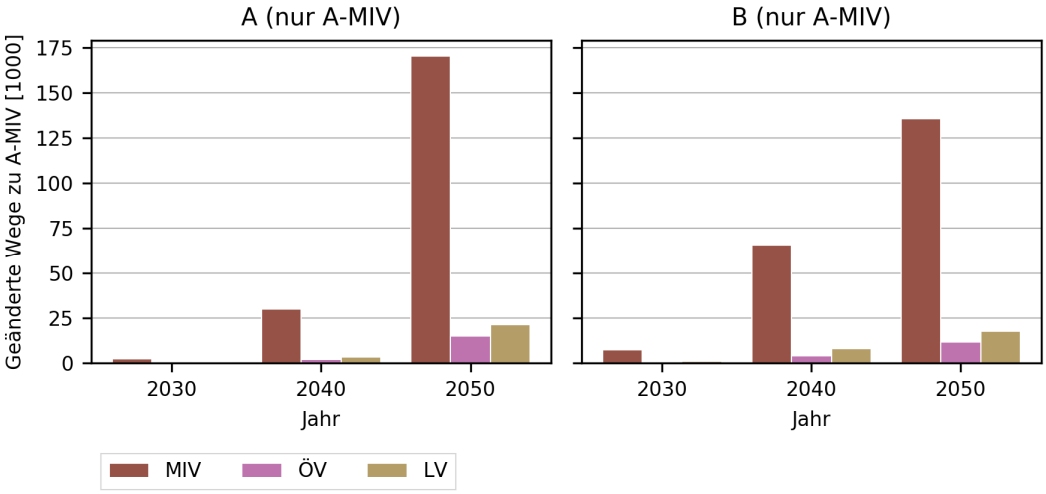


***Abb. 80**: Wegeverlagerung von MIV, ÖV, und LV auf A-MIV zwischen AF-Szenarien A und B und die entsprechenden Referenzszenarien nach Jahr, ohne automatisierte Taxis, Region «LU»*

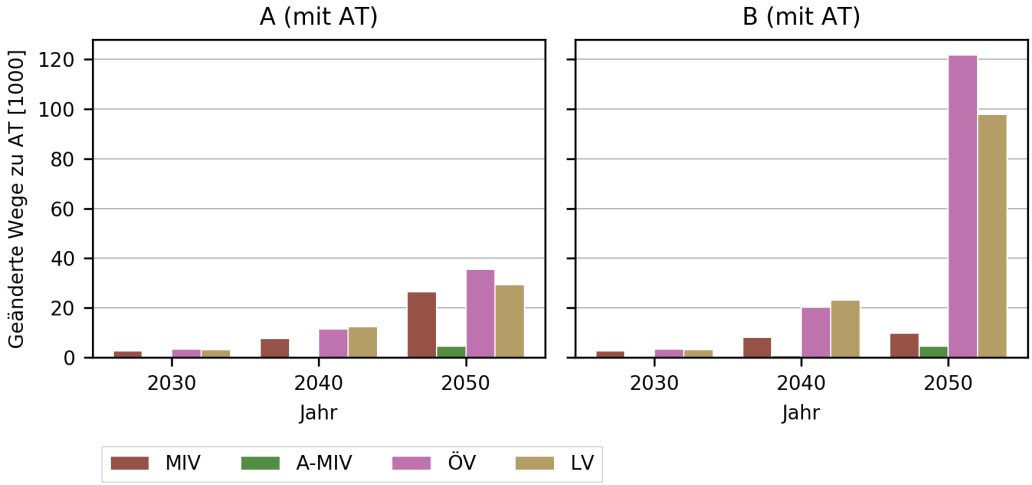


***Abb. 81**: Wegeverlagerung von MIV, A-MIV, ÖV, und LV auf automatisierten Taxis zwischen AF-Szenarien A und B mit automatisierten Taxis und die entsprechenden Szenarien ohne automatisierten Taxis nach Jahr für die Region «LU»*

Räumliche Belastungsänderungen im HLS Netz

Wie sich diese Verkehrsmittelwahl-Entscheidungen auf die Verkehrsbelastungen der Hochleistungsstrassen auswirken, ist in den folgenden Abbildungen (**Abb. 82** bis **Abb. 111**) dargestellt. Dabei werden die Belastung sowohl in PCU als auch in Fahrzeugen dargestellt. Bezüglich Kapazität und Auslastung sind die PCU-Werte relevant. Die Belastungsänderungen in Fahrzeugen werden aufgeführt, um die Auswirkungen der AF-Durchdringungsraten erkennbar zu machen. Das Thema Auslastung wird in Kapitel 6 behandelt.

Wie auch in der Region SA machen diese Abbildungen den Unterschied zwischen den Belastungen in PCU und in Fahrzeugen aufgrund der unterschiedlichen AV-Durchdringung deutlich. Im Szenario B (mit automatisierten Taxis) – besonders ab 2040 – steigen die Belastungen in Fahrzeugen während die Belastungen in PCU gegenüber dem

Grundszenario stagnieren oder zurückgehen. In Szenario A (mit automatisierten Taxis) steigen die Belastungen gegenüber dem Grundszenario 2020 in PCU und Fahrzeuge, obwohl die Belastungen in PCU weniger stark steigen als die Belastungen in Fahrzeuge.

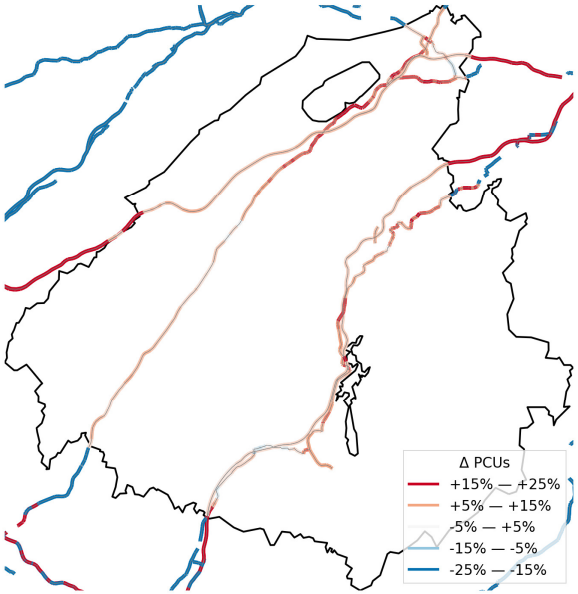


***Abb. 82**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2030*

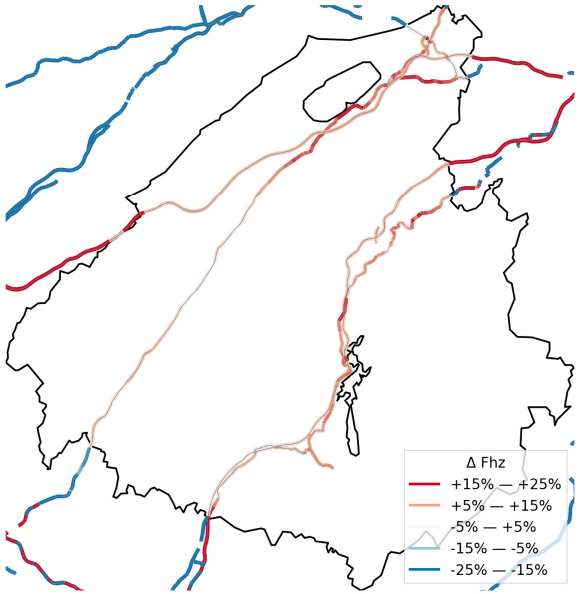


***Abb. 83**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2030*

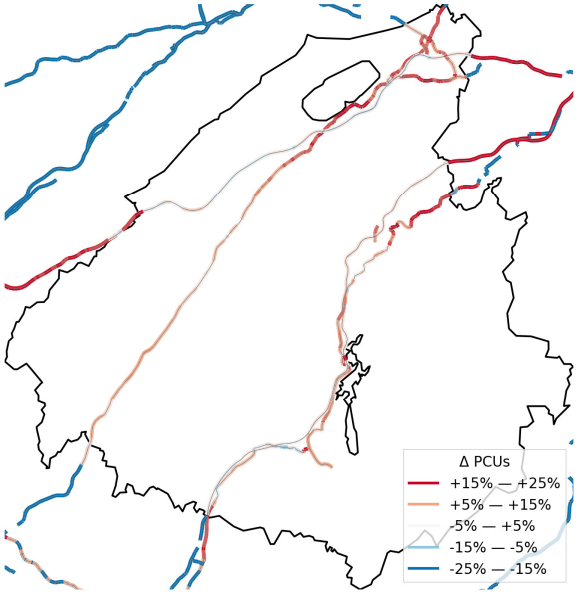


***Abb. 84**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

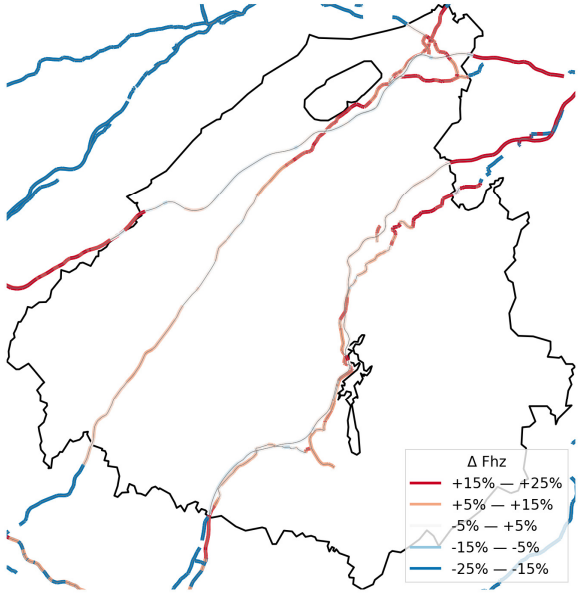


***Abb. 85**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

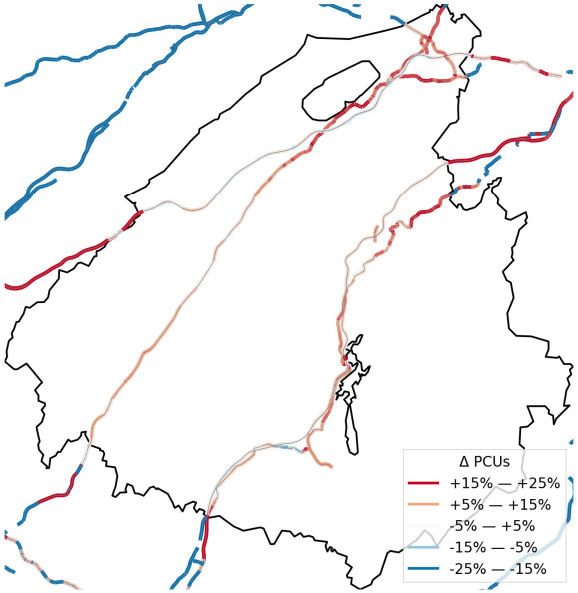


***Abb. 86**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

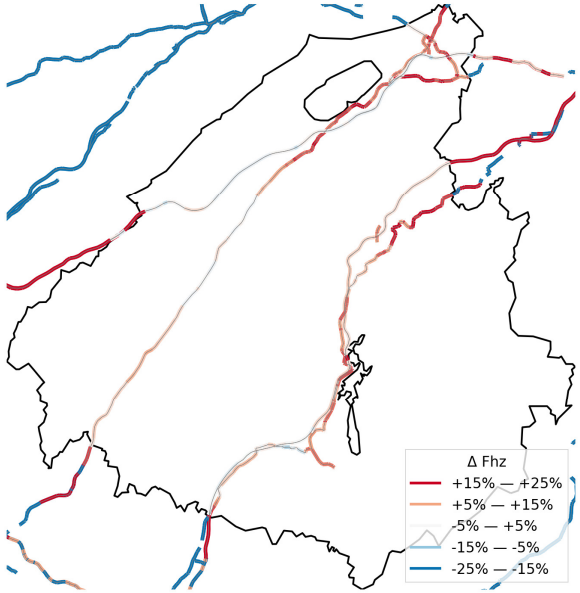


***Abb. 87**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

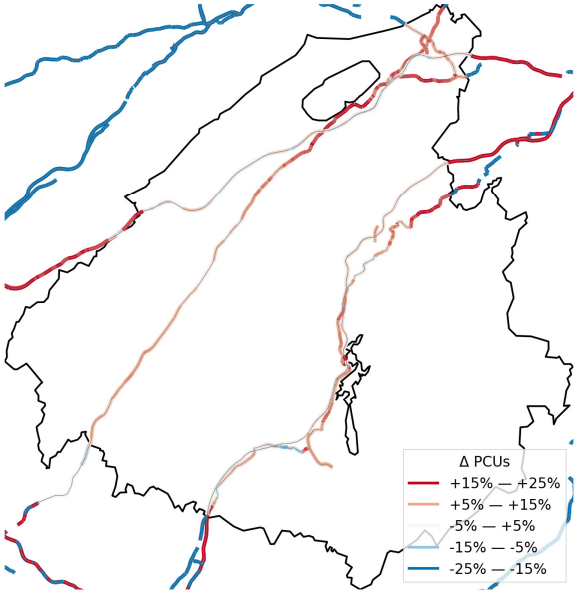


***Abb. 88**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (nur A-MIV) 2030*

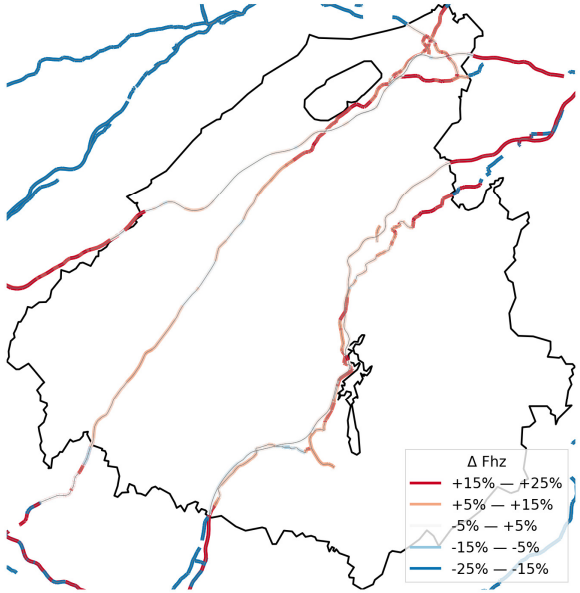


***Abb. 89**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B(nur A-MIV) 2030*

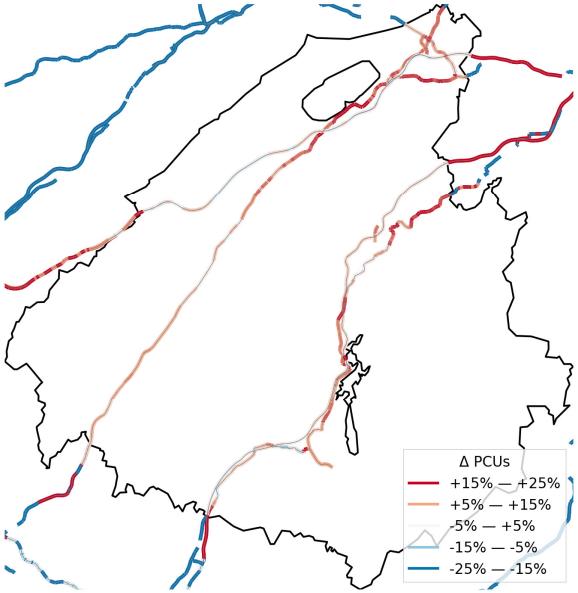


***Abb. 90**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

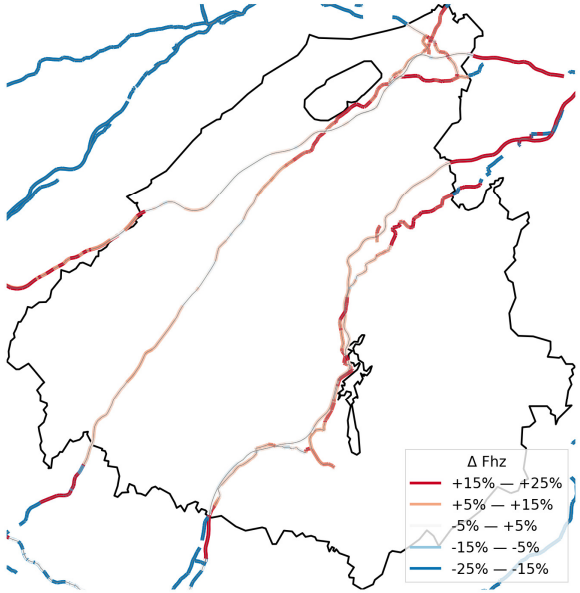


***Abb. 91**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

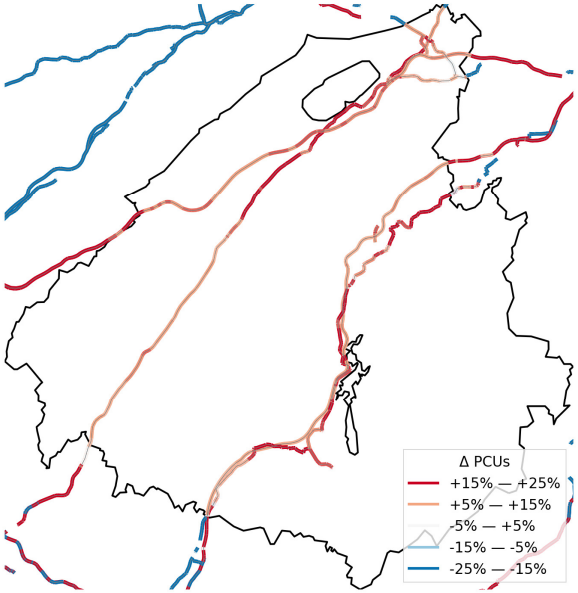


***Abb. 92**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2040*

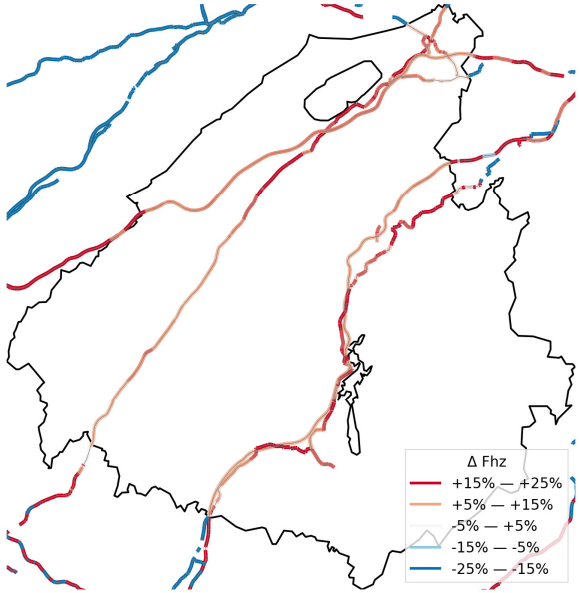


***Abb. 93**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2040*

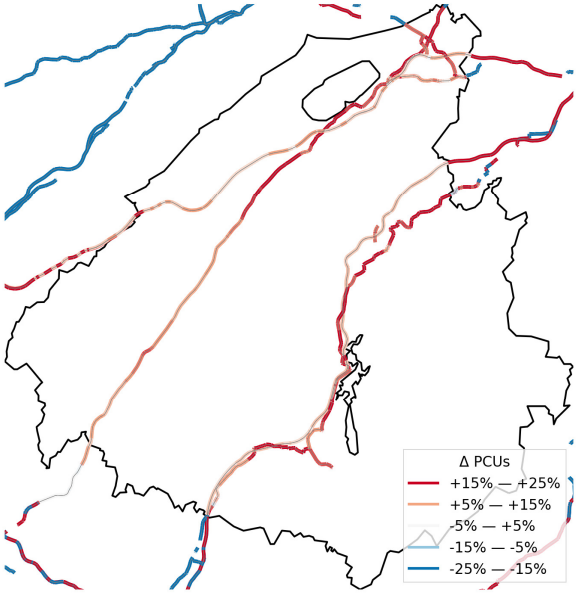


***Abb. 94**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

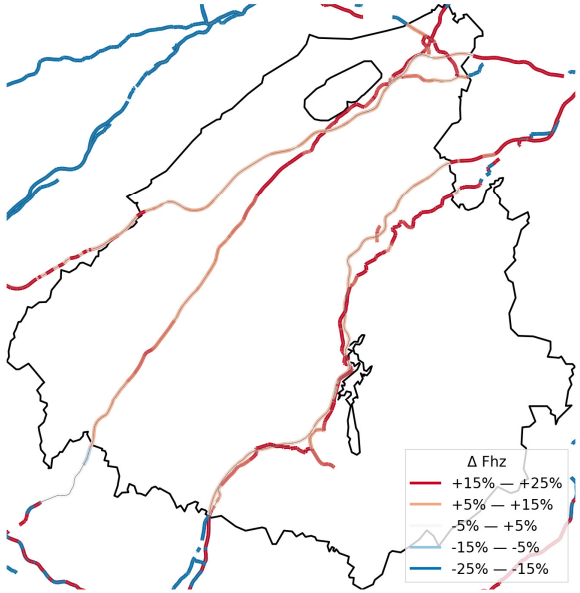


***Abb. 95**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

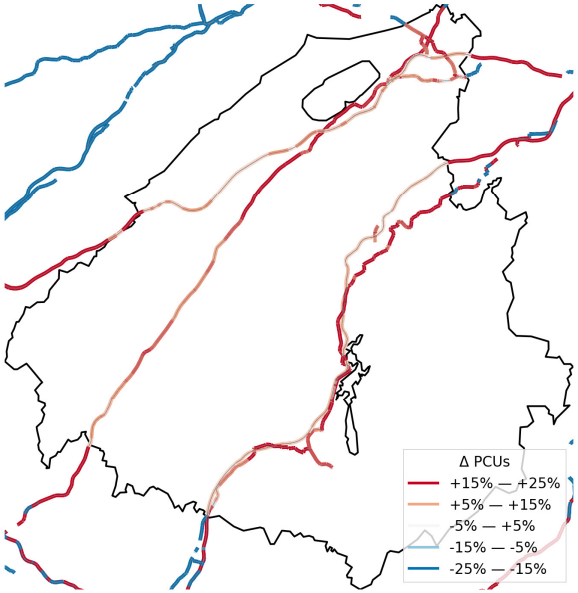


***Abb. 96**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2040*

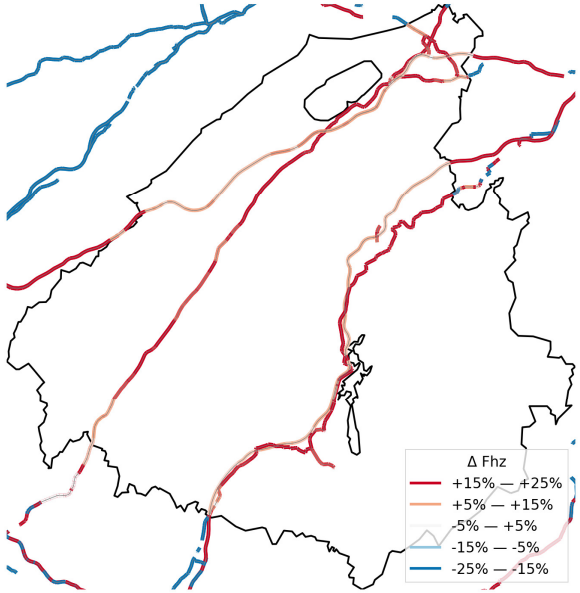


***Abb. 97**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2040*

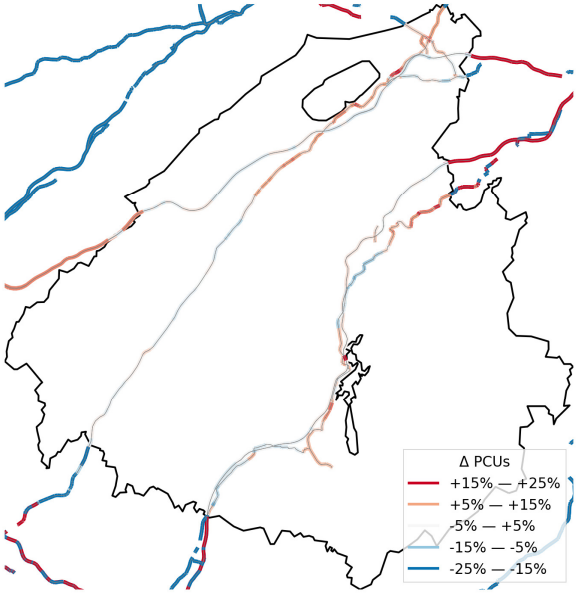


***Abb. 98**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

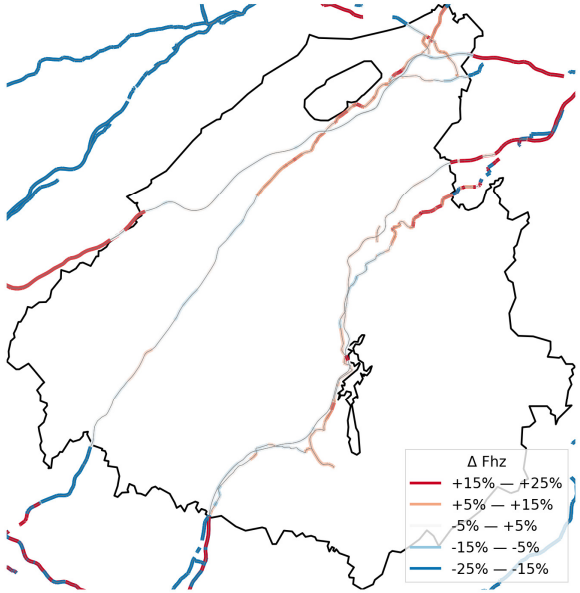


***Abb. 99**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

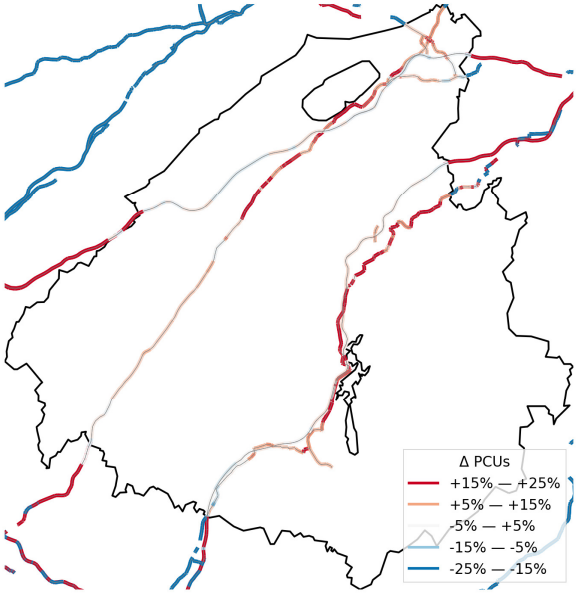


***Abb. 100**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

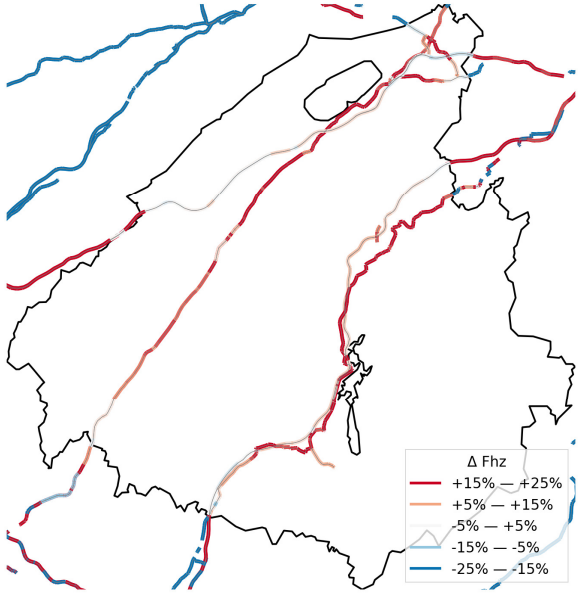


***Abb. 101**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

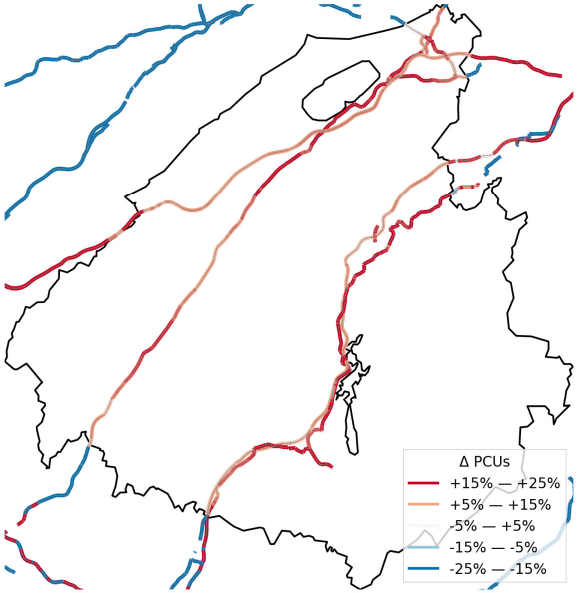


***Abb. 102**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2050*

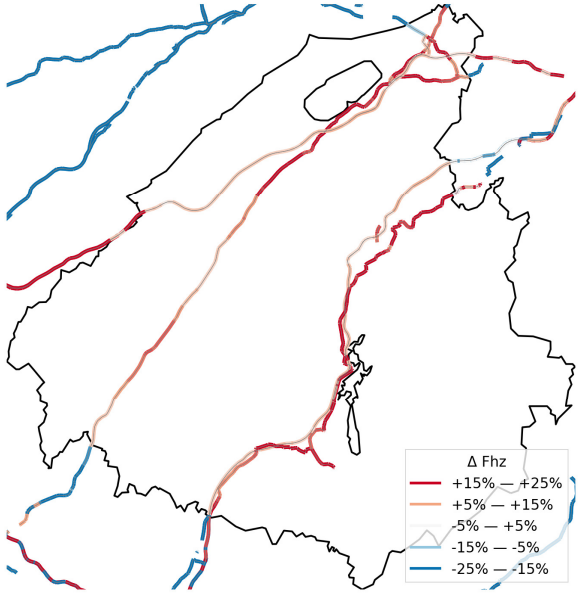


***Abb. 103**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Referenzszenario 2050*

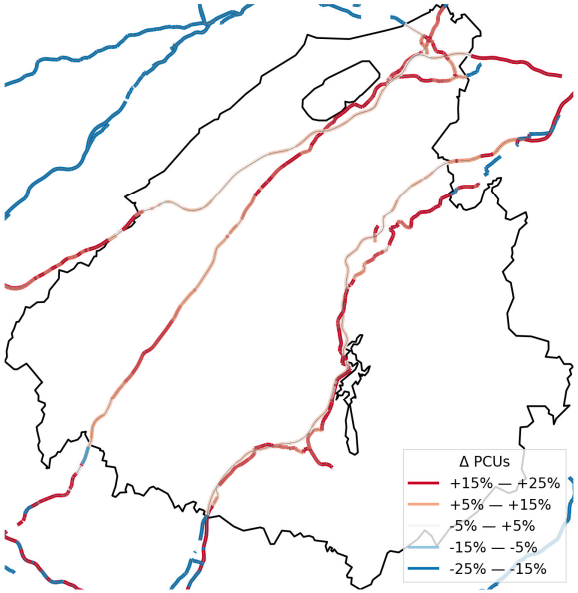


***Abb. 104**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

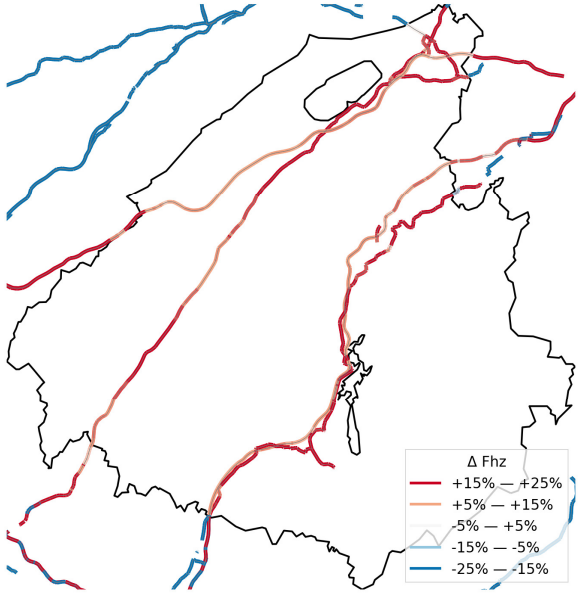


***Abb. 105**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

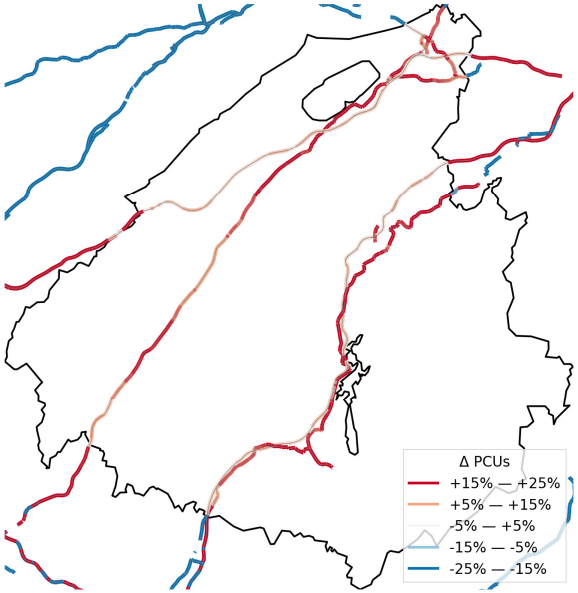


***Abb. 106**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

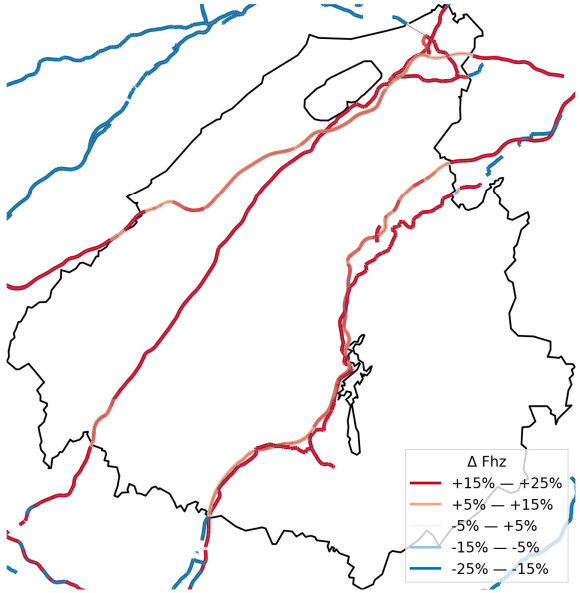


***Abb. 107**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

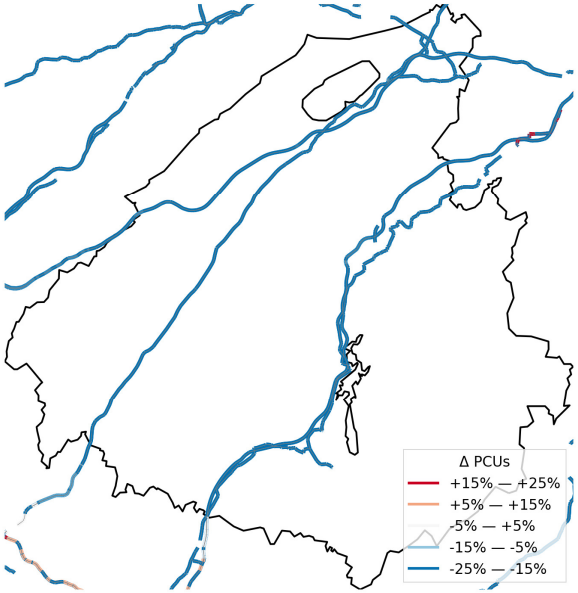


***Abb. 108**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

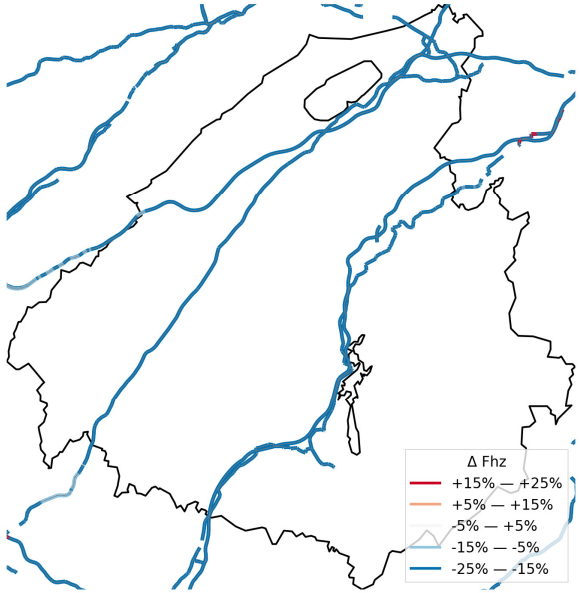


***Abb. 109**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

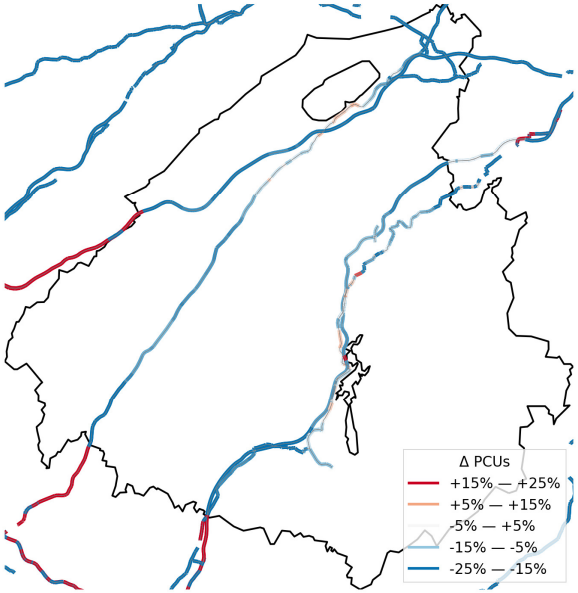


***Abb. 110**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

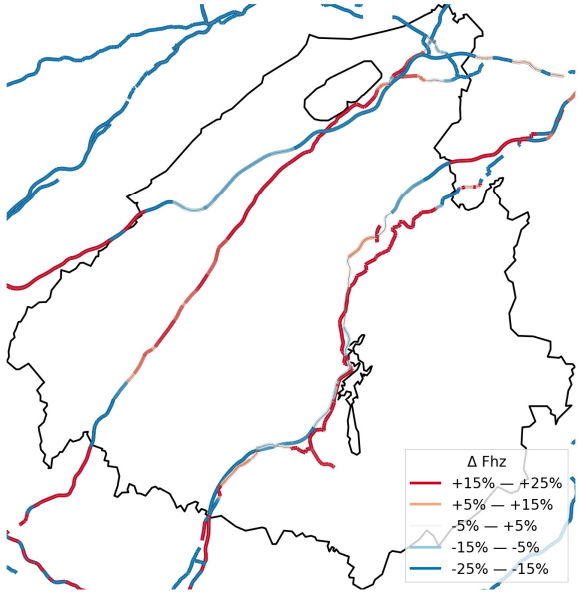


***Abb. 111**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LU»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

Die Änderungen der durchschnittlichen Reisedistanz, Geschwindigkeit und Reisezeit pro Weg zwischen den Szenarien im Vergleich zum Grundzustand sind gering (es muss auf die Skala der Abbildungen geachtet werden). Sie geben aber Hinweise für mögliche Interpretationen. Anders als in die nationalen Szenarien und in der Region SA, bleibt die durchschnittliche Reisedistanz der Wege in allen Szenarien und Jahren nicht konstant. In Szenario B (ohne automatisierte Taxis) steigt die durchschnittliche Reisedistanz in 2050. Dieser Anstieg stammt aus dem Anstieg des ÖV. Dieser Anstieg steht im starken Kontrast zu den anderen Szenarien, bei denen die durchschnittliche Reisedistanz des ÖV in 2050 sinkt. Wird jedoch Szenario B (mit automatisierten Taxis) betrachtet, sinkt die durchschnittliche Reisedistanz der ÖV Wege in 2050 und die durchschnittliche Reisedistanz aller Wege entspricht wieder derjenigen der anderen Szenarien. Die Erhöhung der durchschnittlichen Reisedistanz der ÖV Wege in Szenario B (ohne automatisierte Taxis) könnte daher stammen, dass ohne einen PW aufgrund der Auslegung des ÖV Netzes lange Umwege in Kauf genommen werden müssen. So ist auch im Szenario B (mit automatisierten Taxis) – wie auch in der Region SA – deutlich zu sehen, wie sich für 2050 die durchschnittliche Reisedistanz der automatisierten Taxis die der privaten Fahrzeuge übersteigt und die des ÖV nähert. Diese Tendenz ist ein Hinweis dafür, dass die automatisierten Taxis eher die längeren Wege des ÖVs (>10km) auf sich verlagern. Anders als in der Region SA, steigt die durchschnittliche Reisedistanz der privaten AF im Vergleich zu den konventionellen PW sehr wenig oder gar nicht. Dies ist ein Hinweis dafür, dass in der Region LU die privaten AF deutlich weniger zu der Verlagerung der längeren ÖV-Wege beitragen als in der Region SA.

Anders als in der Region SA sind die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit der privaten AF und der konventionellen Privatfahrzeuge gleich. Dieses deutet darauf hin, dass die Region LU wahrscheinlich weniger stark von Reisezeitverlängerung aufgrund Überlastung aufweist als die Region SA, und somit den Effekt der niedrigen Zeitkosten der privaten AF auf die «Stautoleranz» nicht zum Tragen kommt.

Die durchschnittlichen Reisezeiten sinken sehr leicht in Szenario A (mit automatisierten Taxis) und steigen leicht in Szenario B (mit automatisierten Taxis). Hier ist vermutlich die Verkehrsmittelverlagerungen verantwortlich: in B fahren mehr Agenten mit dem ÖV, welcher langsamer ist, während in A mehr Agenten mit dem gesMIV fahren, welcher schneller ist.

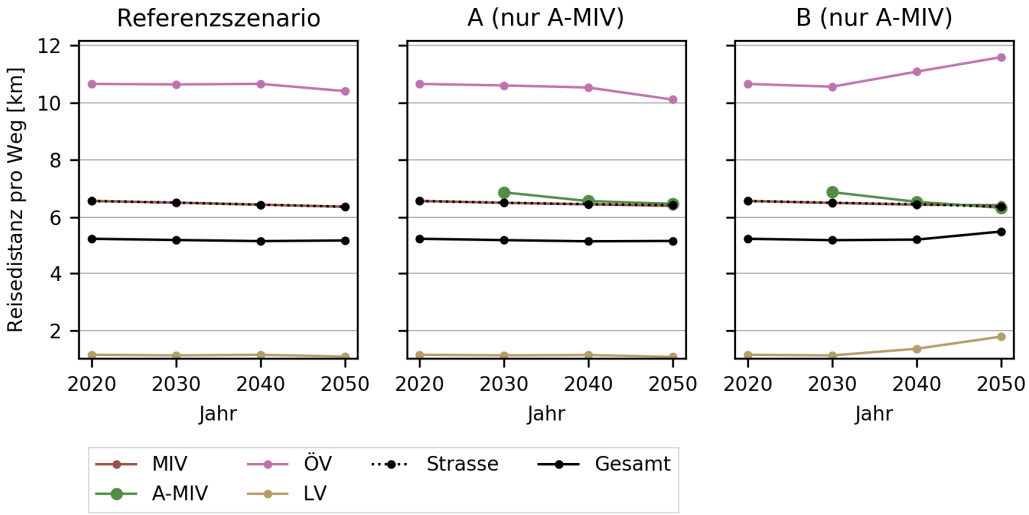


***Abb. 112**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), ohne automatisierte Taxis*

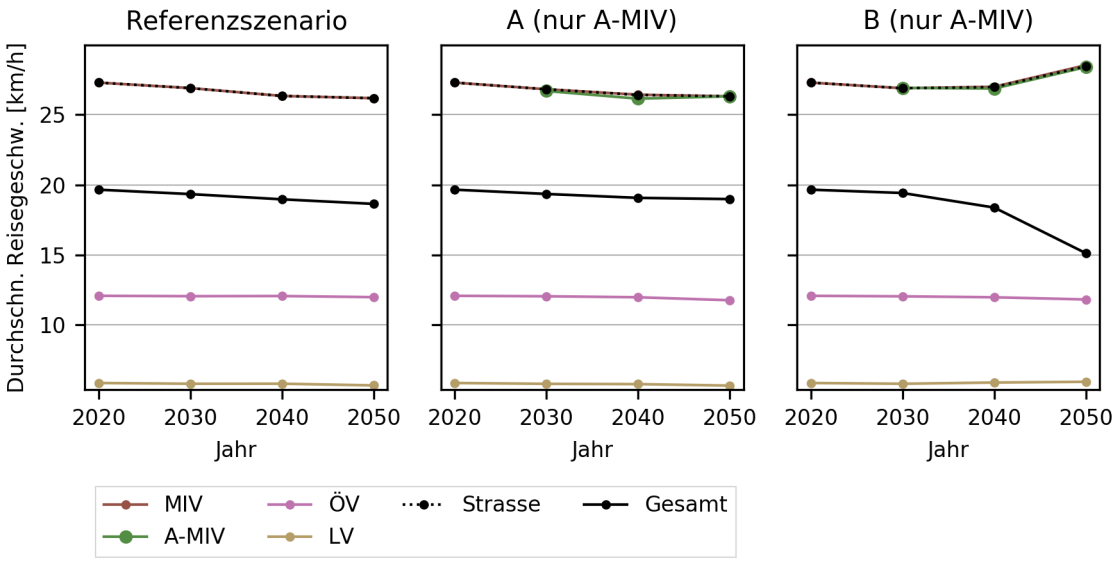


***Abb. 113**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), ohne automatisierte Taxis*

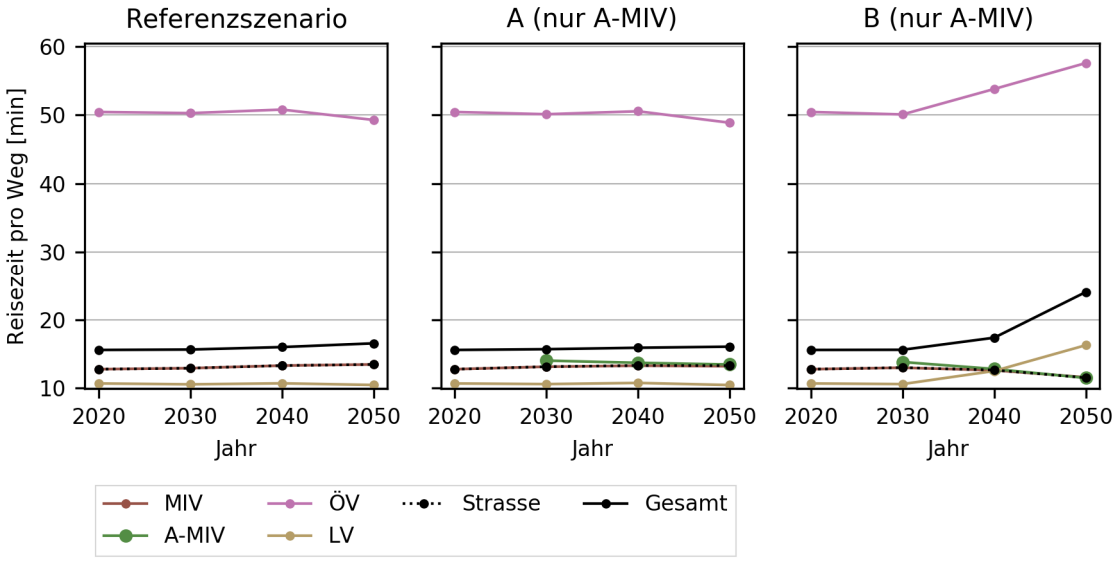


***Abb. 114**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), ohne automatisierte Taxis*

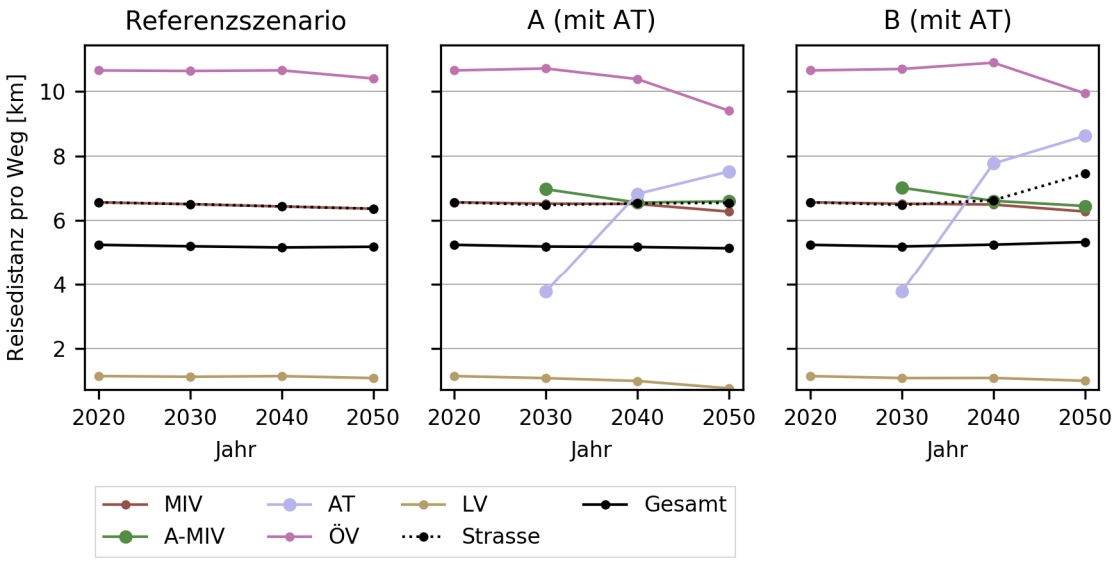


***Abb. 115**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis*

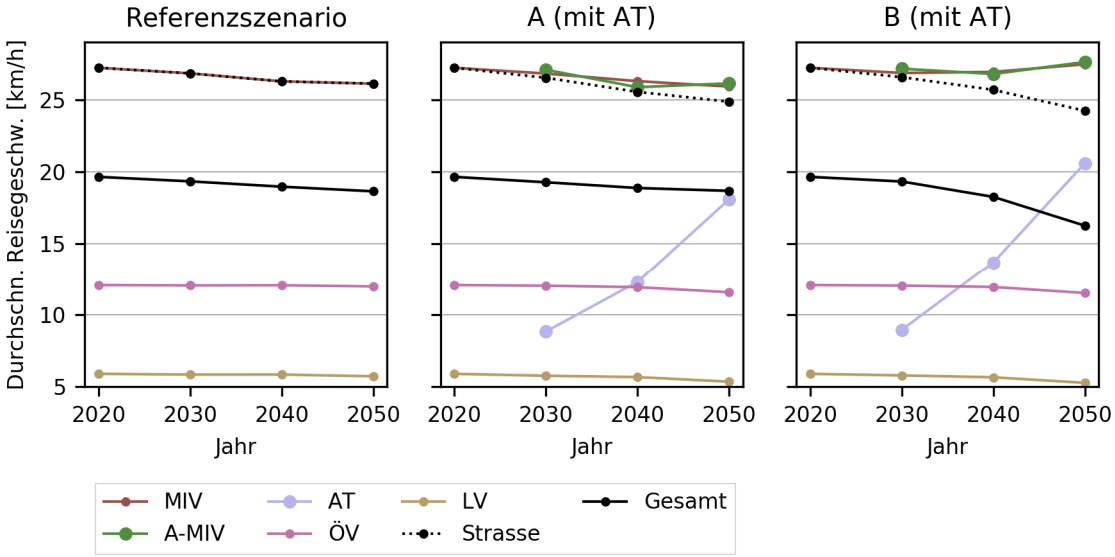


***Abb. 116**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis*

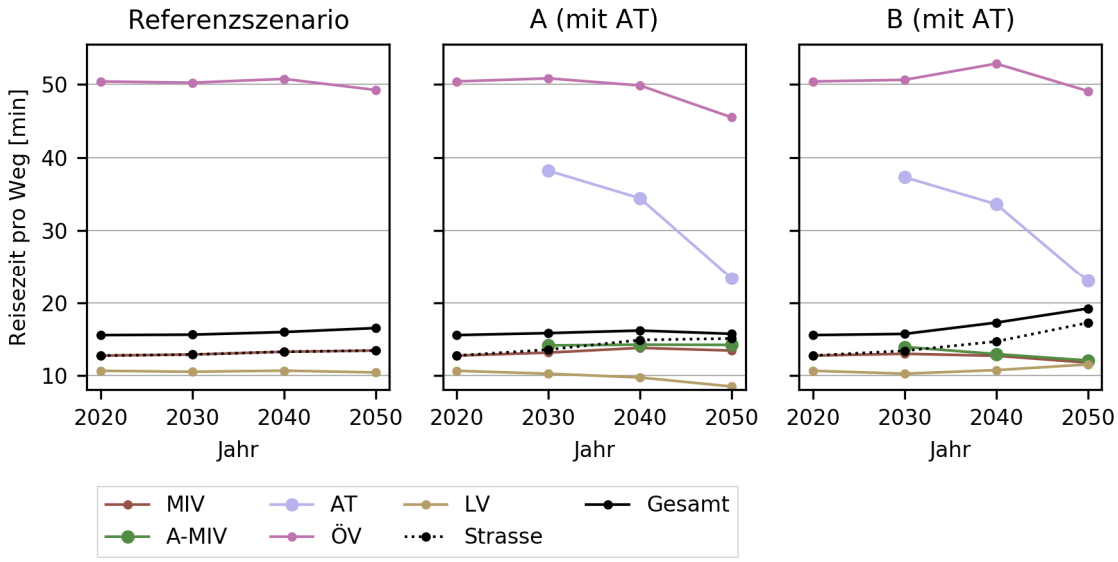


***Abb. 117**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LU» (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis*

5.1.5 Teilgebiet «Ländlich gerichteter Verkehr»

In der Region LG ergibt sich im Referenzszenario einen Rückgang in Pkm insgesamt, trotz leichtem Bevölkerungswachstum. Auf nationaler Ebene und in den anderen Regionen wächst die Bevölkerung sowie auch die gesamten zurückgelegten Pkm. Eine Erklärung für diesen Rückgang der gesamten Pkm in der Region LG ist, dass die Bevölkerung der Region LG deutlich älter wird als diejenige in anderen Regionen (vgl. **Tab. 129** mit **Tab. 126** bis **Tab. 128**). Ältere Bevölkerungsgruppen – besonders über 65 – legen weniger Wege und auch weniger Pkm pro Tag zurück (Bundesamt für Statistik, 2015). Die stetige Zunahme des Durchschnittsalters von 44.7 in 2020 auf 49 Jahre in 2050 in der Region LG weist darauf hin, dass ältere Bevölkerungsgruppen in der Region LG stärker wachsen als die jüngeren Bevölkerungsgruppen. Dies würde mit einer sinkenden Anzahl der insgesamt zurückgelegten Pkm übereinstimmen.

Für die Region LG ist aber immer noch deutlich, dass automatisiertes Fahren Mehrverkehr in Pkm auf den Strassen im Vergleich zu dem Referenzszenario bedeutet, auch ohne neue Wege, Zielwahl- oder Wohnortsänderungen – ausser es gibt ein drastischer Rückgang im Privatfahrzeugbesitz. Selbst dann zeigt sich erst ab 2050 eine Reduktion der gesMIV-Pkm gegenüber dem Referenzszenario. Die Verfügbarkeit von privaten AF und automatisierten Taxis verlagern Pkm von anderen Verkehrsmitteln auf den gesMIV. In Zahlen gefasst: im Grundszenario 2020 liegen die gesMIV-Pkm bei etwa 2.04 Mio. Pkm. Im Referenzszenario 2050 sinken die gesMIV-Pkm auf etwa 1.84 Mio. Pkm. In Szenario A 2050 steigen mit der privaten AF die gesMIV-Pkm auf 1.97 Mio. Pkm und mit automatisierten Taxis weiter auf circa 2.08 Mio. Pkm. In Szenario B 2050 (ohne automatisierten Taxis) sinken mit dem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz privater AF die gesMIV-Pkm auf circa 1.11 Mio. Pkm, jedoch mit automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Pkm rasant auf circa 1.69 Mio. Pkm, welches jedoch noch deutlich unterhalb des Wertes im Referenzszenario liegt. Der wahrscheinliche Grund für diese gegenüber dem Referenzszenario niedrige gesMIV-Pkm dürfte die schon angesprochene hohe «MIV-Sättigung» im ländlichem Raum sein. Diese hohe «MIV-Sättigung» führt dazu, dass viele Fahrten die mit dem privaten Fahrzeug zurückgelegt worden nur knapp ein besseres Nutzen haben als die der ÖV- oder LV-Alternativen. Wenn dann der Privatfahrzeugbesitz zurückgeht, ist der Nutzen einer solchen Fahrt mit einem automatisierten Taxi aufgrund seinen doch etwas höheren

Kilometerkosten und der Wartezeiten knapp niedriger als die entsprechende Fahrt mit dem ÖV und LV.

Exkurs: Kalibrationskommentar zum Modal Split nach Distanzklassen im Gebiet LG: Der LV wird unterschätzt, alle anderen Modi, besonders MIV, überschätzt. Jedoch angenommen, dass der ÖV etwa 20%, die Mitfahrer etwa 10%, und der MIV etwa 5% überschätzt werden und dass dieser Fehler unverändert durch das Modell getragen wird, würde die ermittelte Verlagerung der Wege und Pkm zum ÖV im Referenzszenario 2050 nicht wesentlich ändern.

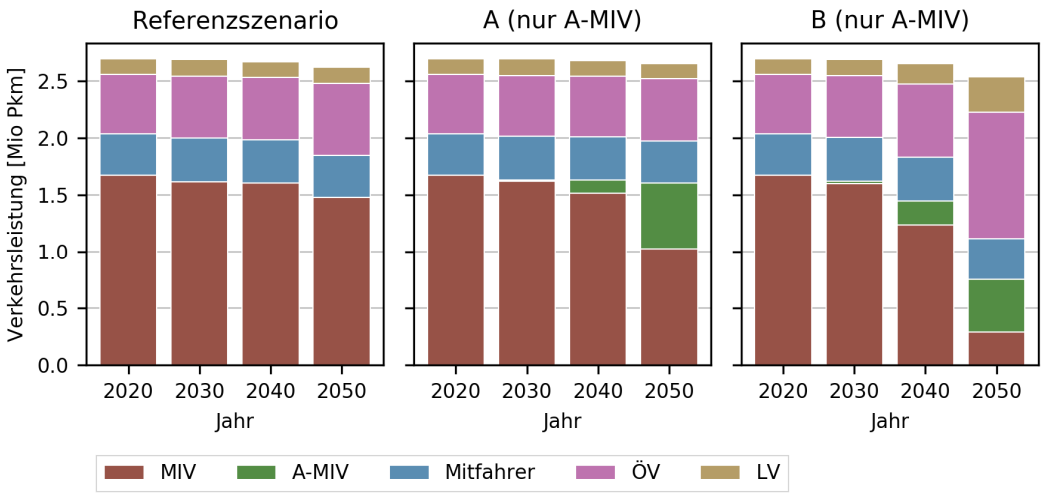


***Abb. 118**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «LG» (Chur & Region), ohne automatisierte Taxis*

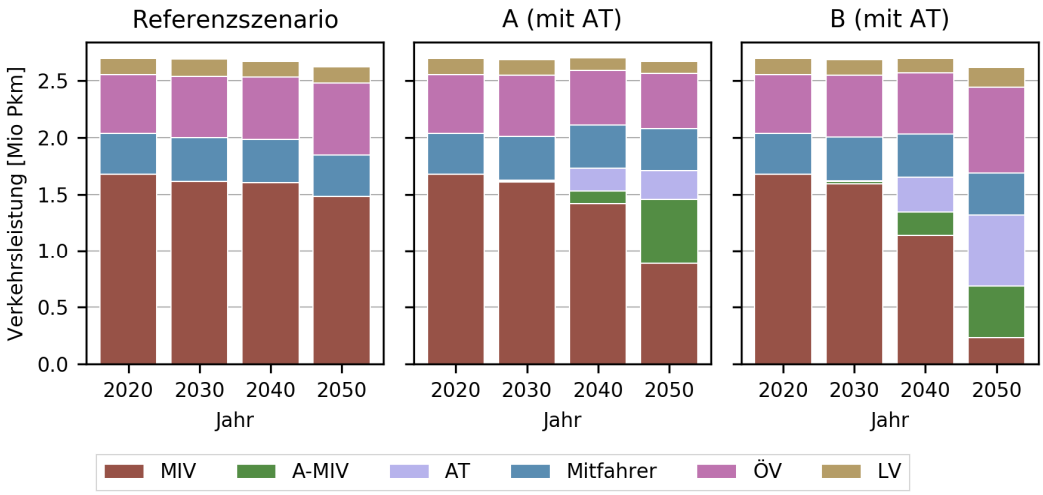


***Abb. 119**: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Jahr und Szenario für die Region «LG» (Chur & Region), mit automatisierten Taxis*

In der Verkehrsmittelverteilung der Wege (siehe **Tab. 51** und **Tab. 52**) ist wieder der Trend zum ÖV in Szenario B erkennbar, zu dem schon mögliche Erklärungen im Rahmen der Pkm diskutiert wurden. Somit ist nur im Szenario A (ohne automatisierte Taxis) und im Szenario A (mit automatisierten Taxis) eine deutliche Erhöhung des Anteils des gesMIV gegenüber dem Referenzszenario zu erkennen.

***Tab. 51**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region «LG» (Chur & Region), ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	48.1	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
Referenzszenario	2030	46.6	0.0	9.7	11.1	32.6	46.6	56.3
Referenzszenario	2040	46.6	0.0	9.8	11.1	32.4	46.6	56.5
Referenzszenario	2050	44.2	0.0	10.1	12.9	32.8	44.2	54.3
A (nur A-MIV)	2020	48.1	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
A (nur A-MIV)	2030	46.9	0.2	9.7	10.9	32.3	47.1	56.8
A (nur A-MIV)	2040	43.9	3.1	9.8	10.8	32.3	47.0	56.8
A (nur A-MIV)	2050	30.6	15.8	10.1	11.7	31.8	46.4	56.5
B (nur A-MIV)	2020	48.1	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
B (nur A-MIV)	2030	46.2	0.7	9.7	10.9	32.5	46.9	56.6
B (nur A-MIV)	2040	35.7	6.1	9.9	13.2	35.2	41.8	51.6
B (nur A-MIV)	2050	8.9	12.4	10.2	23.6	45.0	21.3	31.5

***Tab. 52**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region «LG» (Chur & Region), mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
Referenzszenario	2030	46.6	0.0	0.0	9.7	11.1	32.6	46.6	56.3
Referenzszenario	2040	46.6	0.0	0.0	9.8	11.1	32.4	46.6	56.5
Referenzszenario	2050	44.2	0.0	0.0	10.1	12.9	32.8	44.2	54.3
A (mit AT)	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
A (mit AT)	2030	46.3	0.2	0.7	9.7	10.8	32.3	47.2	56.9
A (mit AT)	2040	40.7	3.0	4.8	9.8	9.9	31.7	48.5	58.3
A (mit AT)	2050	26.8	15.1	6.1	10.1	10.7	31.2	48.1	58.1
B (mit AT)	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
B (mit AT)	2030	45.9	0.7	0.7	9.7	10.8	32.1	47.3	57.1
B (mit AT)	2040	32.6	5.8	6.8	9.8	11.3	33.8	45.1	55.0
B (mit AT)	2050	7.4	11.7	13.8	10.1	16.7	40.2	32.9	43.0

Wie auch in der Region SA ist zu sehen, dass die Nutzer der privaten AF hauptsächlich ehemalige konventionelle PW Nutzer sind (**Abb. 120**). Auch die Kunden der automatisierten Taxis kommen im Wesentlichen von den gleichen Verkehrsmitteln wie in der Region SA, obwohl in der Region LG die Nutzer der automatisierten Taxis wahrscheinlicher ehemalige Fussgänger oder Radfahrer sind (**Abb. 121**) als dies in der Region SA der Fall ist.

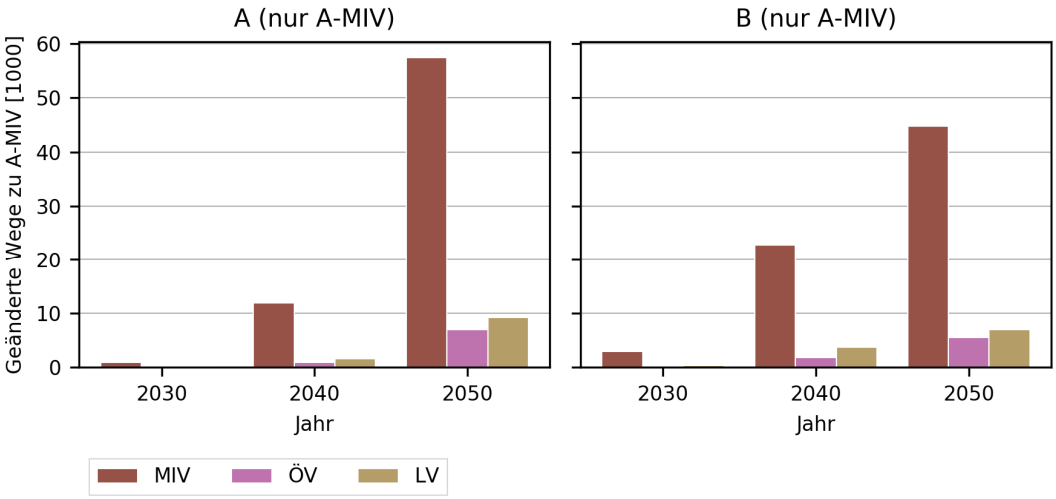


***Abb. 120**: Wegeverlagerung von MIV, ÖV, und LV auf A-MIV zwischen AF-Szenarien A und B und die entsprechenden Referenzszenarien nach Jahr, ohne automatisierte Taxis, Region «LG»*

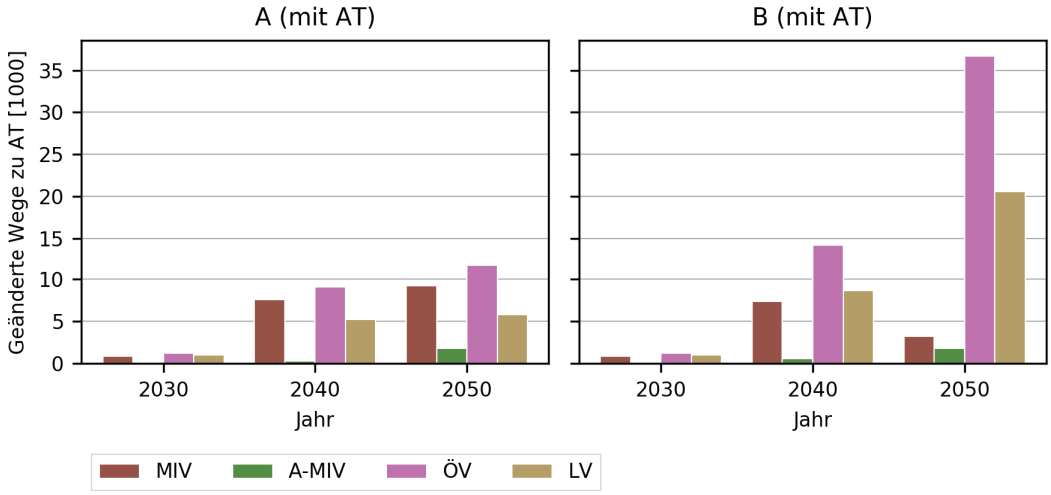


***Abb. 121**: Wegeverlagerung von MIV, A-MIV, ÖV, und LV auf automatisierten Taxis zwischen AF-Szenarien A und B mit automatisierten Taxis und die entsprechenden Szenarien ohne automatisierten Taxis nach Jahr für die Region «LG»*

Für die Fahrzeugkilometer ist deutlich, dass die Kombination von private AF und automatisierten Taxis einen erheblichen Einfluss haben: Im Kontrast zu die gesMIV-Pkm steigen die auf der Strasse gefahrene Fahrzeugkilometer, wenn private AF und automatisierte Taxis verfügbar sind (Szenario A, mit automatisierten Taxis), obwohl ein Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenario B, mit automatisierten Taxis) diese Tendenz ausgleichen kann und ein mässiger Rückgang der gesMIV-Fzg-km bewirkt. Wenn die automatisierten Taxis nicht verfügbar sind, sinken die Fahrzeugkilometer (Referenzszenario und Szenario B, ohne automatisierten Taxis) oder stagnieren (Szenario A, ohne automatisierten Taxis) im ähnlichen Ausmass wie die gesMIV-Pkm, wie in Abb. **122** und Abb. **123** zu sehen ist. In Zahlen gefasst: im Grundszenario liegen die gesMIV-Fzg-km bei etwa 1.68 Mio.-Fzg-km. Sie sinken kontinuierlich – langsam vor 2040, dann schnell - bis sie im Referenzszenario 2050 bei etwa 1.48 Mio. Fzg-km liegen. In Szenario A 2050 sinken mit privaten AF die gesMIV-Fzg-km nur bis 1.61 Mio. Fzg-km und mit den automatisierten Taxis steigen sie auf circa 1.81 Mio. Fzg-km. Davon sind circa 0.09 Mio. Fzg-km Leerfahrten von automatisierten Taxis. In Szenario B 2050 sinken mit dem

Rückgang im Privatfahrzeugbesitz trotz Zuteilung von private AF die gesMIV-Fzg-km auf circa 0.75 Mio. Fzg-km, jedoch mit den automatisierten Taxis steigen die gesMIV-Fzg-km rasant auf circa 1.51 Mio. Fzg-km. Davon sind circa 0.18 Mio. Fzg-km Leerfahrten von automatisierten Taxis. Wie vorher erwähnt, erklärt sich der generelle Rückgang der Fahrzeugkilometer über die Jahre in der Region LG durch die Alterung der Bevölkerung. Dass in Szenario A (mit automatisierten Taxis) dieser Rückgang umgekehrt wird, zeigt, wie stark die automatisierten Taxis die auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer erhöhen können. Und dass in der Region LG in Szenario B (mit automatisierten Taxis) die Fahrzeugkilometer unterhalb derjenigen im Grundszenario liegen kann, kann höchstwahrscheinlich auch der Alterung der Bevölkerung zugeschrieben werden. Somit ist nicht nur für die Region SA und LU, sondern auch für die Region LG folgendes zu erkennen. Der Rückgang der Fahrzeugkilometer aufgrund des Rückgangs des Privatfahrzeugbesitzes wird durch die automatisierten Taxis kompensiert und führt gegenüber dem Referenzszenario dazu, dass die zurückgelegten Fzg-km sogar steigen oder mindestens deutlich weniger zurückgehen. Jedoch ist dieser verkehrsvermehrenden Effekt weniger stark mit einem Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes (Szenario B mit automatisierten Taxis) als ohne (Szenario A mit automatisierten Taxis).

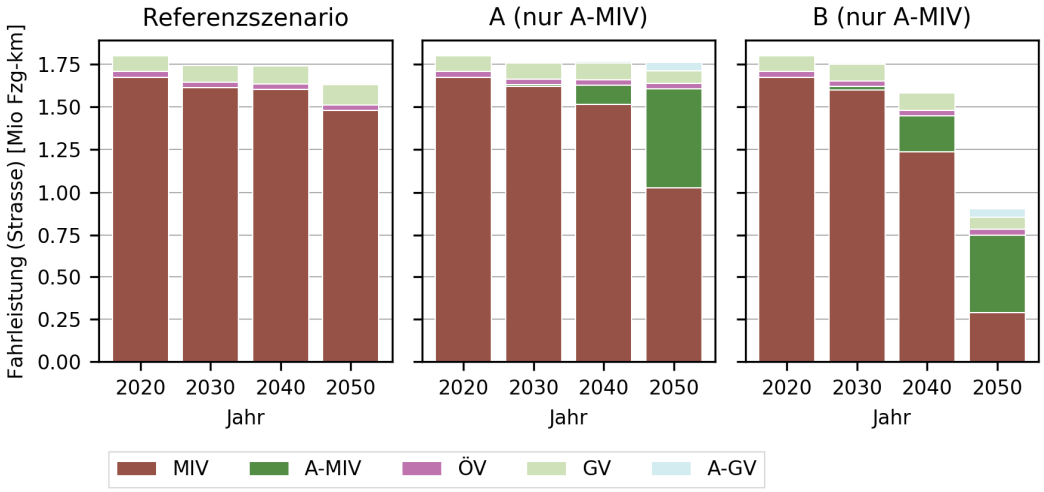


***Abb. 122**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region) ohne automatisierte Taxis*

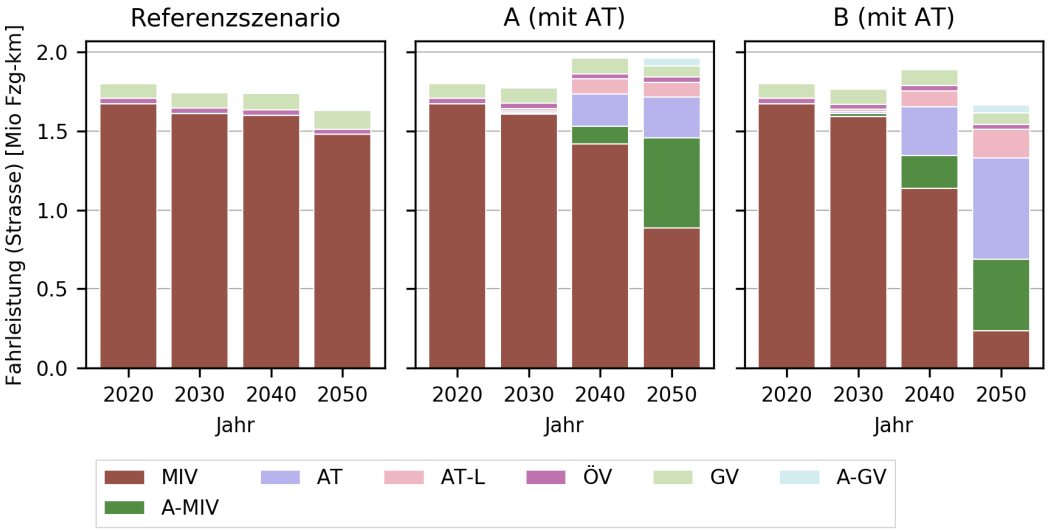


***Abb. 123**: Entwicklung der Fahrleistung auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region) mit automatisierten Taxis*

Räumliche Belastungsänderungen im HLS Netz

Wie sich diese Verkehrsmittelwahl-Entscheidungen auf die Verkehrsbelastungen der Hochleistungsstrassen auswirken, ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Dabei werden die Belastung sowohl in PCU als auch in Fahrzeugen dargestellt. Bezüglich Kapazität und Auslastung sind die PCU-Werte relevant. Die Belastungsänderungen in Fahrzeugen werden aufgeführt, um die Auswirkungen der AF-Durchdringungsraten erkennbar zu machen. Das Thema Auslastung wird in Kapitel 6 behandelt.

In der Region LG sind folgende Tendenzen deutlich. In den Referenzszenarien ist ab 2040 zu sehen wie die Belastungen in Fahrzeugen stagnieren oder zurückgehen während die Belastungen in PCUs zunehmen. Dieser Trend ist durch den steigenden Anteil des Güterverkehrs plausibel. Diese Tendenz war auch bei den nationalen Szenarien erkannt worden. Jedoch ist hier ein Kommentar zur Kalibration im Güterverkehr in der Region LG nötig: in der Region LG zeigt die Kalibration des Grundszenarios 2020, dass der Güterverkehr gegenüber den Zählstellen mit bis zu +20% überschätzt wird, während die PW eher realitätsnah eingeschätzt werden. Daher sollten die gegenüber den anderen Regionen stärkeren Güterverkehrsanteile kritisch betrachtet werden und nicht ohne weitere Analyse als Ergebnis verwendet werden. Sollte der Güterverkehr stärker zunehmen als der Personenverkehr, könnten dieses zu einem Rückgang in Fahrzeugen aber eine Steigerung in PCUs führen, trotz Einführung vom automatisierten Fahren. Somit wird angeraten, den automatisierten Güterverkehr näher zu betrachten.

Wie in der Region SA, sieht man in der Region LG einen stärkeren Einfluss der automatisierten Taxis in der Nähe von Bevölkerungszentren, in diesem Fall von Chur. Dort ist der Kontrast zwischen Belastungsänderungen in Fahrzeugen und die Belastungsänderungen in PCU am höchsten.

Generell zeigt sich wieder, wie durch automatisierten Taxis die Belastung in Fahrzeugen steigt, während je nach Durchdringungsgrad des AFs die Belastungszunahme in PCU weniger stark steigt oder sogar sinkt.

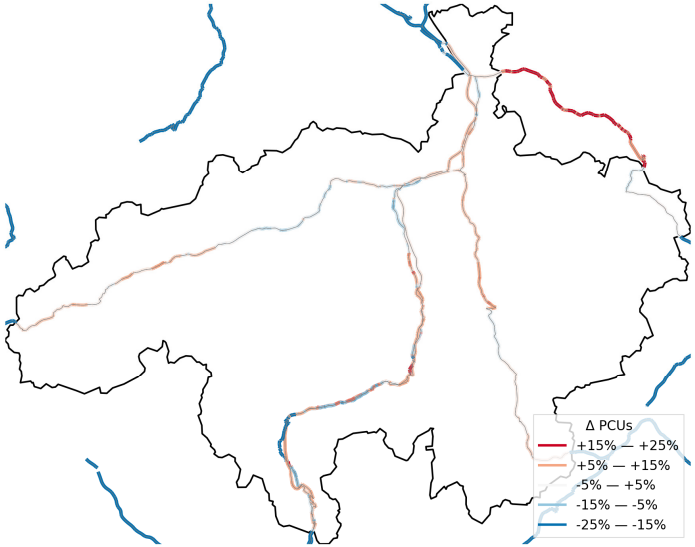


***Abb. 124**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2030*

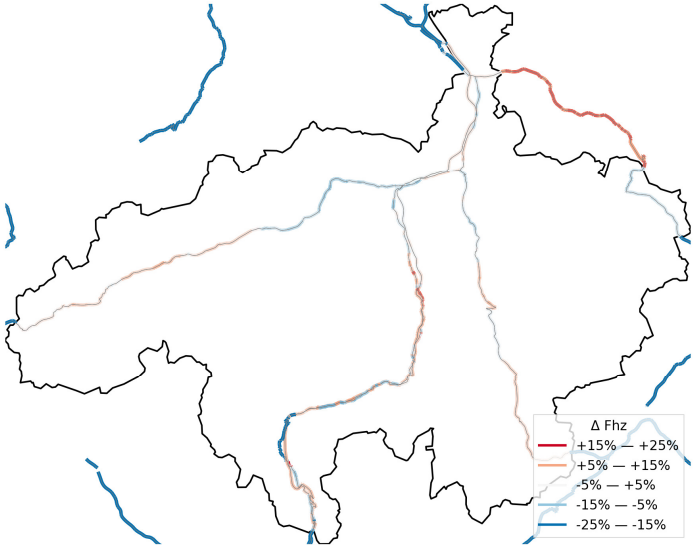


***Abb. 125**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2030*

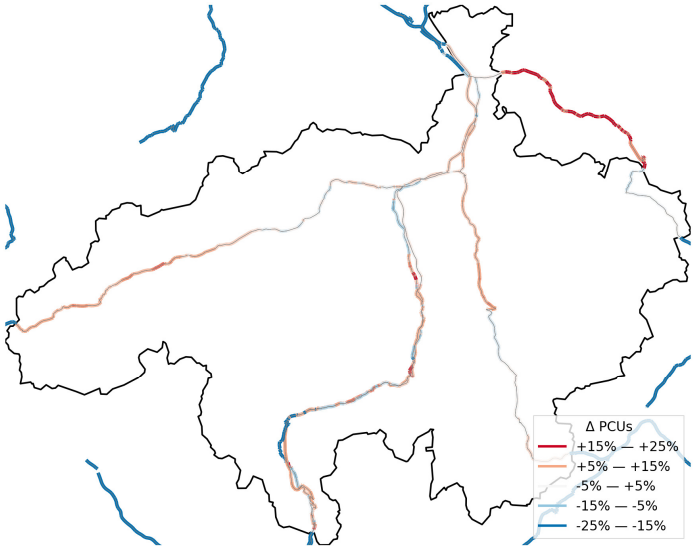


***Abb. 126**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

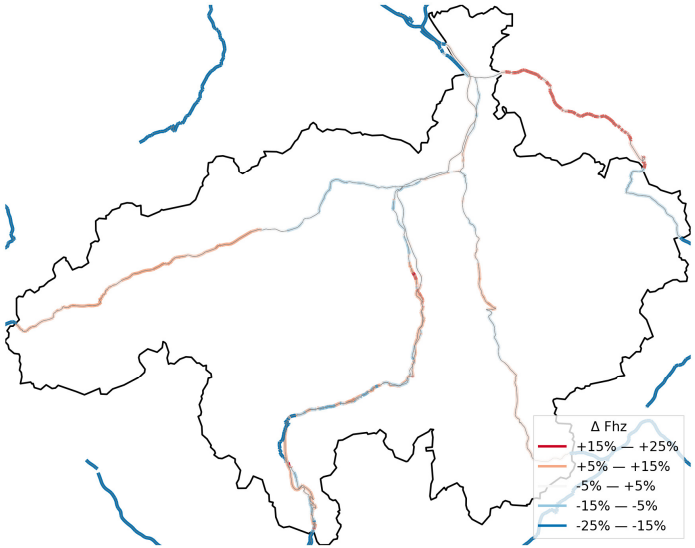


***Abb. 127**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2030*

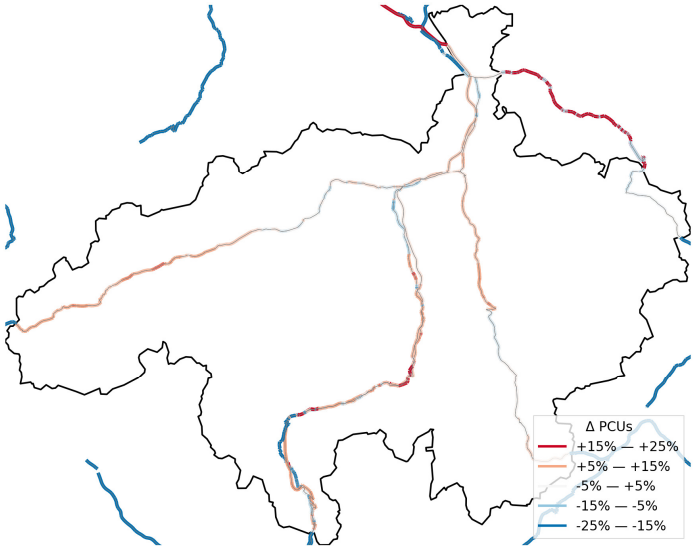


***Abb. 128**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

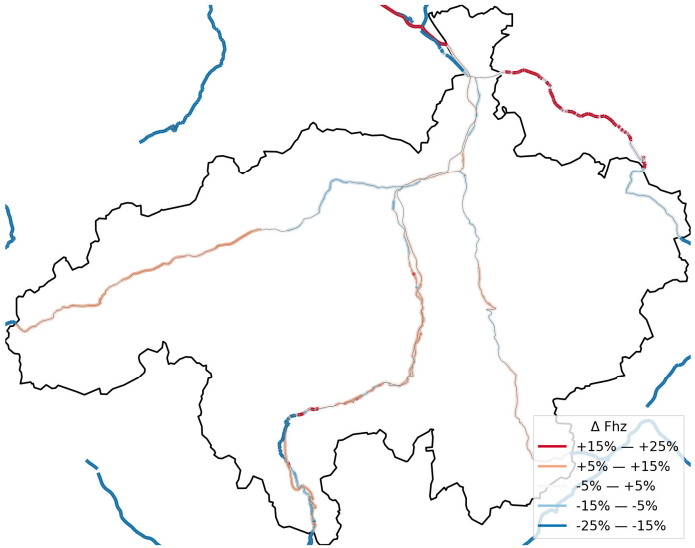


***Abb. 129**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2030*

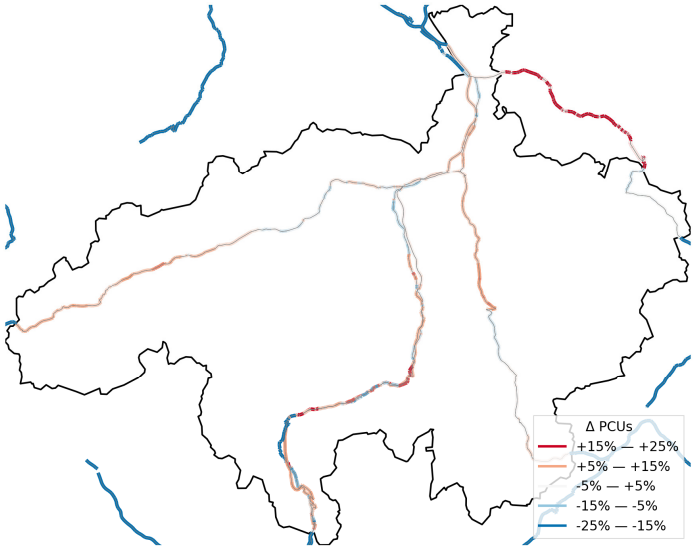


***Abb. 130**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (nur A-MIV) 2030*

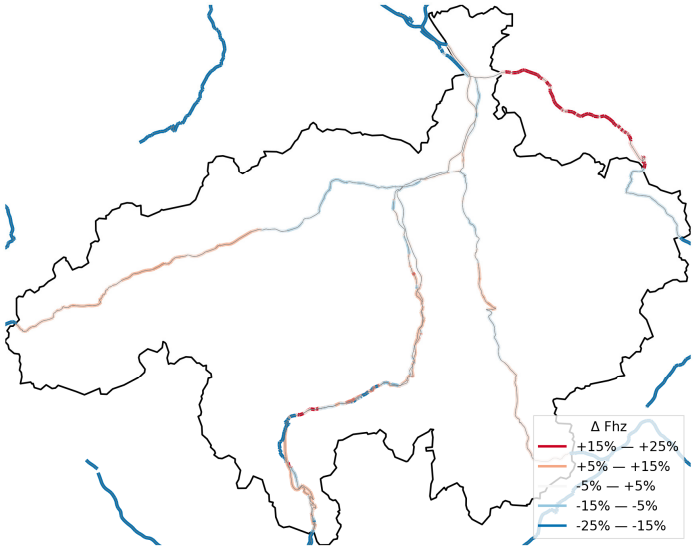


***Abb. 131**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B(nur A-MIV) 2030*

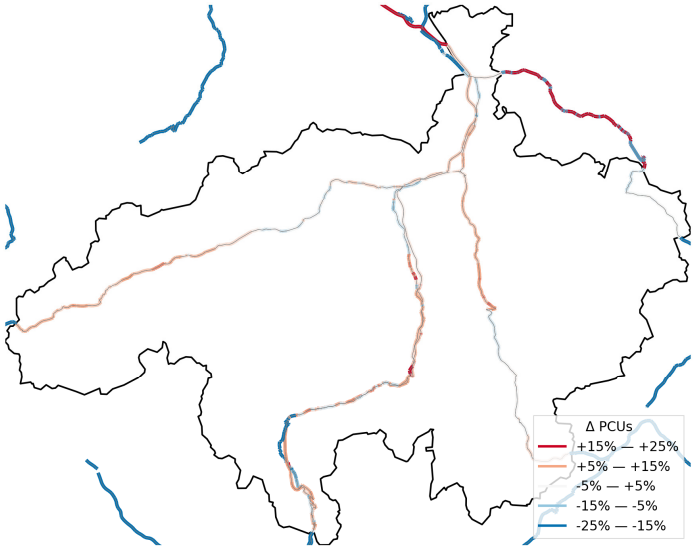


***Abb. 132**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

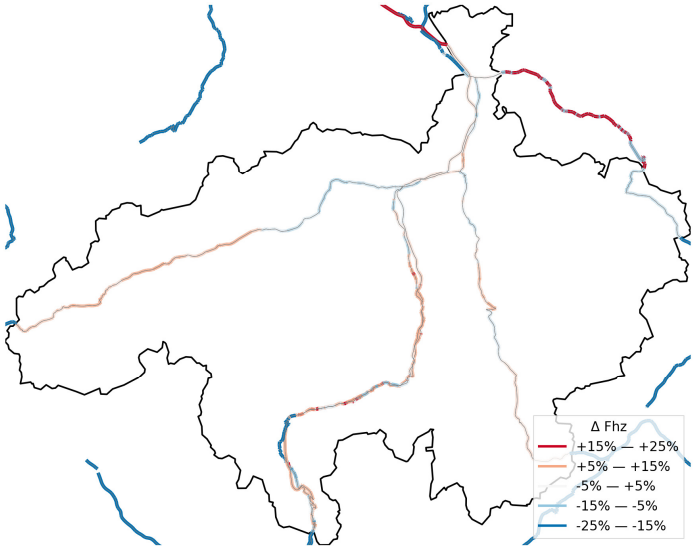


***Abb. 133**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2030*

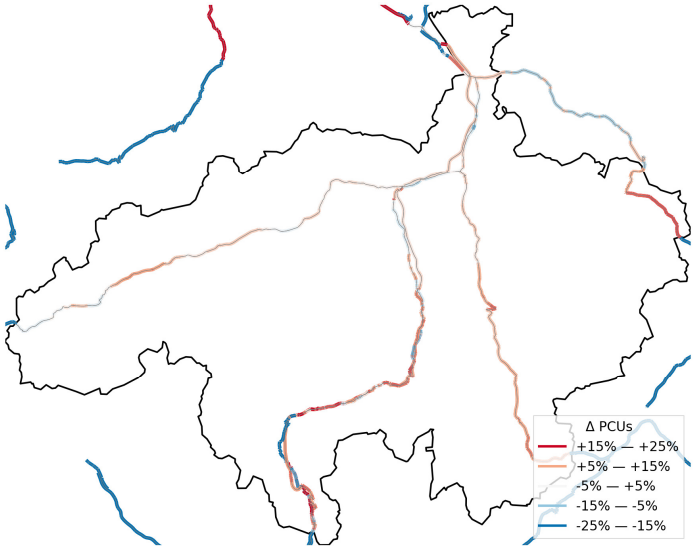


***Abb. 134**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2040*

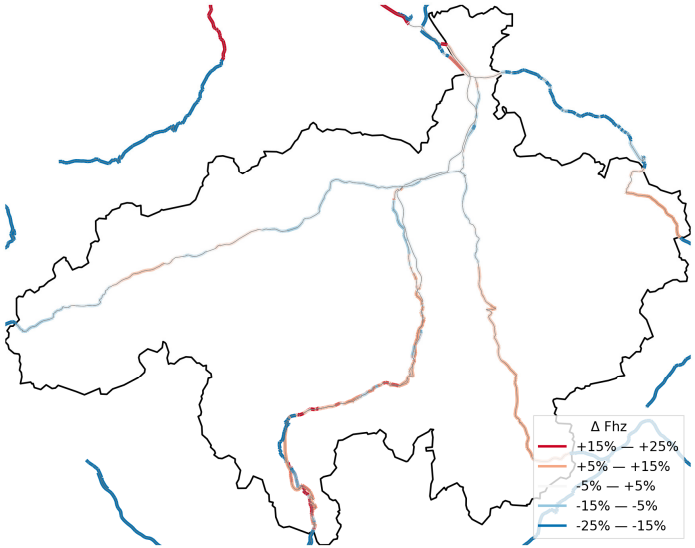


***Abb. 135**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2040*

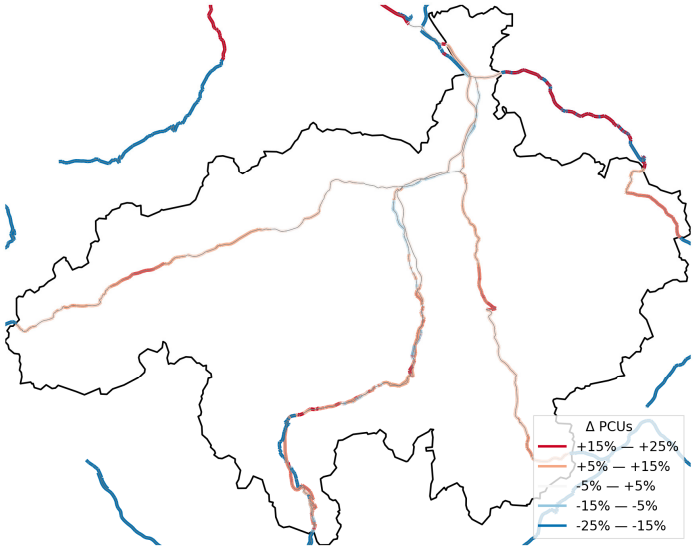


***Abb. 136**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

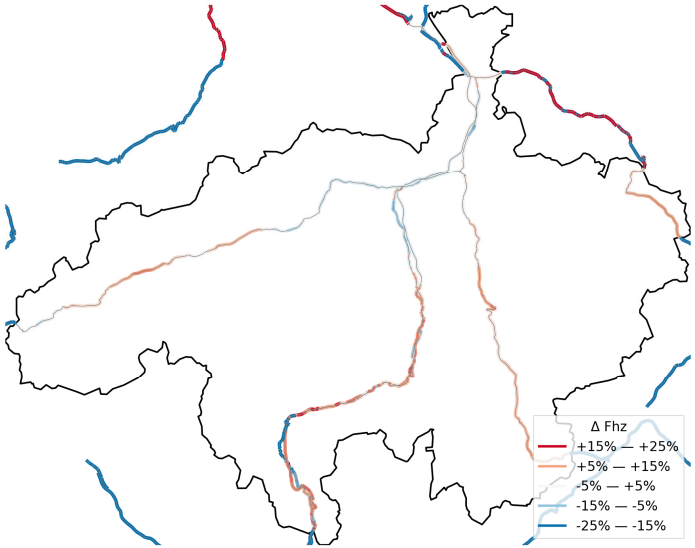


***Abb. 137**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2040*

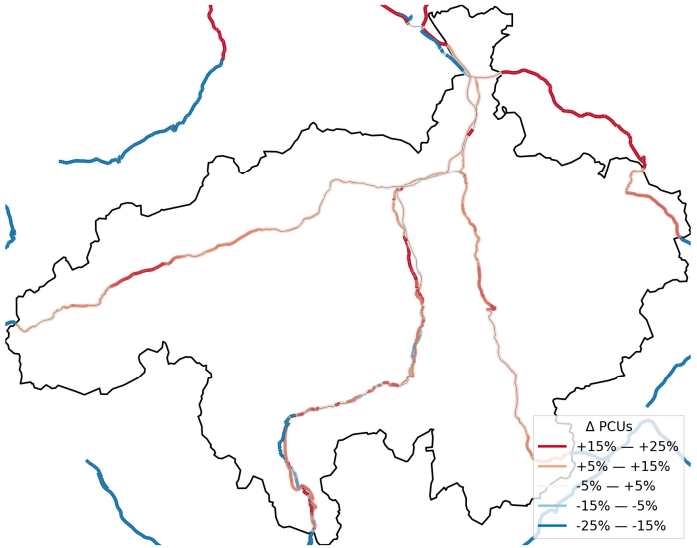


***Abb. 138**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2040*

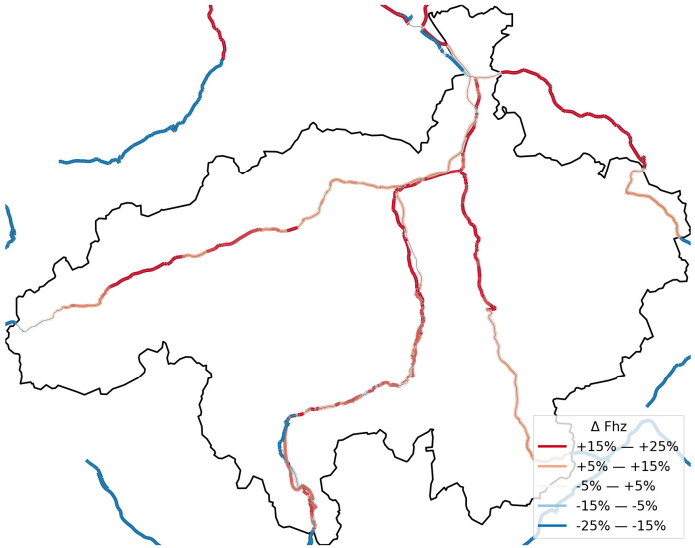


***Abb. 139**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2040*

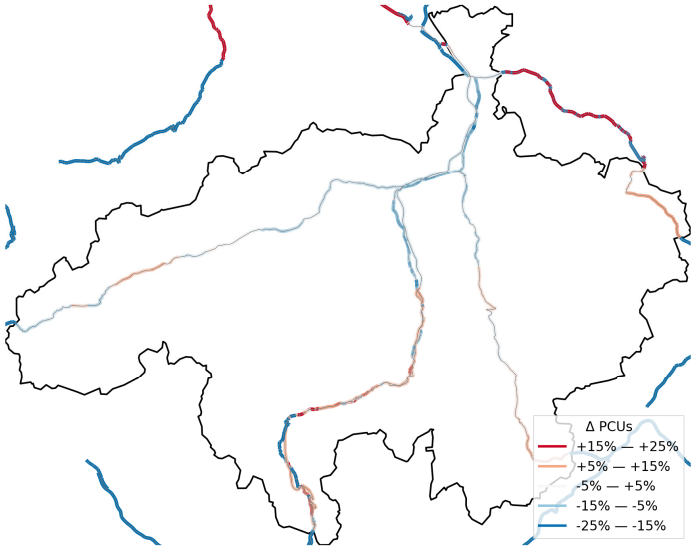


***Abb. 140**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

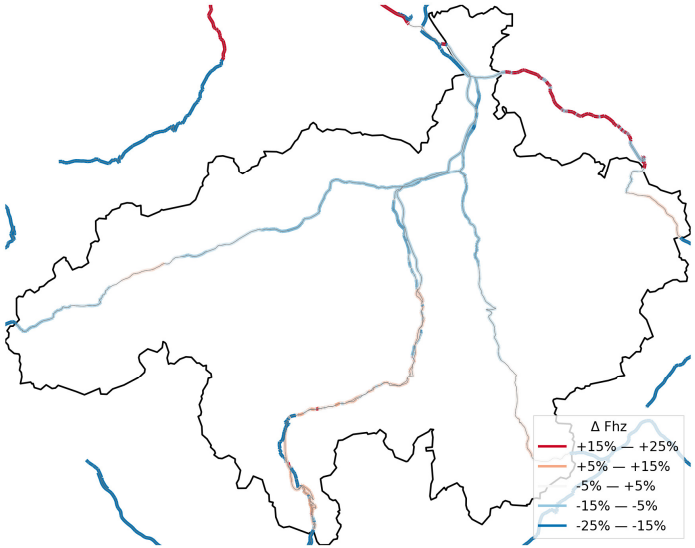


***Abb. 141**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (nur A-MIV) 2040*

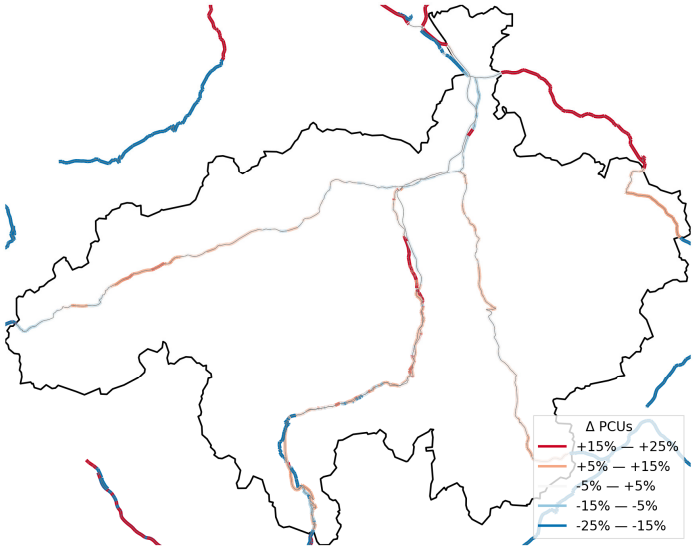


***Abb. 142**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

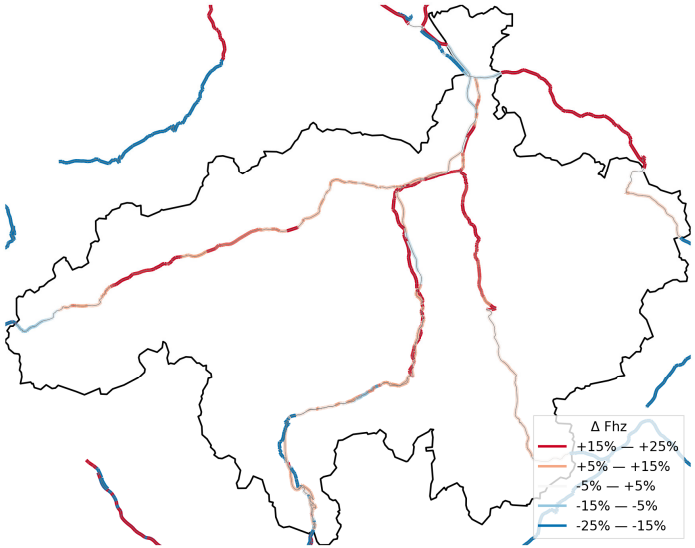


***Abb. 143**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2040*

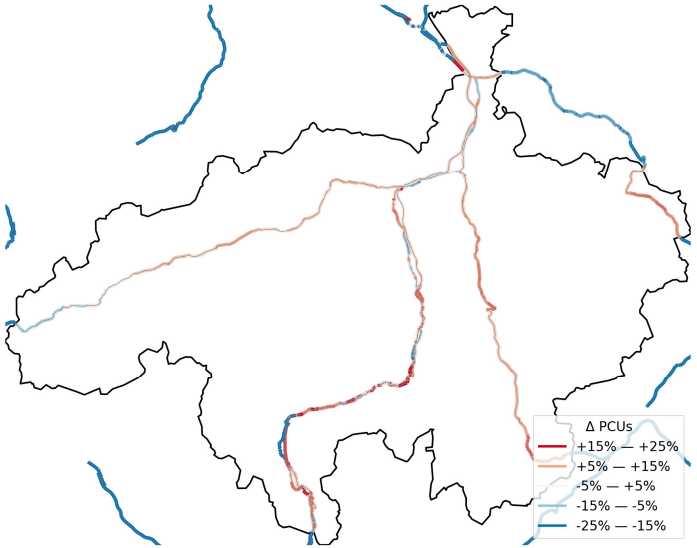


***Abb. 144**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2050*

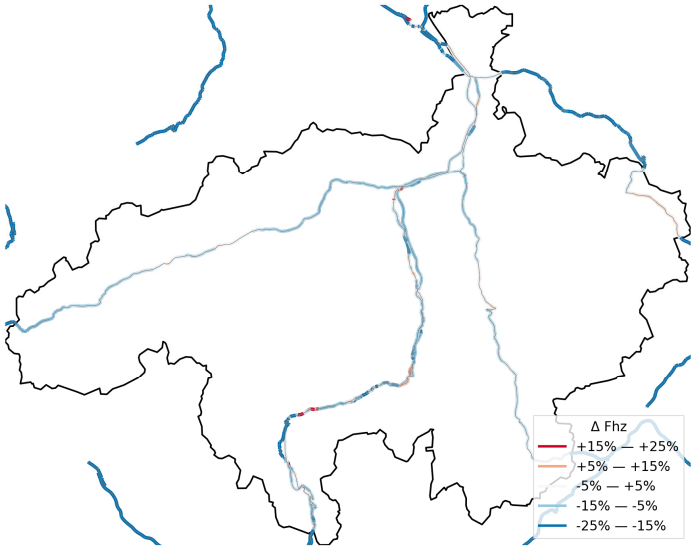


***Abb. 145**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Referenzszenario 2050*

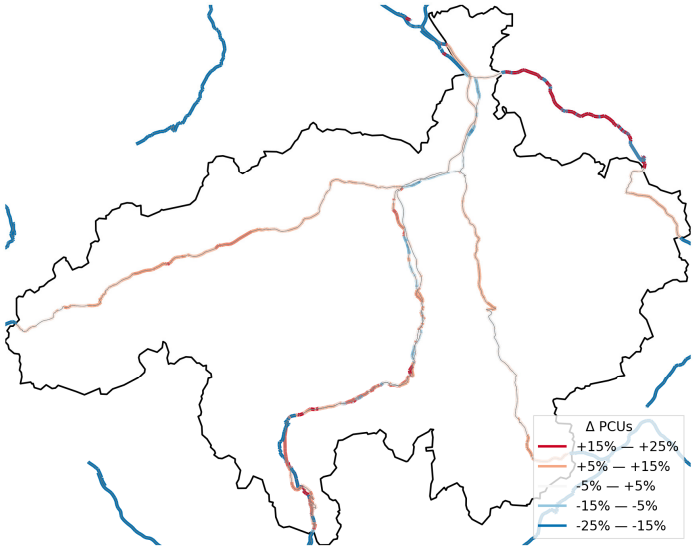


***Abb. 146**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

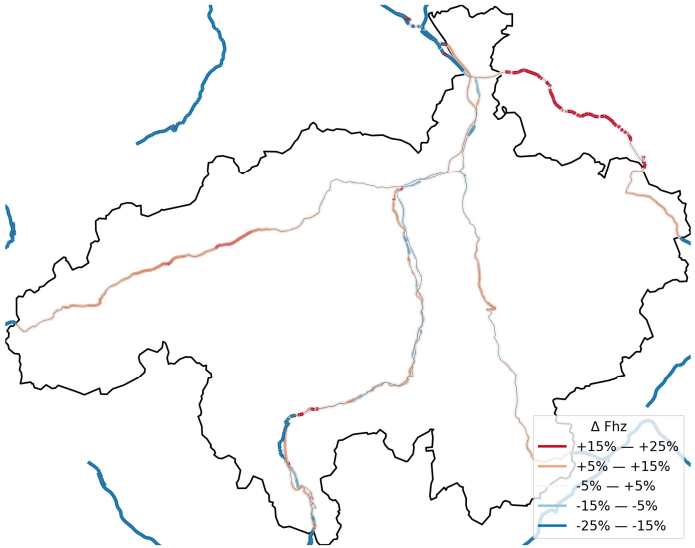


***Abb. 147**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (nur A-MIV) 2050*

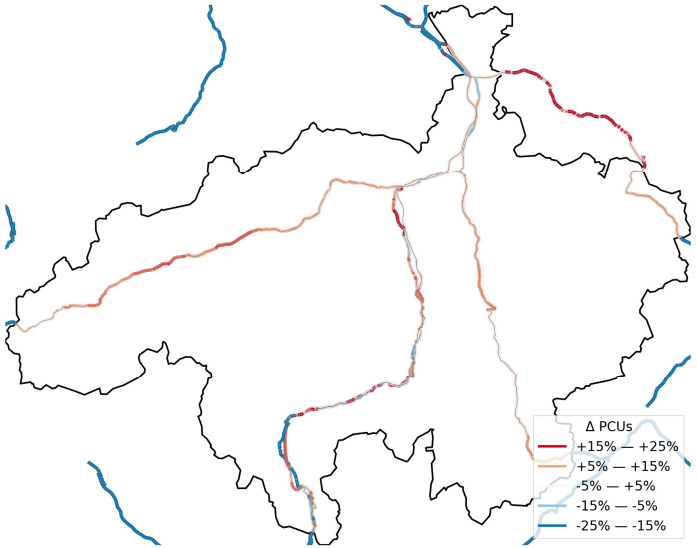


***Abb. 148**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

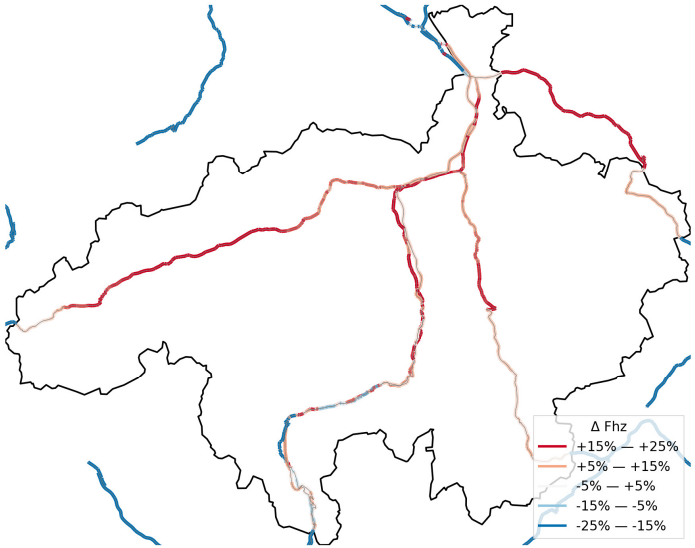


***Abb. 149**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050*

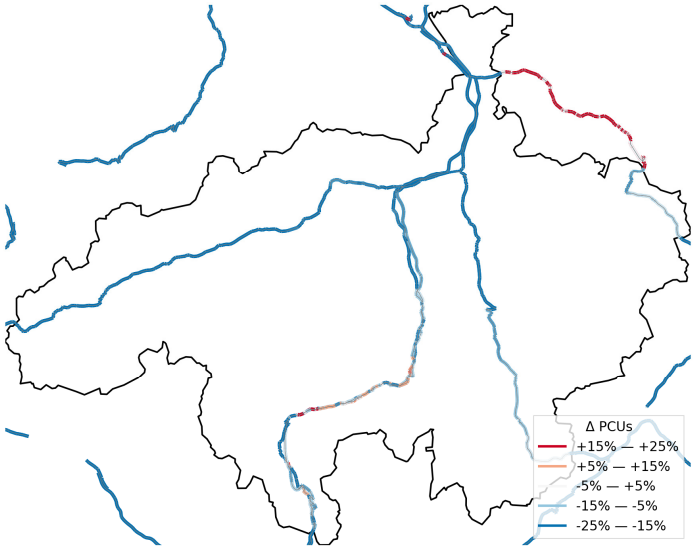


***Abb. 150**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

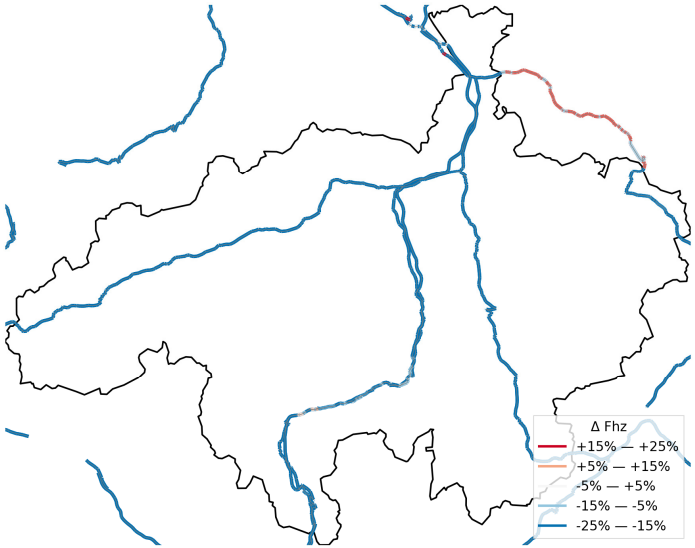


***Abb. 151**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (nur A-MIV) 2050*

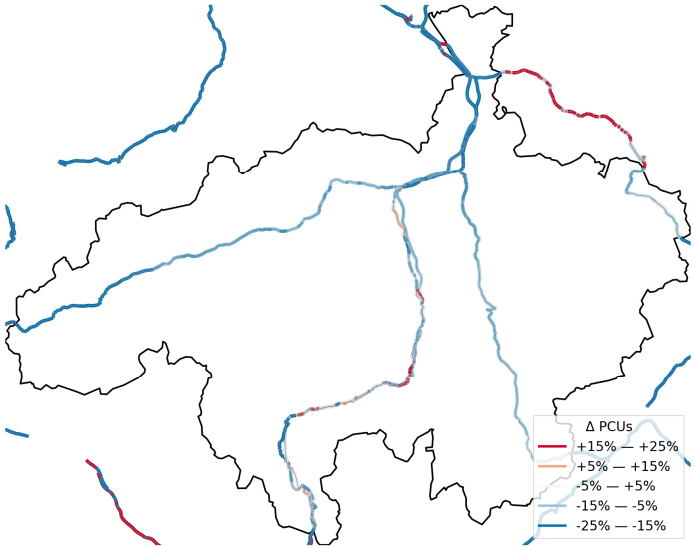


***Abb. 152**: Belastungsänderungen (Tageswerte in PCU) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

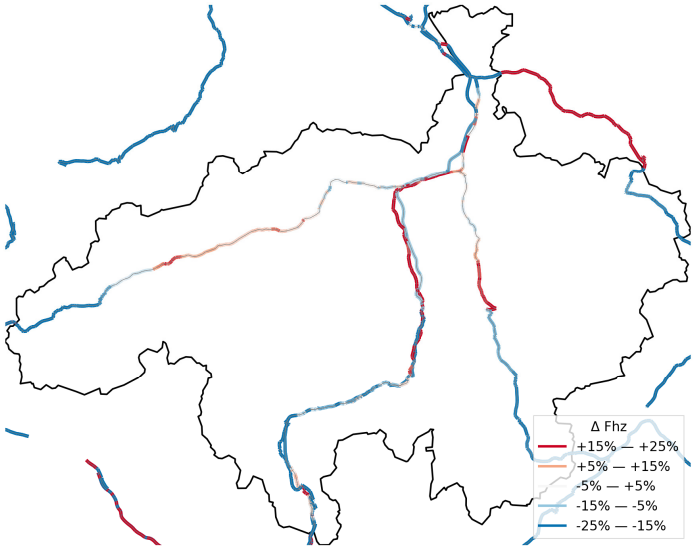


***Abb. 153**: Belastungsänderungen (Tageswerte in Fahrzeuge) auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 für die Region «LG»: Szenario B (mit automatisierten Taxis) 2050*

Die Änderungen der durchschnittlichen Reisedistanz, Geschwindigkeit und Reisezeit pro Weg zwischen den Szenarien im Vergleich zum Grundzustand sind gering (es muss auf die Skala der Abbildungen geachtet werden). Sie geben aber Hinweise für mögliche Interpretationen.

In der Region LG ist es besonders deutlich, dass die Reisedistanzen der privaten AF länger sind als die der konventionellen Privatfahrzeuge. Auch die Tendenz der automatisierten Taxis, die durchschnittliche Reisedistanz der mit dem gesMIV (in den Abbildungen als «Strasse» bezeichnet) zurückgelegt wird zu erhöhen, ist deutlicher in der Region LG. Zusammen mit dem Rückgang der Reisedistanz im ÖV ist dies ein weiterer Hinweis, dass AF dem ÖV besonders auf längere Strecken (>10km) starke Konkurrenz machen können. Dieser Effekt sollte tiefer erforscht werden.

Zu bemerken ist, das in Szenario B (ohne automatisierte Taxis) sowie als auch Szenario B (mit automatisierten Taxis) die durchschnittliche Reisezeit eines Weges steigt (**Abb. 156** und **Abb. 159**), obwohl die durchschnittliche Distanz nicht steigt Dieses ist wahrscheinlich ein Effekt des höheren ÖV-Anteils. Im Referenzszenario und den «A» Szenarien ist dieses Mass etwa konstant.

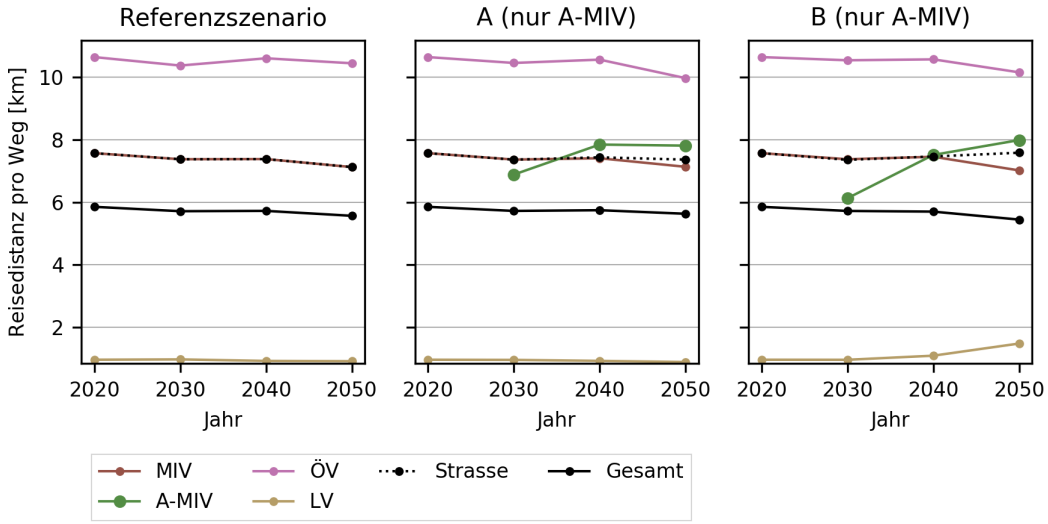


***Abb. 154**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), ohne automatisierte Taxis*

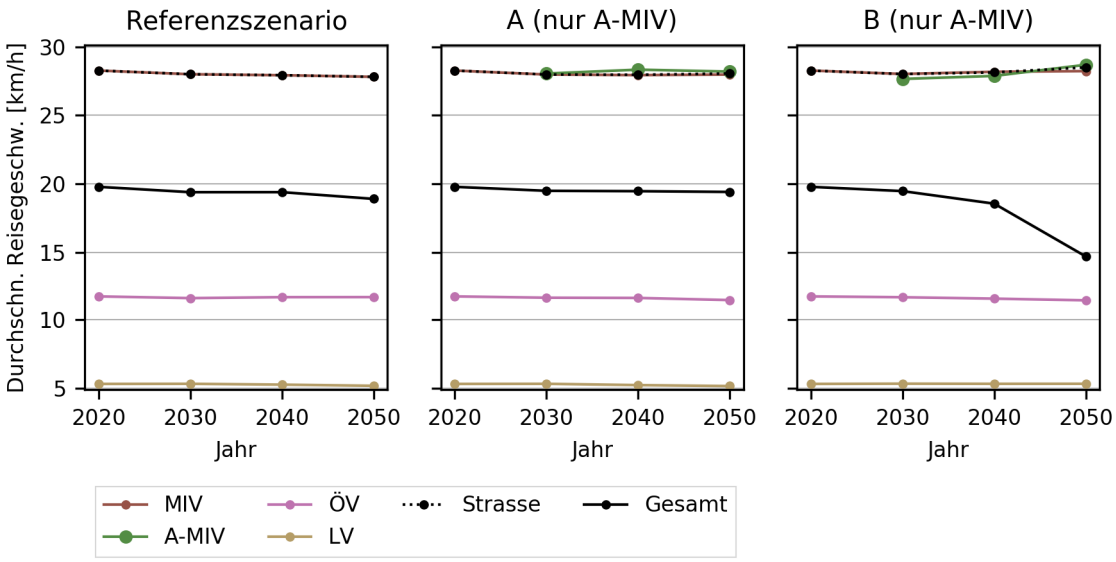


***Abb. 155**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), ohne automatisierte Taxis*

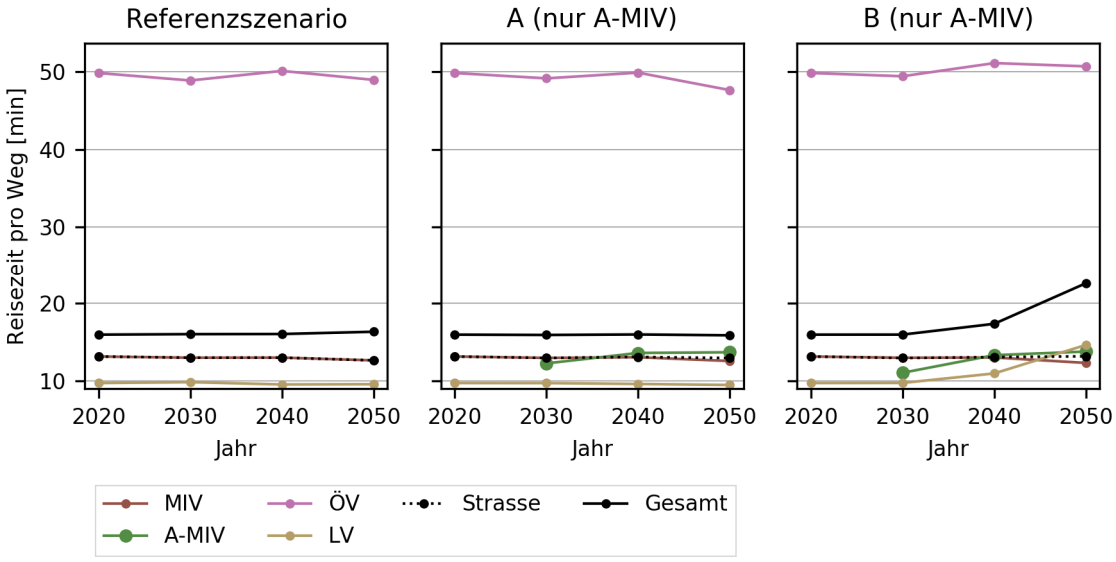


***Abb. 156**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), ohne automatisierte Taxis*

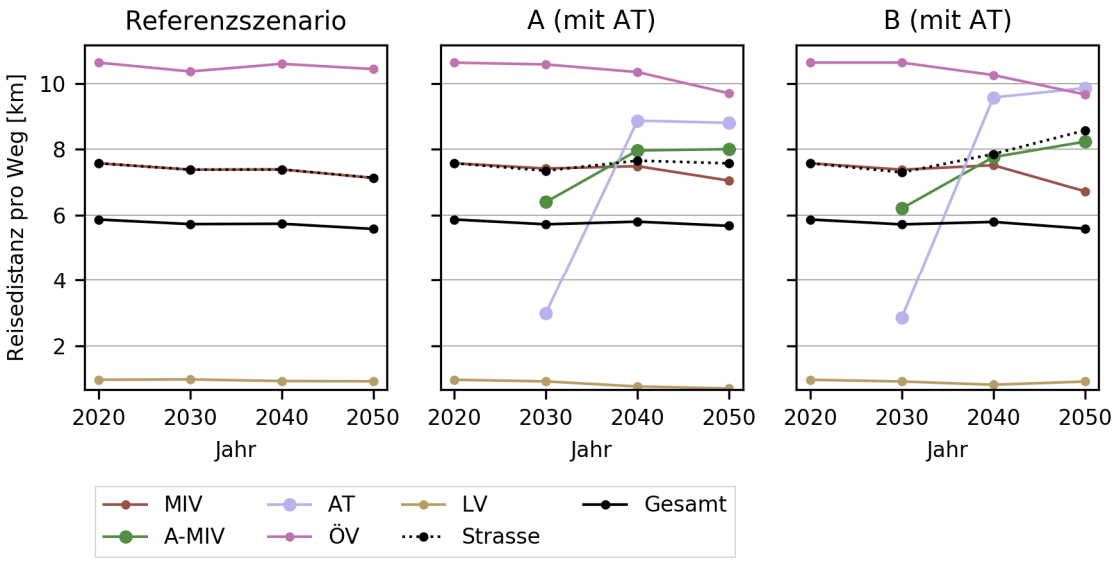


***Abb. 157**: Reisedistanz pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), mit automatisierten Taxis*

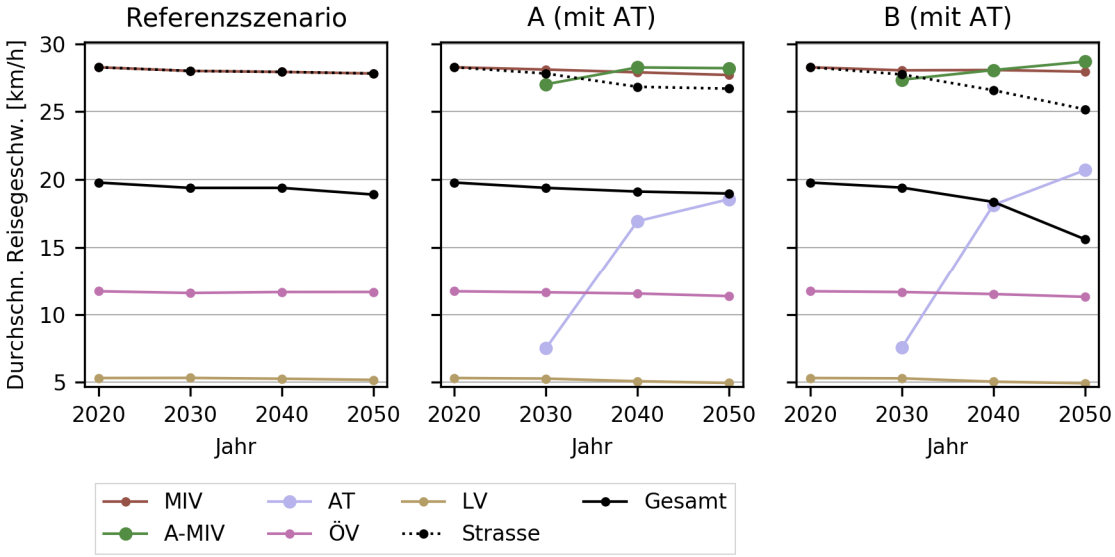


***Abb. 158**: Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (über dem gesamten Weg, nicht nur während der Fahrt) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), mit automatisierten Taxis*

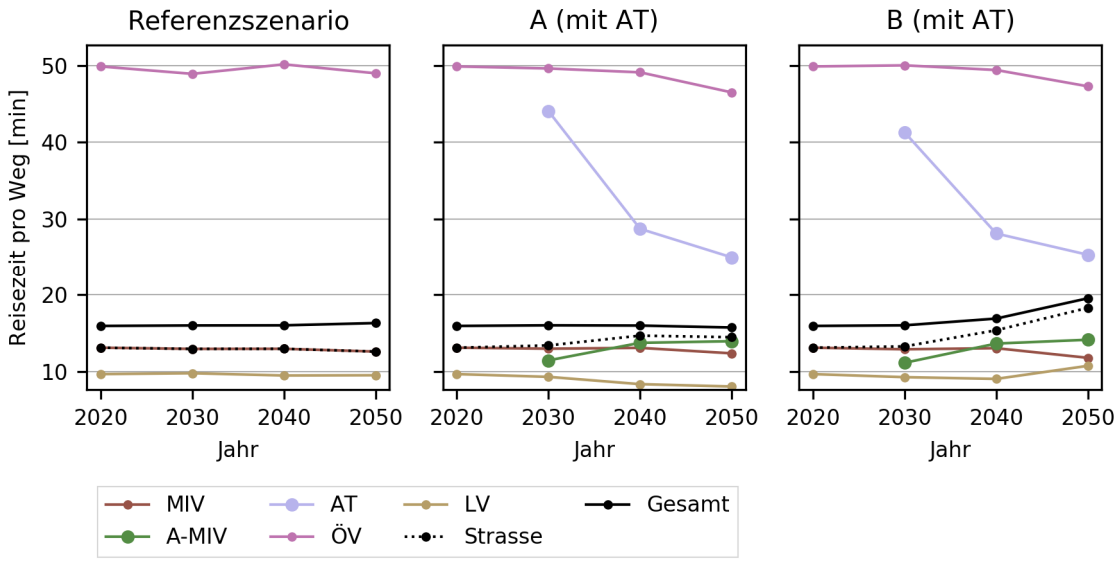


***Abb. 159**: Durchschnittliche Reisezeit (inklusiv Zugangs-, Abgangs- und Wartezeiten und pauschale Parksuchzuschlag) pro Weg nach Jahr und Szenario in der Region «LG» (Chur & Region), mit automatisierten Taxis*

5.2 Sensitivitäten

Die folgenden Abschnitte verändern die Grundparameter der Simulationen um deren Sensitivität bezüglich verschiedener Alternativszenarien zu analysieren. Diese Szenarien wurden für das Jahr 2050 durchgeführt und wurden wie folgt definiert:

Keine Senkung der ÖV-Fahrpreise (Sensitivität 1)

Während in den Simulationen der ersten Simulationsrunde – welche in Kapitel 5.1 beschrieben wurden und fortlaufend die «Phase 1» genannt werden - eine Preisreduktion des ÖV für das Jahr 2050 angenommen wird, werden in Kapitel 5.2.1 Simulationen vorgestellt, in denen die Preisreduktion nicht vorgenommen wird. Diese Sensitivität stellt somit den Fall dar, in dem die geschätzten Kostenreduktionen im ÖV nicht so stark ausfallen wie angenommen, oder den Fall, in dem die Kostenreduktionen mit einer Senkung der Subventionen verrechnet werden. Bezüglich der Szenarioparameter wird diese Sensitivität abgebildet, indem die Preise für den ÖV konstant auf dem Niveau des Grundszenario 2020 der Phase 1 gehalten werden.

Höhere Zeitkosten für Automatisierte Fahrzeuge (Sensitivität 2)

Automatisierte Fahrzeuge versprechen höheren Komfort und eine bessere Nutzung der Zeit, die im Fahrzeug verbracht wird, verglichen mit herkömmlichen Fahrzeugen. Jedoch wie TP6 beschreibt (Del Duce, Trachsel, & Hoerler, 2019), weisen aktuelle Studien darauf hin, dass der Komfort eventuell nicht so stark steigen würde, da aufgrund der Fahrzeugbewegungen viele Aktivitäten nicht effizient durchgeführt werden können (Schwindel beim Lesen, etc.). Die Simulationen für Sensitivität 2 haben somit die Aufgabe, eine schlechtere Wahrnehmung der Reisezeit im AF abzubilden als in den Simulationen der Phase 1. Anstatt eines VOT von 17.14 CHF/Stunde wurde nun ein VOT von 22.33 CHF/Stunde für private automatisierte Fahrzeuge definiert. Die VOT der automatisierten Taxis wurden auch angepasst.

***Tab. 53**: Szenario Annahmen - VOT der AF in Phase 1 und Sensitivität 2*

	Phase 1	Sensitivität 2
VOT Konventioneller PW	31.90 CHF/Stunde	31.90 CHF/Stunde
VOT Automatisierter PW	17.14 CHF/Stunde	22.33 CHF/Stunde
VOT Automatisiertes Taxi	21.43 CHF/Stunde	27.90 CHF/Stunde

Pooling (Sensitivität 3)

Die Simulationen im Basisszenario haben gezeigt, dass das Pooling von Fahrgästen ein interessantes, aber auch komplexes Thema ist, wenn Alternativen wie Einzeltaxis gleichsam betrachtet werden. Kapitel 5.2.4 stellt daher weitere Simulationen vor, die verschiedene Konfigurationen von Pooling-Angeboten analysieren. Zudem werden sie in Kontext zu aktuellen Forschungsergebnissen zum Thema gesetzt.

Vorsichtige Einführung (Sensitivität 4)

Es wurde in Kapitel 2.2 bemerkt, dass sollten Behörden zunächst (oder längerfristig) sicherheitshalber vorschreiben, dass AF grössere Mindestabstände einhalten als für diesen Projekt angenommen wurde, eine Reduktion der Strassenkapazität auftreten könnte. Es könnte auch dazu kommen, das automatisierte Fahrzeuge langsamer und vorsichtiger fahren müssen, um den nötigen versprochenen Komfort automatisierter Fortbewegung zu ermöglichen. Zudem wird erwartet, dass zunächst Abstandsregelungen der konventionellen Fahrzeuge übernommen werden, an welche sich automatisierte Fahrzeuge strikt werden halten müssen und somit wären eine zentrale Annahme die für die Kapazitätssteigerung extrem wichtig ist nicht erfüllt. Die Sensitivität 4 untersucht daher, welchen Einfluss eine Abnahme der Strassenkapazitäten auf die Nutzung der Verkehrsmittel und Engpässe haben wird. Dazu wurden die Kapazitätsparameter, nämlich die PCU, gegenüber die Phase 1 erhöht. In **Tab. 54** zeigt die neuen Kapazitätsparameter.

***Tab. 54**: Szenario Annahmen - PCU der AF in Phase 1 und Sensitivität 4*

	Phase 1	Sensitivität 4
PCU Konventionelles PW		
HLS120 / HLS100 / UG80 / UG50	1.0 / 1.0 / 1.0 / 1.0	1.0 / 1.0 / 1.0 / 1.0
PCU Automatisiertes PW		
HLS120 / HLS100 / UG80 / UG50	0.83 / 0.77 / 0.83 / 0.80	1.18 / 1.25 / 1.25 / 1.43
PCU Konventionelle Güterfahrzeuge		
HLS80 / UG80 / UG50	4.0 / 4.0/ 4.0	4.0 / 4.0/ 4.0
PCU Automatisierte Güterfahrzeuge		
HLS80 / UG80 / UG50	3.08 / 3.33/ 3.20	5.00 / 5.00/ 5.71

Volle Durchdringung und grössere Effizienzsteigerung (Sensitivität 5)

Die Sensitivität 5 stellt den Fall dar, in dem automatisierte Fahrzeuge einen sehr starken Einfluss auf den Verkehr haben werden. Hier wird eine volle Durchdringung mit automatisierten Fahrzeuge angenommen (keine konventionellen Fahrzeuge mehr), sowie eine noch stärkere Effizienzsteigerung des Strassenverkehres als in den Simulationen der Phase 1 angenommen. Hierzu wurde der Durchdringungsgrad der automatisierten Privatfahrzeuge und der automatisierten schweren Güterfahrzeuge auf 100% gesetzt und die Effizienzsteigerungen wurden durch Senkungen der PCU für automatisierte Fahrzeuge abgebildet. Die PCUs der Phase 1 sowie der der Sensitivität 5 können in **Tab. 55** eingesehen werden.

***Tab. 55**: Szenario Annahmen - PCU der AF in Phase 1 und Sensitivität 5*

	Phase 1	Sensitivität 5
PCU Konventionelles PW		
HLS120 / HLS100 / UG80 / UG50	1.0 / 1.0 / 1.0 / 1.0	- / - / - / -
PCU Automatisiertes PW		
HLS120 / HLS100 / UG80 / UG50	0.83 / 0.77 / 0.83 / 0.80	0.77 / 0.67 / 0.77 / 0.67
PCU Konventionelle Güterfahrzeuge		
HLS80 / UG80 / UG50	4.0 / 4.0/ 4.0	- / -/ -
PCU Automatisierte Güterfahrzeuge		
HLS80 / UG80 / UG50	3.08 / 3.33/ 3.20	2.67 / 3.08/ 2.67

5.2.1 Sensitivität 1: Keine Senkung der ÖV-Fahrpreise

In alle drei Regionen, aber am stärksten in der Region LG, wandelt sich im Referenzszenario – auch ohne ÖV-Preissenkung – das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung in 2050. Im Referenzszenario 2050 ist auch ohne eine ÖV-Fahrpreissenkung eine Verlagerung der Personenkilometer in Richtung ÖV deutlich zu sehen indem der ÖV-Anteil der Pkm zwischen 4% (in der Region LG) und 38% (in der Region LU) wächst gegenüber dem Grundszenario 2020, während der gesMIV-Anteil der Pkm nur zwischen -5% (in der Region LG) und 27% (in der Region LU) wächst (siehe **Tab. 56**, **Tab. 58** und **Tab. 60**). Dieses weist darauf hin, dass eine Veränderung der Mobilitätspräferenzen die Basis für die wachsende ÖV-Affinität ist. Diese Veränderung muss durch demographischen Wandel entstehen, da im Modell keine andere Präferenzänderung zwischen den Jahren abgebildet wurde. Die ÖV-Fahrpreissenkung, die in der Phase 1 abgebildet wurde, verstärk diese «natürliche» Tendenz massiv.

Im Modal Split der Wege ist diese Tendenz zum ÖV und LV nicht ganz so leicht erkennbar. Ohne eine Preissenkung im ÖV ist das Wachstum des ÖV-Anteil der Wege nur zwischen 0.6% in den ländlichen Regionen und 0.9% in der Stadt und deren Agglomeration. Der MIV-Anteil der Wege sinkt sehr leicht (zwischen 1.1% in LG und LU und 1.5% in SA) gegenüber dem Grundszenario 2020 (siehe **Tab. 143**, **Tab. 145** und **Tab. 147**). Fazit: auch ohne Reduktion der ÖV Preise ist eine (sehr) leichte Verlagerung der Wege und eine deutlich bis starke Verlagerung der Pkm zum Umweltverbund bemerkbar.

Mit dem relativen Wachstum zwischen den 2050-Szenarien und dem Grundszenario 2020 ist schon sichtbar, dass die Einführung von AF den Effekt der ÖV-Fahrpreissenkung deutlich abschwächt, wie in **Tab. 56**, **Tab. 58**, und **Tab. 60** zu sehen ist. Jedoch ist dieser Effekt mit den absoluten Differenzen zwischen den Szenarien in **Tab. 57**, **Tab. 59** und **Tab. 61** noch deutlicher zu sehen. In Szenario A ist es dadurch offensichtlich, dass es zwischen der Phase 1 und der Sensitivität 1 kleine bis keine Änderung der Personenkilometer von private AF und automatisierten Taxis gibt. Egal mit oder ohne Fahrpreissenkung, der ÖV kann die Kunden des AF schwer oder nicht gewinnen. In Szenario B hingegen, bewirkt die ÖV-Fahrpreissenkung eine Verkleinerung des Wachstums der AF-Personenkilometer, in dem es die Anzahl Personenkilometer der automatisierten Taxis deutlich verkleinert. Die ÖV-Fahrpreissenkung führt auch dazu, dass der Anteil des LV sich verkleinert.

Bezüglich der Strassen zurückgelegten Fzg-km hat die Sensitivität 1 einen zu erwartenden Effekt: es wird mehr gefahren als in Phase 1.

Verkehrsleistung

Region SA

***Tab. 56**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Ges.	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
Referenzszenario S1	2050	9%	na	na	27%*	24%	19%	17%	9%	13%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	27%	4%	-12%	20%	35%	34%
A (mit AT) S1	2050	-52%	na	na	29%*	-7%	-7%	20%	43%	40%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	23%	16%	19%	19%	21%	22%
B (mit AT) S1	2050	-87%	na	na	25%*	3%	25%	20%	32%	30%

*Diese zweiprozentige Zunahme im Mitfahrer-Anteil der Pkm ist durch Unterschiede im Durchgangsverkehr zwischen Phase 1 und Sensitivität 1 plausibilisierbar. Dass es zu solchen Unterschieden kommt, ist zu erwarten. Genau um solche Unterschiede zu berücksichtigen werden die regionalen Szenarien aus konvergierten nationalen Szenarien herausgeschnitten.

***Tab. 57**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
Referenzszenario S1	2050	1.27	0.00	0.00	0.92	2.55	0.33	5.07	1.27	2.19
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.71	0.92	0.40	-0.21	5.83	4.72	5.64
A (mit AT) S1	2050	-7.01	7.31	5.50	0.97	-0.77	-0.13	5.87	5.80	6.77
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	8.97	0.79	1.67	0.33	5.64	2.85	3.64
B (mit AT) S1	2050	-11.61	5.76	10.12	0.84	0.34	0.44	5.89	4.27	5.11

Region LU

***Tab. 58**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
Referenzszenario S1	2050	24%	na	na	38%	38%	33%	29%	24%	27%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	38%	17%	-17%	29%	37%	37%
A (mit AT) S1	2050	-24%	na	na	40%*	-4%	-14%	29%	42%	41%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	37%	89%	39%	35%	16%	20%
B (mit AT) S1	2050	-79%	na	na	38%*	59%	42%	34%	24%	27%

*Diese ein- bis zweiprozentige Zunahme im Mitfahrer-Anteil der Pkm ist durch Unterschiede im Durchgangsverkehr zwischen Phase 1 und Sensitivität 1 plausibilisierbar. Dass es zu solchen Unterschieden kommt, ist zu erwarten. Genau um solche Unterschiede zu berücksichtigen werden die regionalen Szenarien aus konvergierten nationalen Szenarien herausgeschnitten.

***Tab. 59**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
Referenzszenario S1	2050	0.79	0.00	0.00	0.24	0.39	0.12	1.54	0.79	1.03
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.73	0.24	0.17	-0.06	1.54	1.19	1.43
A (mit AT) S1	2050	-0.77	1.33	0.79	0.25	-0.04	-0.05	1.51	1.35	1.60
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.08	0.23	0.92	0.14	1.82	0.53	0.76
B (mit AT) S1	2050	-2.56	1.04	2.31	0.24	0.61	0.15	1.79	0.79	1.03

Region LG

***Tab. 60**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
Referenzszenario S1	2050	-6%	na	na	0%	4%	0%	-3%	-6%	-5%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	3%	-6%	-29%	-1%	2%	2%
A (mit AT) S1	2050	-42%	na	na	3%	-23%	-21%	-1%	7%	6%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	3%	46%	21%	-3%	-21%	-17%
B (mit AT) S1	2050	-85%	na	na	3%	23%	29%	-3%	-15%	-12%

***Tab. 61**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	Mitfahrer [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	LV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	gesMIV (exkl. Mitfahrer) [Mio. km]	gesMIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
Referenzszenario S1	2050	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	-0.08	-0.10	-0.10
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.25	0.01	-0.03	-0.04	-0.03	0.03	0.04
A (mit AT) S1	2050	-0.71	0.57	0.25	0.01	-0.12	-0.03	-0.03	0.11	0.12
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.64	0.01	0.24	0.03	-0.08	-0.36	-0.35
B (mit AT) S1	2050	-1.42	0.46	0.71	0.01	0.12	0.04	-0.08	-0.25	-0.24

Fahrleistung
Region SA

***Tab. 62**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
Referenzszenario S1	2050	9%	na	na	na	0%	32%	na	10%	32%	9%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	na	0%	-19%	na	43%	32%	43%
A (mit AT) S1	2050	-52%	na	na	na	0%	-21%	na	48%	30%	49%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	na	0%	-21%	na	31%	28%	31%
B (mit AT) S1	2050	-87%	na	na	na	0%	-21%	na	41%	28%	42%

***Tab. 63**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
Referenzszenario S1	2050	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	1.42	0.15	1.27
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.80	0.99	0.00	-0.09	0.24	5.95	0.15	5.80
A (mit AT) S1	2050	-7.01	7.31	5.59	0.64	0.00	-0.10	0.24	6.67	0.14	6.53
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	9.12	1.18	0.00	-0.10	0.23	4.31	0.13	4.18
B (mit AT) S1	2050	-11.61	5.76	10.28	1.19	0.00	-0.10	0.23	5.75	0.13	5.62

Region LU

***Tab. 64**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
Referenzszenario S1	2050	24%	na	na	na	0%	38%	na	24%	38%	24%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	na	0%	-13%	na	43%	38%	44%
A (mit AT) S1	2050	-24%	na	na	na	0%	-13%	na	49%	38%	50%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	na	0%	-13%	na	34%	38%	35%
B (mit AT) S1	2050	-79%	na	na	na	0%	-13%	na	46%	38%	46%

***Tab. 65**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
Referenzszenario S1	2050	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.82	0.03	0.79
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.74	0.22	0.00	-0.01	0.04	1.45	0.03	1.42
A (mit AT) S1	2050	-0.77	1.33	0.81	0.26	0.00	-0.01	0.04	1.66	0.03	1.63
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.13	0.54	0.00	-0.01	0.04	1.15	0.03	1.12
B (mit AT) S1	2050	-2.56	1.04	2.36	0.66	0.00	-0.01	0.04	1.53	0.03	1.50

Region LG

***Tab. 66**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
Referenzszenario S1	2050	-6%	na	na	na	0%	33%	na	-4%	33%	-6%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	na	0%	-22%	na	9%	33%	8%
A (mit AT) S1	2050	-42%	na	na	na	0%	-22%	na	13%	33%	13%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	na	0%	-22%	na	-8%	33%	-10%
B (mit AT) S1	2050	-85%	na	na	na	0%	-22%	na	2%	33%	0%

***Tab. 67**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 1 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
Referenzszenario S1	2050	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.07	0.03	-0.10
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.26	0.09	0.00	-0.02	0.05	0.16	0.03	0.13
A (mit AT) S1	2050	-0.71	0.57	0.26	0.09	0.00	-0.02	0.05	0.24	0.03	0.21
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.65	0.18	0.00	-0.02	0.05	-0.14	0.03	-0.17
B (mit AT) S1	2050	-1.42	0.46	0.73	0.23	0.00	-0.02	0.05	0.03	0.03	0.00

5.2.2 Sensitivität 2: Höhere Zeitkosten für AF

Wenn die Ergebnisse der Szenarien der Sensitivität 2 mit den der Phase 1 verglichen werden ergeben sich folgende Erkenntnisse. Insgesamt führen höhere Zeitkosten für den AF zu weniger starkem Wachstum der gesMIV-Pkm und der auf den Strassen gefahrenen Fzg-km. Im Fall von der Region «LG» in Szenario B, führen die höheren Zeitkosten der AF zu einer stärkeren Abnahme der gesMIV-Pkm und der auf den Strassen gefahrenen Fzg-km als in Phase 1. Aufgeschlüsselt nach Verkehrsmittel, sinken gegenüber dem Grundszenario 2020 die mit dem konventionellem PW und mit dem LV gefahrene Pkm weniger stark in dem Szenario A 2050 Sensitivität 2 als in dem Szenario A 2050 Phase 1. Gleichzeitig steigen die mit dem ÖV gefahrenen Pkm deutlich stärker und die mit privaten AF gefahrenen Pkm leicht schwächer. In Szenario B 2050 Sensitivität 2 sinken gegenüber das Grundszenario 2020 die mit dem konventionellem PW gefahrenen Pkm fast gleich stark als in der Phase 1. Die mit dem ÖV und mit dem LV zurückgelegten Pkm nehmen stärker zu und die mit privaten AF gefahrenen Pkm schwächer.

Wie erwartet, führt eine Erhöhung der Zeitkosten für AF dazu, dass weniger mit AF gefahren wird. Jedoch ist dieser Effekt stärker für die automatisierten Taxis als für die privaten AF. Dieses ist ein Hinweis darauf, dass die Zeitkosten weniger wichtig sind für die Entscheidung mit dem privatem AF zu fahren als für die Entscheidung mit einem automatisierten Taxi zu fahren. Dieses ist nicht besonders überraschend, da die automatisierten Taxis für alle Agenten ein zusätzliches Angebot darstellen, während den Zugang zum privaten AF, wie auch zum privaten konventionellem Fahrzeug, den Besitz ein solches Fahrzeug voraussetzt und somit nicht allen Agenten zur Verfügung steht. Da der Kauf eines Fahrzeugs eine langfristige Entscheidung ist impliziert es meistens, dass der privater PW als Verkehrsmittel deutlich mehr Nutzen (oder mindestens deutlich weniger negativer Nutzen) bietet als andere Verkehrsmittel. Somit kommen nur wenige Fahrten der PW-Besitzer für einen Verkehrsmittelwechsel tatsächlich in Frage. Interessant aber nicht überraschend ist jedoch, dass die Anzahl dieser wechselbaren Fahrten für Besitzer eines konventionellen PWs höher ist als für einen Besitzer eines AF, vermutlich aufgrund der höheren Differenz zwischen den Zeitkosten der konventionellen Privatfahrzeuge und denen der automatisierten Taxis und die des ÖV.

Verkehrsleistung

Region SA

***Tab. 68**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
Referenzszenario S2	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	27%	4%	-12%	20%	35%	34%
A (mit AT) S2	2050	-55%	na	na	27%	9%	-11%	20%	30%	29%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	23%	16%	19%	19%	21%	22%
B (mit AT) S2	2050	-86%	na	na	23%	26%	22%	19%	11%	14%

***Tab. 69**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
Referenzszenario S2	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.71	0.92	0.40	-0.21	5.83	4.72	5.64
A (mit AT) S2	2050	-7.34	7.08	4.25	0.91	0.98	-0.19	5.69	3.99	4.90
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	8.97	0.79	1.67	0.33	5.64	2.85	3.64
B (mit AT) S2	2050	-11.54	5.56	7.51	0.78	2.77	0.38	5.46	1.53	2.31

Region LU

***Tab. 70**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
Referenzszenario S2	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	38%	17%	-17%	29%	37%	37%
A (mit AT) S2	2050	-24%	na	na	38%	21%	-14%	29%	35%	35%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	37%	89%	39%	35%	16%	20%
B (mit AT) S2	2050	-79%	na	na	37%	108%	42%	35%	10%	15%

***Tab. 71**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
Referenzszenario S2	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.73	0.24	0.17	-0.06	1.54	1.19	1.43
A (mit AT) S2	2050	-0.77	1.30	0.60	0.24	0.22	-0.05	1.54	1.13	1.37
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.08	0.23	0.92	0.14	1.82	0.53	0.76
B (mit AT) S2	2050	-2.55	1.02	1.87	0.23	1.11	0.15	1.83	0.34	0.57

Region LG

***Tab. 72**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
Referenzszenario S2	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	3%	-6%	-29%	-1%	2%	2%
A (mit AT) S2	2050	-43%	na	na	3%	-2%	-21%	-1%	0%	0%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	3%	46%	21%	-3%	-21%	-17%
B (mit AT) S2	2050	-85%	na	na	3%	62%	29%	-4%	-28%	-23%

***Tab. 73**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
Referenzszenario S2	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.25	0.01	-0.03	-0.04	-0.03	0.03	0.04
A (mit AT) S2	2050	-0.73	0.56	0.17	0.01	-0.01	-0.03	-0.03	0.00	0.01
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.64	0.01	0.24	0.03	-0.08	-0.36	-0.35
B (mit AT) S2	2050	-1.43	0.44	0.52	0.01	0.32	0.04	-0.10	-0.47	-0.46

Fahrleistung

Region SA

***Tab. 74**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	AT-L	ÖV	GV	A-GV	Gesamt	Ges. GV	Ges. MIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
Referenzszenario S2	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	na	0%	-19%	na	43%	32%	43%
A (mit AT) S2	2050	-55%	na	na	na	0%	-19%	na	37%	32%	37%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	na	0%	-21%	na	31%	28%	31%
B (mit AT) S2	2050	-86%	na	na	na	0%	-21%	na	20%	28%	20%

***Tab. 75**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	AT-L	ÖV	GV	A-GV	Gesamt	Ges. GV	Ges. MIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
Referenzszenario S2	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.80	0.99	0.00	-0.09	0.24	5.95	0.15	5.80
A (mit AT) S2	2050	-7.34	7.08	4.33	0.89	0.00	-0.09	0.24	5.11	0.15	4.96
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	9.12	1.18	0.00	-0.10	0.23	4.31	0.13	4.18
B (mit AT) S2	2050	-11.54	5.56	7.65	0.99	0.00	-0.10	0.23	2.79	0.13	2.66

Region LU

***Tab. 76**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	AT-L	ÖV	GV	A-GV	Gesamt	Ges. GV	Ges. MIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
Referenzszenario S2	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	na	0%	-13%	na	43%	38%	44%
A (mit AT) S2	2050	-24%	na	na	na	0%	-13%	na	42%	38%	42%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	na	0%	-13%	na	34%	38%	35%
B (mit AT) S2	2050	-79%	na	na	na	0%	-13%	na	25%	38%	25%

***Tab. 77**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
Referenzszenario S2	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.74	0.22	0.00	-0.01	0.04	1.45	0.03	1.42
A (mit AT) S2	2050	-0.77	1.30	0.61	0.23	0.00	-0.01	0.04	1.40	0.03	1.37
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.13	0.54	0.00	-0.01	0.04	1.15	0.03	1.12
B (mit AT) S2	2050	-2.55	1.02	1.91	0.43	0.00	-0.01	0.04	0.84	0.03	0.81

Region LG

***Tab. 78**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
Referenzszenario S2	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	na	0%	-22%	na	9%	33%	8%
A (mit AT) S2	2050	-43%	na	na	na	0%	-22%	na	6%	33%	5%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	na	0%	-22%	na	-8%	33%	-10%
B (mit AT) S2	2050	-85%	na	na	na	0%	-22%	na	-17%	33%	-20%

***Tab. 79**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 2 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
Referenzszenario S2	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.26	0.09	0.00	-0.02	0.05	0.16	0.03	0.13
A (mit AT) S2	2050	-0.73	0.56	0.18	0.07	0.00	-0.02	0.05	0.11	0.03	0.08
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.65	0.18	0.00	-0.02	0.05	-0.14	0.03	-0.17
B (mit AT) S2	2050	-1.43	0.44	0.53	0.12	0.00	-0.02	0.05	-0.31	0.03	-0.34

5.2.3 Sensitivität 3: Bedingungen unter denen gepoolte Fahrten mit AT stattfinden

Um das Potenzial von Pooling in den Simulationen zu testen, wurde der folgende Ansatz verwendet:

Sobald eine Anfrage von einem Kunden eingeht, wird entsprechend dem Einzeltaxi-Algorithmus ein Fahrzeug zu diesem Kunden geschickt. Sollte kein Taxi verfügbar sein, wartet der Betreiber so lange bis ein Fahrzeug zur Verfügung steht.

Ist die Anfrage im System eingegangen wird die früheste Abfahrtzeit festgelegt. Im hier angeführten Beispiel wurden dafür zehn Minuten gewählt. Erst wenn diese Abfahrtzeit erreicht ist, startet die Fahrt, auch wenn das zugeordnete Fahrzeug bereits früher am Einstiegspunkt ankommt. Einzige Ausnahme ist, wenn das Fahrzeug bereits vor dem geplanten Zeitpunkt voll besetzt ist.

Bis zum geplanten Zeitpunkt der Abfahrt können sich weitere Mitfahrer dieser Anfrage anschliessen. Dies geschieht automatisch, sobald der Startpunkt und der Zielort einer Anfrage nicht weiter weg als 500m von den jeweiligen Punkten der ursprünglichen Anfragen sind.

Dieser Algorithmus basiert auf einer aktuellen Publikation zur Flottendimensionierung eines automatisierten Transportsystems für Zürich (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019); siehe unten).

Es wurden mehrere Szenarien getestet, um eine zu finden in dem Pooling stattfand. Nur zwei konnten identifiziert werden. Für das Szenario um Zürich wurde der Algorithmus im Szenario A und B angewendet. Dabei wurde die gesamte Flotte mit 10’000 Viersitzern simuliert und alle Taxis haben nur Pooling angeboten – es gab keine Möglichkeit, eine Einzel-Taxi-Fahrt zu bestellen. Der Preis wurde auf entweder 10 Rp/km oder 30 Rp/km festgelegt, welches unterhalb dem kostendeckenden «optimalen» Preis der Hauptrechenläufe von etwa 40 Rp/km ist und somit eine Subvention darstellt. **Abb. 160** und **Abb. 161** zeigen den Besetzungsgrad der Flotte im Laufe des Tages. Es wird sichtbar, dass die Möglichkeit des Poolings auch in diesen Szenarien kaum genutzt wird. **Abb. 162** und **Abb. 163** zeigen, dass im besten Fall (10 Rp/km im Szenario B) nur gut 2% der gesamten Flottendistanz mit zwei Kunden und weniger als 0.25% mit drei oder mehr gefahren werden.

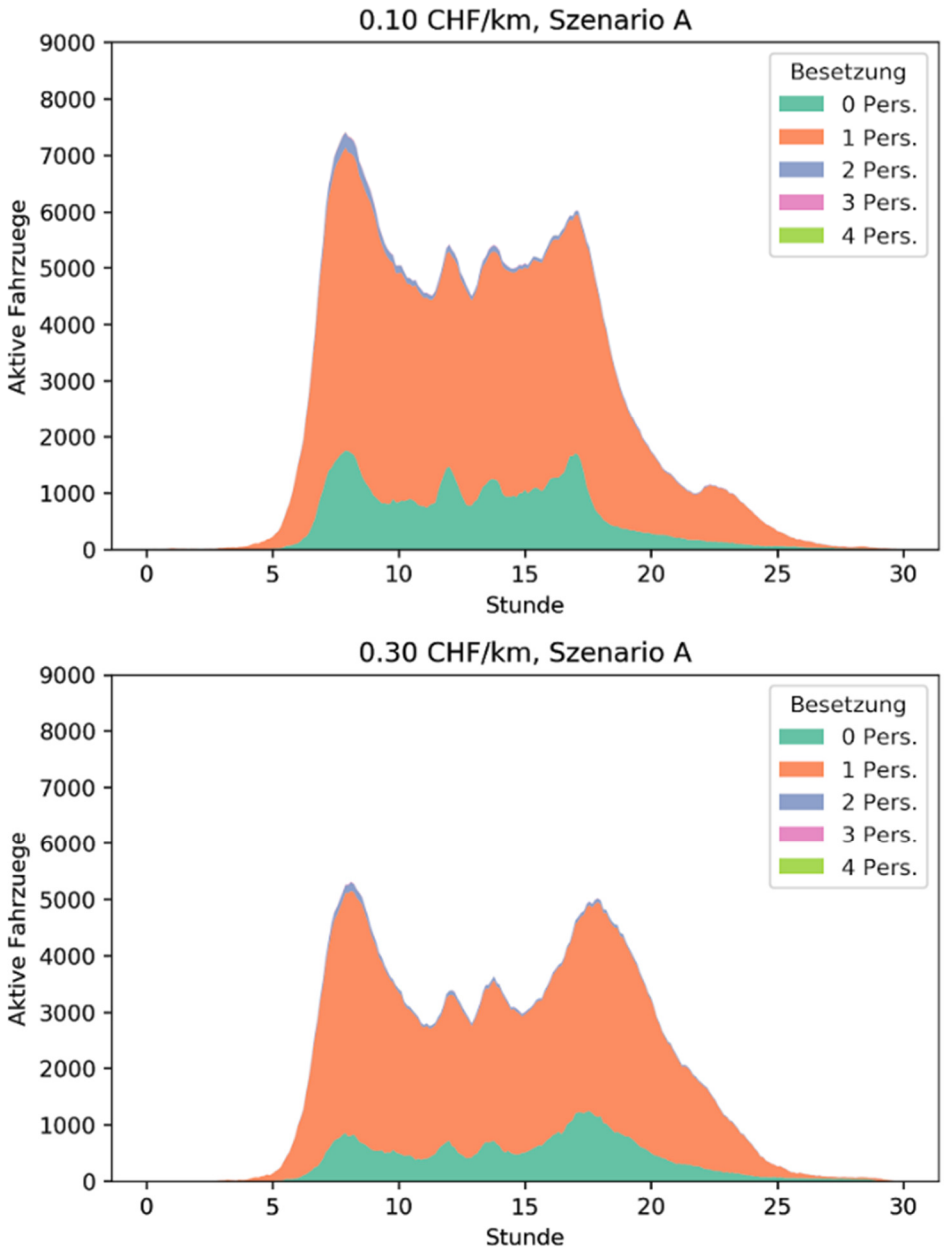


***Abb. 160**: Besetzungsgrad der automatisierten Taxis (Flotte bietet ausschliesslich Pooling an) nach Uhrzeit, Szenario A 2050, in der Region «SA».*

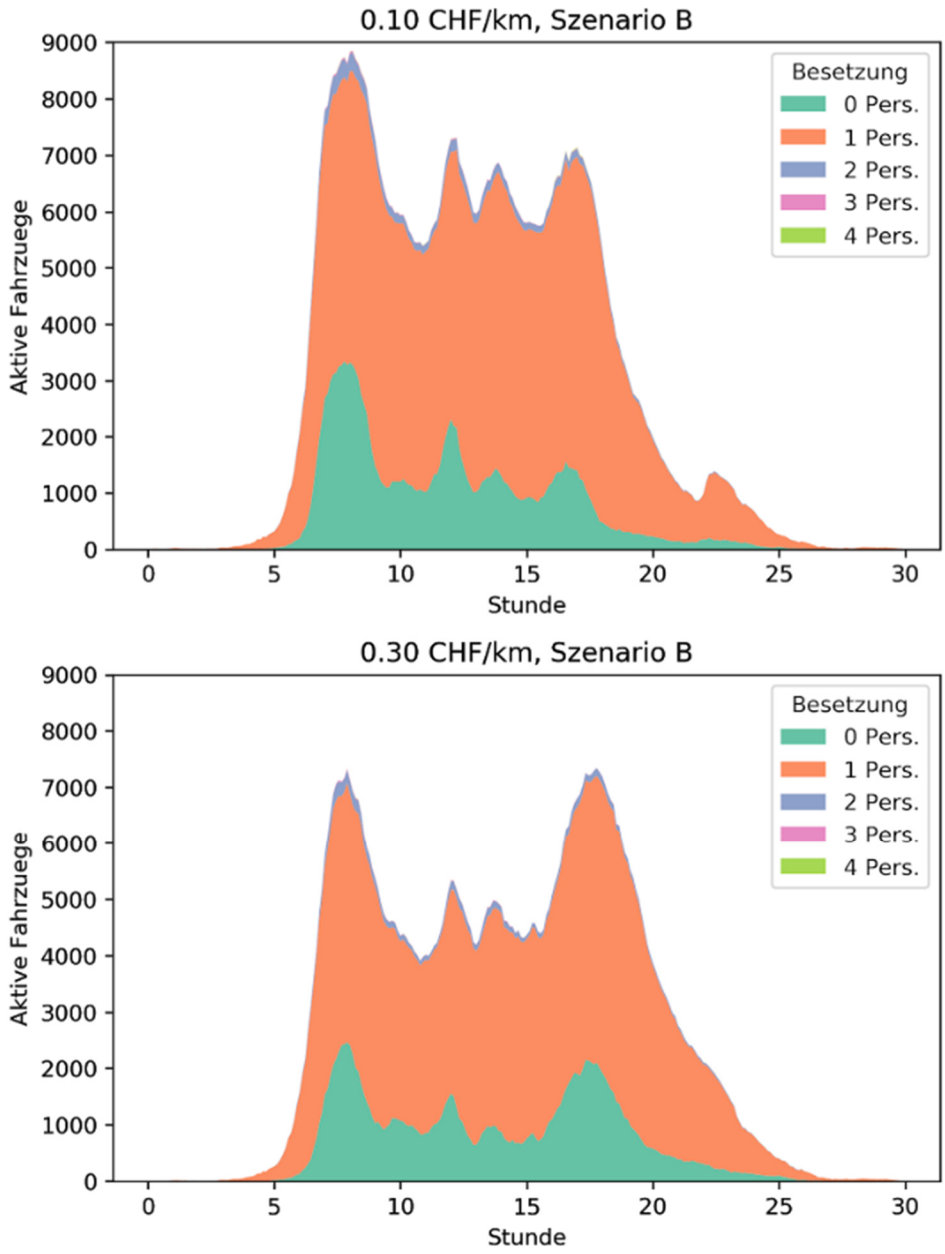


***Abb. 161**: Besetzungsgrad der automatisierten Taxis (Flotte bietet ausschliesslich Pooling an) nach Uhrzeit, Szenario B 2050, in der Region «SA».*

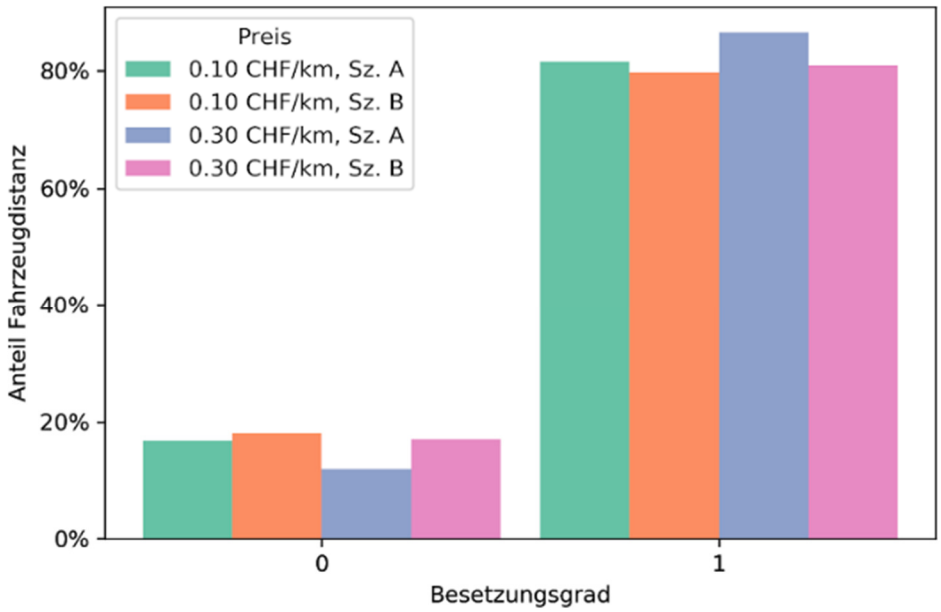


***Abb. 162**: Anteil der Fahrtdistanz der automatisierten Taxis (Flotte bietet ausschliesslich Pooling an) in der Region «SA» in 2050 mit Besetzungsgrad 0 oder 1, nach Szenario und CHF/km*

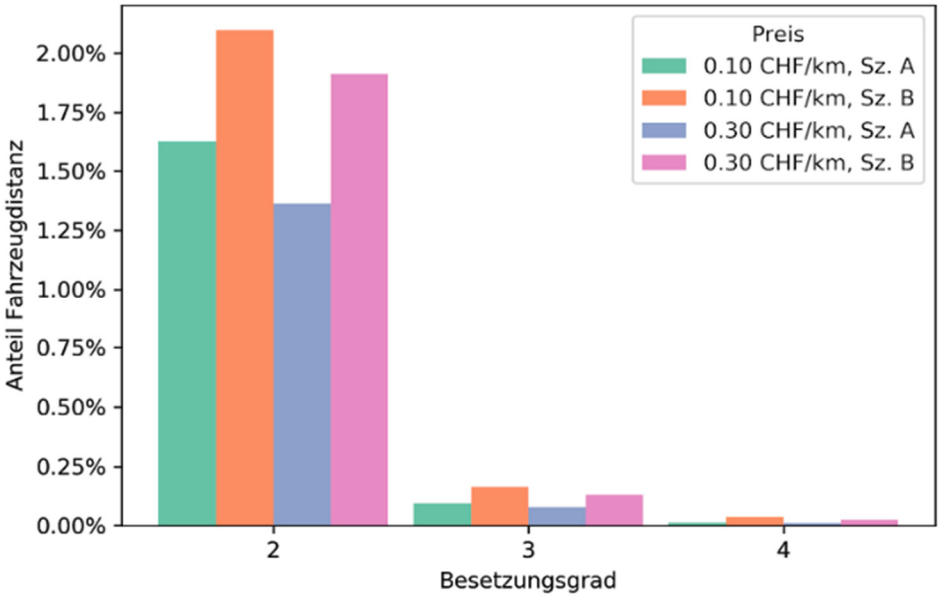


***Abb. 163**: Anteil der Fahrtdistanz der automatisierten Taxis (Flotte bietet ausschliesslich Pooling an) in der Region «SA» in 2050 mit Besetzungsgrad 2, 3, oder 4, nach Szenario und CHF/km*

Diese Ergebnisse sind interessant, da die Studie von (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019) zu anderen Schlüssen kommt. In jener Studie wird ein Raster von 500m Zonen über die Stadt Zürich gelegt und es werden in 7,5 oder 15 Minuten Zeitschritten alle MIV Fahrten gezählt, die zwischen den Zonen stattfinden. Die Idee ist, eine Flotte von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Gefässgrössen so zu dimensionieren, sodass alle diese Fahrten mit dem automatisierten Transportsystem bedient werden können. Dabei werden staubedingte Reisezeiten zugrunde gelegt. Allerdings handelt es sich bei dieser Studie um einen Maximalfall, da keine Nutzerpräferenzen berücksichtigt werden. Alle MIV Fahrten müssen mit dem System durchgeführt werden. Zudem hat der Algorithmus 100%iges Wissen über

den Zeitpunkt und die Struktur aller Anfragen des Tages, wenn die Optimierung durchgeführt wird. Unter diesen Annahmen kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass eine Flotte von ca. 6'500 Zweisitzern, 700 5-Sitzern und 150 10-Sitzern ausreichen würde, um den gesamten Bedarf zu bedienen. Die Flottendimensionierung suggeriert dabei bereits, dass ein solches System, in dem zwischen fixen Start- und Endpunkten gefahren wird, nur begrenztes Pooling-Potenzial aufweist.

In der vorliegenden Studie wurde der Pooling-Algorithmus nun so konzipiert dass er annähernd der Dynamik aus (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019) entspricht. Da der Algorithmus dynamisch über den Tag operiert, ist davon auszugehen, dass er weniger "optimal" ist, als der in (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019) vorgestellte.

Der grösste Unterschied besteht allerdings zwischen der statischen und dynamischen Nachfrage. (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019) machen keine Aussage über die Kosten des Systems. Allein die Wartezeiten von 10 Minuten sind garantiert. Für die dynamische Nachfrage in der vorliegenden Studie kommen nun zwei Faktoren hinzu. Einerseits kann eine Mindestwartezeit von 10 Minuten bereits abschreckend wirken. Entsprechend den Parametern aus **Tab. 40** ergibt sich eine Wahrnehmung der Kosten für Wartezeit von ca. 48 Rp/min. Somit würde eine Mindestwartezeit von 10 Minuten bereits 4,80 CHF entsprechen. Zusätzlich spielen in der dynamischen Nachfrage die Kosten eine Rolle. Schaut man sich die Ergebnisse aus **Abb. 160** an, so wird deutlich dass ein Anstieg des Preises von 10 Rp/km auf 30 Rp/km die Nachfrage bereits deutlich verringert.

Während die vorliegende Studie ein Angebotsgebiet mit Zürich und dem weiteren Umland berücksichtigt, bezieht sich (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019) nur auf die Stadt von Zürich, Kreis 1 bis 12. Es ist daher interessant zu untersuchen, wie sich die Pooling-Rate hier nur für Fahrten im Stadtzentrum verhält. Wiederholt man also die Analyse wie in **Abb. 162** nur für solche Fahrten, ergibt sich im besten Fall dennoch nur ein maximaler Anteil von ca. 2.5% gepoolter Fahrten. Es ist daher eine Überlegung wert, was geschehen würde, wenn das Angebotsgebiet im vorliegenden Fall nur auf die Stadt Zürich verdichtet würde. Wartezeiten würden in diesem System nicht verbessert werden, d.h. die Nachfrage könnte vermutlich nicht gesteigert werden. Der Preis müsste somit auf dem aktuellen Niveau oder höher liegen. Entsprechend könnte eventuell das Pooling-Potenzial gesteigert werden, aber eine höhere Attraktivität des Angebots ist unwahrscheinlich. Dennoch wäre es interessant, weiterführende und vergleichende Studien zwischen eher ländlichen und urbanen Einsatzgebieten durchzuführen.

Einen weiteren Punkt, der die Pooling-Rate beeinflussen kann, ist das Downsampling in den gezeigten Simulationen. Da lediglich eine 25% Stichprobe der Population simuliert wird, verringert sich die Wahrscheinlichkeit, Mitfahrer zu finden. Allerdings erreichen die Simulationen mit Pooling-Algorithmen bereits die Grenze sinnvoller Rechenzeiten. Es wäre somit sinnvoll, ähnliche Simulationen auf kleineren Gebieten, aber mit höheren Stichproben zu wiederholen.

Generell kann jedoch festgehalten werden, das das Potenzial von Punkt-zu-Punkt Pooling vielversprechend aussieht, wenn Idealbedingungen angenommen werden (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019), es sich aber unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen scheinbar kaum Anwendungsfälle ergeben. Dies schliesst nicht aus, dass ein komplexeres Pooling-System (bei welchem während der Fahrt neue Aufträge angenommen werden) ein höheres Potenzial aufweist. Es wird daher geraten, die Forschung in diesem Bereich zu vertiefen. Dabei gilt es, aktuelle Hürden zu überwinden, die vor allem aufgrund der Rechenzeit entstehen. Beispielsweise wurden im Simulationssystem AMoDeus, welches auf MATSim beruht, eine Vielzahl an Pooling-Algorithmen aus der wissenschaftlichen Literatur implementiert. Um einen vollen Tag der Stadt Zürich mit aktuellen Pooling-Algorithmen auf dem Stand der Technik zu simulieren, werden allerdings bis zu zehn Stunden benötigt. Prinzipiell können alle Algorithmen aus AMoDeus auch in den hier gezeigten Simulationen genutzt werden (und dies wurde auch versucht), allerdings müssen, um den Einfluss der Nutzerpräferenzen zu berücksichtigen, mindestens 40 Tage Rechenzeit eingeplant werden. Dies war im Rahmen der gesetzten Fristen im diesem Projekt nicht praktikabel.

5.2.4 Sensitivität 4: «Vorsichtige Einführung des AF» - Effizienzsverlust statt Steigerung

Wenn AF mehr Strassenkapazität verbrauchen als konventionellen Fahrzeuge, reagieren die Agenten unterschiedlich in den unterschiedlichen Regionen. In der Region «SA», welches Zürich und seine Agglomeration umfasst, fahren Agenten weniger Auto, aber besonders weniger automatisierte Taxi. Viele Agenten wechseln offensichtlich auf dem Umweltverbund und die gesMIV-Pkm und gesFzg-km wachsen markant weniger stark als in der Phase 1.

In der Region «LU», welches das ländliche Gebiet zwischen Bern und Lausanne, inklusiv Fribourg, umfasst, fahren die Agenten in Szenario A etwa gleich viel (aber Tendenz steigend) mit ihren privaten AF und mit den automatisierten Taxis als in Phase 1, aber so viel weniger mit konventionellen PW, dass die gesMIV-Pkm gegenüber das Grundszenario 2020 weniger stark steigen als in der Phase 1. Dieses bewirkt jedoch keine Abschwächung im Wachstum der Fahrzeugkilometer auf den Strassen in Szenario A, weil die Leerkilometer der automatisierten Taxis steigen. In Szenario B fahren sie auch mit den automatisierten Taxis weniger und die gesMIV-Pkm und gesFzg-km wachsten bemerkbar schwächer als in der Phase 1.

In der Region «LG», welches Chur und seine Umgebung umschliesst, ist fast keine Reaktion zu sehen, vermutlich, weil die Strassen in der Region nicht nah an ihren Kapazitäten sind und somit auch mit ineffizienten AF keine wesentliche Zunahme von Verkehr-verursachten Reisezeitverlängerungen stattfindet. Nur für die automatisierten Taxis sieht man einen sehr leichten Rückgang gegenüber der Phase 1 und in Szenario A ein gleich grosser Anstieg im ÖV und in Szenario B ein halb so grosser Anstieg im konventionellen MIV. In den auf den Strassen gefahrenen Fzg-km spiegeln sich die kleinen Tendenzen der Pkm wieder, aber insgesamt ändert sich das Wachstum der auf den Strassen gefahrenen Fzg-km zwischen Sensitivität 4 und der Phase 1 in Szenario A nur ganz leicht nach unten und in Szenario B gar nicht.

Diese Tendenzen in «SA» und «LU» sind ein weiterer Hinweis, dass die geringeren Zeitkosten der AF dazu führen, dass die durch Überlastung erzeugte Reisezeitverlängerungen grösser sein müssen um AF-Nutzer auf dem Umweltverbund zu verlagern als für Fahrer konventionellen Fahrzeugen. Kurz gesagt: im Stau zu stehen stört weniger, wenn man im AF sitzt als wenn man selber lenken muss. Der Effekt: mehr Nutzer sitzen länger im Stau. Zusätzlich ist das Verhalten der Agenten in der Region LU in Szenario A ein Hinweis dafür, dass die automatisierten Taxis trotz – oder vielleicht wegen – Stau attraktiver sein könnten als ein konventionelles privaten PW.

Verkehrsleistung

Mitfahrer werden zwar anhand des Strassennetzes geroutet, aber werden nicht explicit auf den Kanten modelliert, weil es nicht aus den Daten ersichtlich ist, mit welchem Fahrer sie mitfahren. Deshalb sind sie nicht von Reisezeitverlängerungen betroffen und der «mitfahrende» Durchgangsverkehr würde wegen durch Stau verursachten Reisezeitverlängerungen nicht umgeleitet. Dieses führt dazu, dass in der Sensitivität 4 der Anteil an Mitfahrenden Pkm steigt

Region SA

***Tab. 80**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
Referenzszenario S4	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	27%	4%	-12%	20%	35%	34%
A (mit AT) S4	2050	-65%	na	na	32%	20%	-9%	20%	21%	23%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	23%	16%	19%	19%	21%	22%
B (mit AT) S4	2050	-90%	na	na	29%	33%	23%	21%	9%	13%

***Tab. 81**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
Referenzszenario S4	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.71	0.92	0.40	-0.21	5.83	4.72	5.64
A (mit AT) S4	2050	-8.75	6.99	4.60	1.08	2.12	-0.15	5.89	2.84	3.92
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	8.97	0.79	1.67	0.33	5.64	2.85	3.64
B (mit AT) S4	2050	-12.00	5.71	7.56	0.97	3.51	0.41	6.16	1.27	2.24

Region LU

***Tab. 82**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
Referenzszenario S4	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	38%	17%	-17%	29%	37%	37%
A (mit AT) S4	2050	-29%	na	na	41%	28%	-14%	31%	35%	36%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	37%	89%	39%	35%	16%	20%
B (mit AT) S4	2050	-80%	na	na	38%	100%	42%	36%	14%	18%

***Tab. 83**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
Referenzszenario S4	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.73	0.24	0.17	-0.06	1.54	1.19	1.43
A (mit AT) S4	2050	-0.94	1.34	0.74	0.26	0.29	-0.05	1.64	1.14	1.40
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.08	0.23	0.92	0.14	1.82	0.53	0.76
B (mit AT) S4	2050	-2.60	1.04	2.01	0.24	1.03	0.15	1.87	0.45	0.69

Region LG

***Tab. 84**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
Referenzszenario S4	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	3%	-6%	-29%	-1%	2%	2%
A (mit AT) S4	2050	-47%	na	na	3%	-4%	-29%	-1%	1%	1%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	3%	46%	21%	-3%	-21%	-17%
B (mit AT) S4	2050	-86%	na	na	3%	46%	21%	-3%	-22%	-18%

***Tab. 85**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
Referenzszenario S4	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.25	0.01	-0.03	-0.04	-0.03	0.03	0.04
A (mit AT) S4	2050	-0.79	0.57	0.23	0.01	-0.02	-0.04	-0.04	0.01	0.02
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.64	0.01	0.24	0.03	-0.08	-0.36	-0.35
B (mit AT) S4	2050	-1.44	0.45	0.62	0.01	0.24	0.03	-0.09	-0.37	-0.36

Fahrleistung

Region SA

***Tab. 86**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
Referenzszenario S4	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	na	0%	-19%	na	43%	32%	43%
A (mit AT) S4	2050	-65%	na	na	na	0%	-21%	na	27%	30%	27%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	na	0%	-21%	na	31%	28%	31%
B (mit AT) S4	2050	-90%	na	na	na	0%	-19%	na	17%	32%	17%

***Tab. 87**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
Referenzszenario S4	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.80	0.99	0.00	-0.09	0.24	5.95	0.15	5.80
A (mit AT) S4	2050	-8.75	6.99	4.68	0.69	0.00	-0.10	0.24	3.75	0.14	3.61
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	9.12	1.18	0.00	-0.10	0.23	4.31	0.13	4.18
B (mit AT) S4	2050	-12.00	5.71	7.69	0.89	0.00	-0.09	0.24	2.44	0.15	2.29

Region LU

***Tab. 88**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
Referenzszenario S4	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	na	0%	-13%	na	43%	38%	44%
A (mit AT) S4	2050	-29%	na	na	na	0%	-13%	na	43%	38%	43%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	na	0%	-13%	na	34%	38%	35%
B (mit AT) S4	2050	-80%	na	na	na	0%	-13%	na	30%	38%	30%

***Tab. 89**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
Referenzszenario S4	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.74	0.22	0.00	-0.01	0.04	1.45	0.03	1.42
A (mit AT) S4	2050	-0.94	1.34	0.76	0.24	0.00	-0.01	0.04	1.43	0.03	1.40
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.13	0.54	0.00	-0.01	0.04	1.15	0.03	1.12
B (mit AT) S4	2050	-2.60	1.04	2.06	0.48	0.00	-0.01	0.04	1.01	0.03	0.98

Region LG

***Tab. 90**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
Referenzszenario S4	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	na	0%	-22%	na	9%	33%	8%
A (mit AT) S4	2050	-47%	na	na	na	0%	-22%	na	7%	33%	5%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	na	0%	-22%	na	-8%	33%	-10%
B (mit AT) S4	2050	-86%	na	na	na	0%	-22%	na	-8%	33%	-11%

***Tab. 91**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 4 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
Referenzszenario S4	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.26	0.09	0.00	-0.02	0.05	0.16	0.03	0.13
A (mit AT) S4	2050	-0.79	0.57	0.23	0.08	0.00	-0.02	0.05	0.12	0.03	0.09
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.65	0.18	0.00	-0.02	0.05	-0.14	0.03	-0.17
B (mit AT) S4	2050	-1.44	0.45	0.63	0.18	0.00	-0.02	0.05	-0.15	0.03	-0.18

5.2.5 Sensitivität 5: Volle Durchdringung des AFs und grössere Effizienzsteigerungen

Wenn alle Fahrzeuge automatisierte Fahrzeuge sind, fahren Agenten mehr mit dem MIV, egal in welcher Region. Am stärksten ist der Effekt in der Region LG, wo die gesMIV-Pkm sowie auch die gesMIV-Fzg-km sechsmal so stark wachsen in Szenario A der Sensitivität 5 als in Szenario A der Phase 1. In der Region SA ist der Wachstum im Szenario A der Sensitivität 5 doppelt so stark wie in der Phase 1. In der Region LU ist es nur 20% stärker. Die Pkm des ÖV, aber, sinken in alle drei Regionen deutlich. Der LV sinkt meistens auch, aber nicht ganz so stark wie der ÖV. Interessant ist auch, dass das stärkere Wachstum der gesMIV-Pkm und gesMIV-Fzg-km überwiegend auf einem markanteren Anstieg der Pkm und Fzg-km der privaten automatisierten Fahrzeuge zurückzuführen ist, während die Pkm und Fzg-km der automatisierten Taxis deutlich weniger stark steigen als in der Phase 1. Diese weist darauf hin, dass die automatisierten Taxis doch ein bedeutender Anteil ihrer Kunden vom konventionellen PW gewonnen haben, weil die Kunden Zugang zu den Vorteilen des automatisierten Fahrens wollen. Haben diese Agenten ihre eigene private AF, steigen sie wieder auf ihr eigenes Fahrzeug um – und fahren mehr damit.

Verkehrsleistung

Region SA

***Tab. 92**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
Referenzszenario S5	2050	-2%	na	na	25%	42%	12%	18%	-2%	3%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	27%	4%	-12%	20%	35%	34%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	31%	-53%	-33%	20%	82%	72%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	23%	16%	19%	19%	21%	22%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	23%	0%	14%	19%	34%	32%

***Tab. 93**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "SA" (Zürich & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	3.39	10.60	1.75	29.11	13.37	16.76
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
Referenzszenario S5	2050	-0.31	0.00	0.00	0.85	4.44	0.21	5.19	-0.31	0.54
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.71	0.92	0.40	-0.21	5.83	4.72	5.64
A (mit AT) S5	2050	-13.37	23.04	1.28	1.04	-5.62	-0.57	5.80	10.95	11.99
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	8.97	0.79	1.67	0.33	5.64	2.85	3.64
B (mit AT) S5	2050	-13.37	10.11	7.78	0.79	-0.03	0.24	5.52	4.52	5.31

Region LU

***Tab. 94**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
Referenzszenario S5	2050	20%	na	na	38%	58%	28%	30%	20%	23%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	38%	17%	-17%	29%	37%	37%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	38%	-22%	-22%	27%	47%	45%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	37%	89%	39%	35%	16%	20%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	37%	79%	33%	34%	19%	22%

***Tab. 95**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LU" (Fribourg & Region), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.63	1.03	0.36	5.26	3.24	3.87
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
Referenzszenario S5	2050	0.66	0.00	0.00	0.24	0.60	0.10	1.60	0.66	0.90
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.73	0.24	0.17	-0.06	1.54	1.19	1.43
A (mit AT) S5	2050	-3.24	4.24	0.51	0.24	-0.23	-0.08	1.44	1.51	1.75
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.08	0.23	0.92	0.14	1.82	0.53	0.76
B (mit AT) S5	2050	-3.24	1.84	2.03	0.23	0.81	0.12	1.79	0.63	0.86

Region LG

***Tab. 96**: % Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	Gesamt	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]	[Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
Referenzszenario S5	2050	-12%	na	na	0%	21%	0%	-3%	-12%	-10%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	3%	-6%	-29%	-1%	2%	2%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	3%	-40%	-36%	0%	15%	13%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	3%	46%	21%	-3%	-21%	-17%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	3%	37%	21%	-3%	-18%	-15%

***Tab. 97**: Absolute Differenz in der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmittel in Personenkilometer für die Region "LG" (Chur), mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	Mitfahrer [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	LV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	gesMIV (exkl. Mitfahrer) [Mio. km]	gesMIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.36	0.52	0.14	2.70	1.68	2.04
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
Referenzszenario S5	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	-0.09	-0.20	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.25	0.01	-0.03	-0.04	-0.03	0.03	0.04
A (mit AT) S5	2050	-1.68	1.79	0.14	0.01	-0.21	-0.05	0.00	0.25	0.26
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.64	0.01	0.24	0.03	-0.08	-0.36	-0.35
B (mit AT) S5	2050	-1.68	0.80	0.57	0.01	0.19	0.03	-0.08	-0.31	-0.30

Fahrleistung
Region SA

***Tab. 98**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
Referenzszenario S5	2050	-2%	na	na	na	0%	30%	na	-1%	30%	-2%
A (mit AT) Ph1	2050	-61%	na	na	na	0%	-19%	na	43%	32%	43%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	81%	32%	84%
B (mit AT) Ph1	2050	-88%	na	na	na	0%	-21%	na	31%	28%	31%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	42%	28%	43%

***Tab. 99**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «SA» (Zürich & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0.00	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario Ph1	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
Referenzszenario S5	2050	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	-0.17	0.14	-0.31
A (mit AT) Ph1	2050	-8.18	7.19	5.80	0.99	0.00	-0.09	0.24	5.95	0.15	5.80
A (mit AT) S5	2050	-13.37	23.04	1.31	0.26	0.00	-0.47	0.62	11.39	0.15	11.24
B (mit AT) Ph1	2050	-11.81	5.69	9.12	1.18	0.00	-0.10	0.23	4.31	0.13	4.18
B (mit AT) S5	2050	-13.37	10.11	7.92	1.04	0.00	-0.47	0.60	5.83	0.13	5.70

Region LU

***Tab. 100**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
Referenzszenario S5	2050	20%	na	na	na	0%	38%	na	21%	38%	20%
A (mit AT) Ph1	2050	-27%	na	na	na	0%	-13%	na	43%	38%	44%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	51%	38%	52%
B (mit AT) Ph1	2050	-80%	na	na	na	0%	-13%	na	34%	38%	35%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	36%	38%	36%

***Tab. 101**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LU» (Fribourg & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario Ph1	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
Referenzszenario S5	2050	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.69	0.03	0.66
A (mit AT) Ph1	2050	-0.86	1.32	0.74	0.22	0.00	-0.01	0.04	1.45	0.03	1.42
A (mit AT) S5	2050	-3.24	4.24	0.52	0.18	0.00	-0.08	0.11	1.73	0.03	1.70
B (mit AT) Ph1	2050	-2.58	1.03	2.13	0.54	0.00	-0.01	0.04	1.15	0.03	1.12
B (mit AT) S5	2050	-3.24	1.84	2.07	0.51	0.00	-0.08	0.11	1.21	0.03	1.18

Region LG

***Tab. 102**: % Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
Referenzszenario S5	2050	-12%	na	na	na	0%	33%	na	-9%	33%	-12%
A (mit AT) Ph1	2050	-47%	na	na	na	0%	-22%	na	9%	33%	8%
A (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	19%	33%	18%
B (mit AT) Ph1	2050	-86%	na	na	na	0%	-22%	na	-8%	33%	-10%
B (mit AT) S5	2050	-100%	na	na	na	0%	-100%	na	-5%	33%	-7%

***Tab. 103**: Absolute Differenz in der Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region «LG» (Chur & Region) in 2050, mit automatisierten Taxis gegenüber dem Grundzustand 2020, Sensitivität 5 & Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV [Mio. km]	A-MIV [Mio. km]	AT [Mio. km]	AT-L [Mio. km]	ÖV [Mio. km]	GV [Mio. km]	A-GV [Mio. km]	Gesamt [Mio. km]	Ges. GV [Mio. km]	Ges. MIV [Mio. km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario Ph1	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
Referenzszenario S5	2050	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.17	0.03	-0.20
A (mit AT) Ph1	2050	-0.79	0.57	0.26	0.09	0.00	-0.02	0.05	0.16	0.03	0.13
A (mit AT) S5	2050	-1.68	1.79	0.15	0.05	0.00	-0.09	0.12	0.34	0.03	0.31
B (mit AT) Ph1	2050	-1.45	0.45	0.65	0.18	0.00	-0.02	0.05	-0.14	0.03	-0.17
B (mit AT) S5	2050	-1.68	0.80	0.59	0.17	0.00	-0.09	0.12	-0.09	0.03	-0.12

5.2.6 Abschätzung des durch neue Wege induziertem Verkehr

Um den durch neue Wege induzierten Verkehr abzuschätzen, wurde die Arbeit von (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) herangezogen. In der Arbeit von (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) wurden die Methode von (Weis & Axhausen, 2004) in einem iterativen Verfahren mit einem makroskopisches Schweiz-Szenario angewandt, um den aufgrund erhörten Erreichbarkeiten induzierten Verkehr in Wechselwirkung mit den Kapazitätsgrenzen des Systems abzubilden. Nur in einem Szenario waren die Erreichbarkeitsgewinne gross genug, um induziertem Verkehr überhaupt zu erzeugen. Dieses Szenario hatte folgende, sehr optimistischer Annahmen: Kapazitätsgewinne von 270% auf Autobahnen und 40% auf anderen Strassen, flächendeckende Verfügbarkeit von automatisierten Taxis, und kein privaten PW-Besitz. Für dieses Szenario war der durch neue Wege induzierter Verkehr 0.1% der Personenkilometer des Grundszenarios. Es ist ein Szenario, das am nächsten unserem Szenario B in der Sensitivität 5 entspricht.

Da alle unsere Szenarien pessimistischer hinsichtlich Kapazitätsgewinnen, AF-Durchdringung, und privatem PW-Besitz sind und daher höchstwahrscheinlich niedrigere Erreichbarkeitsgewinne haben, wird die Zahl von 0.1% der Personenkilometer des Grundszenarios als eine sinnvolle, geschätzte Obergrenze für den durch neue Wege induzierten Verkehr für unsere Szenarien eingestuft.

Exkurs: Vergleich der Verkehrsentwicklung ASTRA TP 2 mit derjenigen in der SVI-Forschungsarbeit „Verkehr der Zukunft 2060: Wechselwirkungen Verkehr und Raum“

Hier in TP 2 wurde ein Wachstum der Personenverkehrsleistungen von 2020 bis 2050 über alle Verkehrsmittel von 13% (Szenario A) bzw. 11 % (Szenario B) ermittelt. Dieses Wachstum entsteht hauptsächlich durch Bevölkerungswachstum, und marginal durch Routenwahländerungen. In der Literatur wurde mit aggregierten Modellen gezeigt, dass für ähnliche Szenarien aufgrund von nur marginalen Reisezeitgewinnen neue Wege entstehen können und dadurch die Verkehrsleistungen marginal bis zu 0.1% steigen könnten und das mit Szenarien mit extrem optimistischen Kapazitätsgewinnen aufgrund automatisierter Fahrzeuge (induzierter Verkehr bezogen auf Wege).

Im Forschungspaket „Verkehr der Zukunft 2060“ wurden im Teilprojekt „Wechselwirkungen Verkehr und Raum“ ebenfalls die Entwicklung der Personenverkehrsleistungen von 2015 bis 2060 untersucht. In dem Projekt wurde ein Gesamtwachstum der Personenverkehrsleistungen von 2015 bis 2060 zwischen 29% (ähnliches Szenario wie Szenario A) und 40% (ähnliches Szenario wie Szenario B) ermittelt. Dies ist deutlich höher als die hier in TP2 ermittelte Nachfragezunahmen.

Ein Vergleich der Resultate ist vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Aufgabenstellungen, der gemachten Annahmen (z.B. zur Bevölkerungsentwicklung) und

der verwendeten Modelle nur beschränkt möglich. Die folgenden methodischen Unterschiede erklären wesentliche Unterschiede:

In TP2 wurden vor allem Verkehrsmittelwahl- und Routenwahleffekte untersucht. Induzierter Verkehr wurde hier als neue Wege definiert, und Zahlen der relevanten Literatur für ähnliche Szenarien wurden übernommen. Zielwahländerungen sind hier nicht berücksichtigt.

In der Untersuchung VDZ „Wechselwirkungen Verkehr und Raum“ wurde keine Veränderung der Verkehrserzeugung (Wegeaufkommen) ermittelt. Dafür wurden aber Zielwahländerungen auf Basis der Annahme eines konstanten Reisebudgetansatzes modelliert. Dabei wurde unterstellt, dass Einsparungen bei den generalisierten Reisekosten für einen Weg in weitere Fahrten reinvestiert werden. Die generalisierten Reisekosten bestehen aus den Out-oft-Pocket-Kosten und der monetär bewerteten Reisezeit (also jeweils aus Fahrtlänge mit Out-of-Pocket Kostensatz, Reisezeit und Reisezeitkostensatz). Der Ansatz wird gestützt auf der Ex-Post Untersuchung des ARE (2014a), „Auswirkungen der Westumfahrung von Zürich und der A4 durch das Knonaueramt“, aber durch die Ergebnisse in Weis und Axhausen (2004) in Frage gestellt. Im methodischen Ansatz VDZ hat somit allein schon die Reduktion des Zeitkostensatzes durch automatisiertes Fahren neue Verkehrsleistungen zur Folge, da weitere Ziele angesteuert werden könnten. Weitere Unterschiede in den Annahmen zu den Automatisierungsgraden und in der flächendeckenden Verfügbarkeit von (evtl. staatlich bestellten) ÖV-Angeboten führen dann zu erheblichen Nachfragesteigerungen.

Fazit: Zielwahländerungen können einen erheblichen Einfluss auf das Verkehrswachstum haben. In welchem Umfang die monetär bewerteten Gewinne tatsächlich in neue Fahrten oder in andere Verwendungen fliessen, ist offen. Dies stellt weiteren Forschungsbedarf dar.

5.2.7 Aussagen zur Prognosezuverlässigkeit

Zurzeit gibt es nicht nur für Agent-basierte Modelle, sondern auch für 4-Stufen Modelle enttäuschend wenige Studien zur Prognosezuverlässigkeit in der Literatur. Eine Studie die 183 Prognosen für Strassenverkehrsinfrastrukturprojekte hinsichtlich die Zuverlässigkeit ihrer Verkerhsleistungsprognosen evaluiert hat konnte zeigen, dass 50% der untersuchten Projekte Abweichung von den später gezählten Fahrzeugen von plus-minus 20% aufgewiesen haben (Flyvbjerg, Skamris Holm, & Buhl, 2005). 75% der Prognosen liegen zwischen plus-minus 40% der später gemessenen Fahrleistungen. Im Durchschnitt haben diese Fahrleistungsprognosen die spätere gezählte Fahrleistung bei etwa 8.7% unterschätzt. Jedoch war die Wahrscheinlichkeit, dass eine Prognose die Fahrleistung überschätzt gleich der Wahrscheinlichkeit, dass eine Prognose die Fahrleistung unterschätzt.

Es wäre sehr zu empfehlen, dass in Zukunft dieses Thema Prognosezuverlässigkeit von Verkehrsmodellen gründlicher zu erforschen. Dabei wäre es genauso wichtig die für die Planung und Politik nützlichen Masse der Unsicherheiten festzulegen als diese Unsicherheiten zu quantifizieren. Ein ausführlicher erster Schritt zur Festlegung von geeigneten Masse der Unsicherheiten wurde im Projekt SVI 2015-001 gemacht (Rieser, et al., 2018).

5.3 Fazit

In diesem Fazit des Kapitel 5 werden die Ergebnissen der Simulationen zusammengefast und die wichtigsten Erkenntnisse werden hervorgehoben. Ausgenommen sind die Ergebnissen der Engpassanalyse, da diese erst im Kapitel 6 beschrieben wird. Forschungs- und Handlungsempfehlungen werden in Kapitel 7 erläutert.

Tendenzen in Personenkilometer (Verkehrsleistung)

Automatisiertes Fahren führt ohne einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz in allen Regionen gegenüber dem Referenzszenario zu einem Wachstum der Personenkilometer, die mit dem gesMIV zurückgelegt werden. Dieser Effekt ist stärker in den Szenarien mit automatisierten Taxis (Szenario A mit automatisierten Taxis) als in denen ohne automatisierte Taxis (Szenario A ohne automatisierte Taxis). Mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz – abgebildet in Szenario B (mit automatisierten Taxis) - kann in 2050 in den ländlichen Regionen ein Rückgang der mit dem gesMIV zurückgelegten Personenkilometer gegenüber dem Referenzszenario gesehen werden. Jedoch in der Stadt und deren Agglomeration ist in Szenario B 2050 (mit automatisierten Taxis) gegenüber dem Referenzszenario eine deutliche Zunahme zu erkennen, trotz Rückgang im Privatfahrzeugbesitz. Diese Zunahme gegenüber dem Referenzszenario ist aber weniger stark als in Szenario A (mit automatisierten Taxis). Dass der Rückgang im Privatfahrzeugbesitz im ländlichem Raum eine andere Auswirkung hat als in der Stadt und deren Agglomeration ist eine Folge der unterschiedlichen verkehrlichen Kontexte (siehe die Diskussion in Kapitel 5.1.4).

Tendenzen in Fahrzeugkilometer (Fahrleistung)

Automatisiertes Fahren führt in allen Regionen gegenüber dem Referenzszenario zu einer Zunahme der auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer, egal ob es einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz gibt oder nicht. Dieser Effekt ist stärker mit automatisierten Taxis als ohne automatisierte Taxis. Der Effekt wird durch einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz zwar geschwächt, aber er verschwindet nicht. Jedoch wäre in den ländlichen Regionen ohne die Leerfahrten der automatisierten Taxis in den Szenarien mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenario B mit automatisierten Taxis) ein leichten Rückgang gegenüber dem Referenzszenario erkennbar. Hingegen würden in der Stadt und deren Agglomeration sowie in allen Regionen in Szenario A (mit automatisierten Taxis) auch ohne Leerfahrten von automatisierten Taxis die auf der Strasse zurückgelegten Fahrzeugkilometer gegenüber dem Referenzszenario zunehmen.

Tendenzen in den Tagesbelastungen und deren räumlichen Ausprägungen

Generell gilt für die HLS der Schweiz: automatisiertes Fahren führt ohne einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (also in Szenario A ohne automatisierte Taxis und Szenario A mit automatisierten Taxis) zu einer deutlichen bis erheblichen Zunahme der Tagesbelastung in PCU gegenüber dem Grundszenario 2020. Diese Zunahme ist grösser als im Referenzszenario trotz der Annahme, dass automatisierte Fahrzeuge circa 30% weniger raumzeitlichen Platzbedarf als konventionelle Fahrzeuge haben. Grund dafür ist, dass die Tagesbelastungen in Fahrzeugen gegenüber dem Grundszenario erheblich bis extrem stark steigen und dieses durch die raumzeitliche Effizienz der AF nicht ganz ausgeglichen werden kann, trotz eines Anteils automatisierten Fahrzeuge von zwischen 42% bis 73% im Strassenverkehr (je nach Region und Strassenkategorie). Jedoch mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (also in Szenario B mit automatisierten Taxis) nehmen in allen Regionen die Tagesbelastungen in PCU auf HLS gegenüber das Grundszenario 2020 ab. Gründe dafür sind teilweise die schwächere Nachfrage in Szenario B gegenüber Szenario A (siehe die Diskussion zur Fahrleistung und Verkehrsnachfrage) und teilweise des höheren Anteils automatisierter Fahrzeuge im Strassenverkehr, mit zwischen 61% und 90% (je nach Region und Strassenkategorie). Ob diese Abnahme auf den entsprechenden Strecken stattfinden wird und auch stark genug ist um die heutigen Engpässe im HLS-Netz zu lösen, wird in Kapitel 6 evaluiert.

Tendenzen im Modal Split der Wege

Im Referenzszenario, welches in 2050 eine Reduktion der ÖV-Preise von 20% für die Schiene und 40% für die Strasse wegen der Einführung des automatisierten Betriebs annimmt, gibt es in 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020 auf nationaler Ebene sowie in den drei untersuchten Regionen eine deutliche Verlagerung der Wege vom MIV zum ÖV von zwischen 2% im ländlichem Raum und 4% in der Region SA. Dieser Anstieg wird sehr reduziert mit der „Erhöhung“ der ÖV-Preise auf das jetzige Niveau (abgebildet in Sensitivität 1), aber verschwindet nicht ganz.

Die Verfügbarkeit von privaten AF und automatisierten Taxis ohne einen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenarien A mit automatisierten Taxis) wirkt sich im ländlichem Raum schwächer aus als in der Region SA, mit einer Zunahme des gesMIV-Anteils in 2050 gegenüber dem Grundszenario 2020 von zwischen 0.5% und 2.5% im ländlichem Raum und 5% in der Region SA. Auch ohne automatisierte Taxis (Szenario A ohne automatisierte Taxis) steigt der gesMIV-Anteil in der Region SA in 2050 etwa 2% gegenüber dem Grundszenario 2020, während im ländlichem Raum der gesMIV-Anteil bei etwa -0.5% bis -1% sinkt. Mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenario B mit automatisierten Taxis) findet in 2050 im ländlichem Raum ein starker Rückgang gegenüber dem Grundszenario 2020 im gesMIV-Anteil von zwischen -10,5% und -14,0% statt, aber in der Region SA sieht man eher eine Stagnation, mit einem Rückgang von nur -0,5%. Anders als im Referenzszenario sind in den Szenarien mit AF die Tendenzen im gesMIV-Anteil nicht mehr direkt negativ mit den Tendenzen im ÖV-Anteil gekoppelt. Stattdessen ändert sich der Anteil des LV viel stärker: die AF-Modi scheinen oft stärker vom LV zu ziehen als vom ÖV.

Wenn die entsprechenden Wege des Referenzszenario 2050 mit den gleichen Wegen in Szenario A (ohne automatisierte Taxis) 2050 oder Szenario B (ohne automatisierte Taxis) verglichen werden, zeigt sich, dass in den zwei ländlichen Regionen die allermeisten Wege der privaten AF ehemalige konventionelle PW-Wege waren. Jedoch in der Region SA bilden ehemalige konventionelle PW-Wege nur die Hälfte der privaten AF-Wege: die andere Hälfte waren ehemalig ÖV- oder LV-Wege. Festzuhalten ist, dass Agenten die Zugang zu einem privaten AF haben, fahren mehr als Agenten, die Zugang zu einem konventionellen Privatfahrzeug haben.

Wenn die entsprechenden Wege der Szenarien A (ohne automatisierte Taxis) und Szenario B (ohne automatisierte Taxis) mit den gleichen Wegen in jeweils Szenario A (mit automatisierten Taxis) und Szenario B (mit automatisierten Taxis) verglichen werden wird deutlich, dass die automatisierten Taxis von alle anderen Verkehrsmitteln Wege auf sich verlagern. Die meisten Wege kommen vom ÖV. In Szenario A kommen die zweimeisten Wege vom konventionellem MIV (ausser in der Region LU, wo der LV und konventionellem MIV etwa gleich wahrscheinlich auf automatisierte Taxis umsteigen). In Szenario B kommen die zweitmeisten Wege vom LV. Festzuhalten ist, dass automatisierte Taxis ein sehr attraktives Angebot anbieten, dass stark vom ÖV, LV, und konventionellen Privatfahrzeugen Wege verlagern kann. Jedoch ist der Angebot der automatisierten Taxis für diejenigen mit Zugang zu einem privaten AF uninteressant, wie auch die deutlich kleinere Anzahl Pkm der automatisierten Taxis in den Ergebnissen der Sensitivität 5 (siehe Kapitel 5.2.5) implizieren.

Diese Tendenzen im Modal Split der Wege sind die Ursache der schon erwähnten Tendenzen in den Modal Splits der Personenkilometer und Fahrzeugkilometer. Jedoch ist der Einfluss vom Modal Split der Wege auf dem Modal Split der Personen- und Fahrzeugkilometer nicht direkt einsehbar. In manchen Fällen ist sogar die Richtung unterschiedlich, z. B. in Szenario A (mit automatisierten Taxis) 2050 in der Region LG stagniert der ÖV-Anteil der Wege während die ÖV-Pkm sinken. Ein Grund dafür ist, dass die Distanz der Wege die verlagert werden nicht uniform ist. Die Analysen der Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Treiber der Unterschiede zwischen den Tendenzen des Wege-Modal-Splits und des Pkm-Modal-Splits ist die Verlagerung von überwiegend langen (>10km) Wegen vom ÖV zum AF.

Hypothese: AF konkurrieren mit dem ÖV am stärksten auf langen Wegen

Wenn nur der Modal Split der Wege betrachtet wird, scheint der Effekt des AF moderat zu sein, aber betrachtet man den Modal Split der Pkm und Fzg-km sowie das Wachstum der Fahrleistung und der Belastungen auf den HLS wird deutlich, dass für die Kapazitäts- und Infrastrukturrelevante Massen der Effekt erheblich sein könnte. Diese Ungleichheit zwischen dem Modal Split der Wege und dem Modal Split der Pkm und Fzg-km impliziert, dass die AF besonders auf langen Wegen bevorzugt werden und somit überproportional zu ihren Wege-Modal Split Pkm und Fzg-km vom ÖV auf sich verlagern. Diese These wird unterstützt, wenn die Veränderungen in der durchschnittlichen Reisedistanz der Wege nach Verkehrsmittel betrachtet werden. Obwohl diese Änderungen klein sind (meistens

weniger als 2km) sind sie sehr konsistent und markant, und deshalb erwähnenswert. In allen Szenarien (ausser B ohne automatisierte Taxis) und in allen drei Regionen sowie auf nationale Ebene sinkt die durchschnittliche Reisedistanz der ÖV-Wege. Gleichzeitig steigt die durchschnittliche Reisedistanz der Wege des privaten AF gegenüber die der konventionellen Fahrzeuge. Dazu kommt, dass in allen drei Regionen die durchschnittliche Reisedistanz der Wege von automatisierten Taxis stark steigt, oft bis sie die Länge der ÖV-Wege erreicht. Festzuhalten ist: Es gibt sehr starke Hinweise dafür, dass das AF besonders für längere Wege gegenüber den anderen Verkehrsmitteln und besonders gegenüber dem ÖV sehr attraktiv ist. Die durchgeführten Analysen zeigen, dass die Untergrenze für „längere Wege“ oberhalb von 10km liegt. Es wäre empfehlenswert, die genauen Eigenschaften dieser längeren Wege zu ermitteln und somit die Stellschrauben dieses Phänomen für die Entwicklung von konkreten Handlungsempfehlungen offenzulegen.

Pooling

Ergebnisse der Simulationen dieses Projektes habe gezeigt, dass das Potenzial von Pooling, eher gering ist (siehe Kapitel 5.2.3). Generell kann festgehalten werden, das das Potenzial von Punkt-zu-Punkt Pooling vielversprechend aussieht, wenn Idealbedingungen angenommen werden (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019), es sich aber unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen scheinbar kaum Anwendungsfälle ergeben. Dies schliesst nicht aus, dass ein komplexeres Pooling-System (bei welchem während der Fahrt neue Aufträge angenommen werden) ein höheres Potenzial aufweist. Es wird daher geraten, die Forschung in diesem Bereich zu vertiefen. Dabei gilt es, aktuelle Hürden zu überwinden, die vor allem aufgrund der Rechenzeit entstehen.

Langstreckentaxis

Ähnliches gilt für automatisierte Langstreckentaxis als für Pooling. Im Rahmen dieses Projekts wurde versucht eine nationale automatisierte Taxiflotte für den Fernverkehr zu simulieren. Es wurde versucht, die Rechenzeiten im Rahmen des machbaren zu halten im dem nur die Nachfrage, die in den jeweiligen Hauptszenarien die HLS verwendet haben, beibehalten wurde. Leider stossen diese Szenarien trotz dieser gezielten Einschränkung der zu modellierenden Agenten an unpraktisch lange Rechenzeiten. Desweitern haben diese Versuche gezeigt, dass der vorhandene Pooling-Algorithmus die langen «Rebalancing» Fahrten nicht ausreichend regulieren konnte, um den Preis und die Wartezeiten für das Angebot niedrig genug zu halten um Kunden zu behalten: das Langstreckentaxi-Angebot «starb aus». Deshalb wird geraten, dass für zukünftige Untersuchungen zum Thema automatisierte Langstreckentaxis mehr Zeit in der Entwicklung der konkreten Geschäftsmodelle («on-demand» oder im Voraus reserviert, eigenwirtschaftlich oder subventioniert, Monopol oder Konkurrenz, Trennung von oder Kooperation mit lokalen Taxiflotten, Fahrpreisstruktur, inner-betriebliche Quersubventionierung, usw.) und Auswahl bzw. Entwicklung von Steuerungs-Algorithmen und Kostenrechnern, die die ausgewählte Geschäftsmodellen simulieren können, zu investieren.

Bevölkerungswandel erzeugt eine Tendenz zum Umweltverbund sowie zum Mitfahren

Es gibt aufgrund des Bevölkerungswandels eine schwache Tendenz zum Umweltverbund in 2050 gegenüber 2020. Dieser Tendenz wird durch eine ÖV-Fahrpreissenkung erheblich gestärkt, aber in der Region SA durch private AF und automatisierte Taxis so gut wie ausgeglichen und ohne Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes sogar völlig kompensiert.

Induzierter Verkehr

Induzierter Verkehr ist ein Begriff, der immer genau definiert werden soll um Missverständnisse zu vermeiden. In diesem Projekt wird mit «Induzierter Verkehr» der Anstieg in Pkm und Fzg-km, der durch neue (zusätzliche) Wege entsteht, definiert. Da MATSim zurzeit nur Verkehrsmittel- und Routenwahl berücksichtigen kann (und in beschränkten Mass Änderungen in Abfahrtszeiten), musste für den induzierten Verkehr auf

die Literatur zurückgegriffen werden. Basierend auf (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017) – welche ähnliche aber weit optimistischere Szenarien betrachtet haben - wird die Menge von 0.1% der Personenkilometer des Grundszenarios als eine sinnvolle, geschätzte Obergrenze für den durch neue Wege induzierten Verkehr für die 2050 Szenarien eingestuft. Jedoch, wie in Kapitel 5.2.6 argumentiert, könnte auch der durch Zielwahl induzierter Merhverkehr potenziell erheblich sein. Die betrachtete Literatur ist uneinig im welchem Umfang die monetär bewerteten Gewinne von Reisezeitänderungen in der Wahl neue Ziele, neue Wege, oder in andere Verwendungen fliessen würden. Die vertiefte Einschätzung des induzierten Verkehrs (neue Wege und Zielwahl) stellt deshalb weiteren Forschungsbedarf dar.

Prognosezuverlässigkeit und weitere Unsicherheiten

Unsicherheiten in diesen Prognosen: in der Regel zeigt die vorhandene Literatur, dass Prognosen der strassengebundenen Fahrleistung eher ungenau sind: 50% der Prognosen liegen zwischen plus-minus 20% der später gemessenen Fahrleistungen. 75% der Prognosen liegen zwischen plus-minus 40% der später gemessenen Fahrleistungen. Obwohl der Mittelwert der relativen Abweichungen leicht positiv ist, ist es genauso wahrscheinlich die Fahrleistung zu unterschätzen als zu überschätzen. Jedoch deutet eine Betrachtung der in diesem Projekt gemachten Annahmen und die Einschränkungen des Models eher auf eine Unterschätzung der eventuellen Fahrleistung als eine Überschätzung hin.

Des Weiteren ist bei disaggregierten Analysen von MATSim Ergebnissen – zum Beispiel von Belastungen einzelner Streckenabschnitte oder einzelner Entscheidungen einzelner Agenten oder kleinere Gruppen von Agenten – neulich Vorsicht geboten. MATSim ermöglicht theoretisch solche Analysen in dem es die diskrete, disaggregierte Entscheidungen der Agenten sowie ihre Bewegungen im Netz modelliert. Jedoch wurde in diesem Projekt und parallel laufenden Projekte entdeckt, dass wenn eine sehr hohe Nachfrage in der der Grossteil der dazugehörigen Verkehrsteilnehmer eine räumlich ähnliche Quelle und ein räumlich ähnlicher Ziel haben und sich auf einer Relationen mit zwei oder mehr sehr ähnlichen Routen konzentriert, es zu Oszillationen in den Belastungen der ähnlichen Routen über mehrere Iterationen kommen kann (siehe Kapitel 5.1.2). Dies erschwert die Interpretation von Vergleichen der Belastungen einer einzelnen Strecke zwischen zwei oder mehr Szenarien. Obwohl noch während dieses Projekt Forschungsarbeiten bezüglich dieses Themas begonnen wurden, lag zur Zeit der Analyse und Berichtserstattung noch keine für die Interpretation hilfreiche Ergebnissen vor. Deshalb konnten die Belastungsunterschiede der HLS im Raum Solothurn-Bern zwischen den Szenarien nicht plausibilisiert werden.

Es muss auch bemerkt werden, dass selbst viele Eingangsgrössen für die durchgeführten Simulationen selber Prognosen waren, am wichtigsten die Prognosen für die Bevölkerungsentwicklung und Güterverkehrsaufkommen. Deshalb muss hervorgehoben werden, dass die Ergebnisse nur dann gelten, wenn diese Eingangsprognosen selber stimmen. Empfehlenswert wäre daher weitere Sensitivitätstests mit unterschiedlichen Bevölkerungs- und Güterverkehrsprognosen durchzuführen um den „Decision-Space“ oder „Entscheidungsraum“ besser abzubilden.

Fazit

AF führt in der Regel zu einem Wachstum der Personenkilometer die mit dem gesamten MIV (auch automatisierte Taxis und Mitfahrer) auf der Strasse zurückgelegt werden und einem noch deutlicheren Wachstum der Fahrzeugkilometer auf der Strasse und dadurch ein entsprechendes Wachstum der Tagesbelastungen in Fahrzeugen auf den Strassen. Dieses wird nur teilweise durch die Kapazitätsgewinne kompensiert: es steigen trotzdem die Belastungen in PCU. Dieser Trend ist stärker mit automatisierten Taxis als ohne. Ein Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes (Szenario B) schwächt diese Tendenzen: durch ein höheren Durchdringungsgrad der AF im Verkehr als in Szenario A und eine in-der-Regel schwächere Verkehrsnachfrage für das gesMIV können mindestens die Tagesbelastungen in PCU gegenüber dem heutigen Stand in der Regel vermindert werden, obwohl in der

Regel die Tagesbelastungen in Fahrzeugen trotzdem stärker als im Referenzszenario steigen.

6 Engpassanalyse

6.1 Nationalstrassen

6.1.1 Untersuchungsansatz und ausgewählte Abschnitte

Für die Kapazitätsanalyse des schweizerischen Nationalstrassennetzes liegt die Methodik zur Engpassanalyse vor, die im Rahmen des strategischen Entwicklungsprogramms Strasse angewendet wird. Die aktuellste Engpassanalyse basiert auf dem Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040, das mit dem Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) berechnet wird. Sie war eine Grundlage für das von National- und Ständerat beschlossene Strategisches Entwicklungsprogramm Nationalstrassen, Ausbauschritt 2019 (Bundesamt für Strassen, 2018).

Die Resultate aus dem vorliegenden Teilprojekt werden mit den Ergebnissen der aktuellsten Engpassanalyse des Bundes verglichen. Damit sind Aussagen möglich, ob ausgewiesene Engpässe auf dem Nationalstrassennetz mit der Automatisierung verschwinden (Kapazitätssteigerung > Nachfragesteigerung) oder sich verschärfen (Kapazitätssteigerung < Nachfragesteigerung).

Die Engpassanalyse wird gemäss **Tab. 104** für zwölf Engpässe des Nationalstrassennetzes angewendet. Dabei werden einerseits die acht bedeutendsten Engpässe auf dem Nationalstrassennetz betrachtet (Stufe III), andererseits werden auch weitere Engpässe der Stufen I und II untersucht, um die Aussagen zu den Wirkungen automatisierter Fahrzeuge auf Abschnitte mit hohen Auslastungen zu komplettieren. Zudem wird die regionale Verteilung der Engpassbetrachtungen berücksichtigt (vgl. **Abb. 164**). Die Festlegung der Engpässe erfolgte gemeinsam mit dem ASTRA.

***Tab. 104** Zu untersuchende Engpässe auf dem Nationalstrassennetz*

ID	Stufe	NS	Abschnitt	Länge [km]
A	III	N1	Landesgrenze zu Frankreich – Coppet	24.5
B	III	N1	Verzweigung Birrfeld – Verzweigung Limmattal	15.5
C	III	N1	St.Gallen Kreuzbleiche – Verzweigung Meggenhaus	7.5
D	III	N1	Morges Est – Verzweigung Ecublens	5.0
E	III	N1	Verzweigung Zürich Nord – Brüttisellerkreuz	5.0
F	III	N1	Luterbach – Härkingen	20.0
G	III	N2	Lugano Süd – Melide	3.5
H	III	N2/N3	Basel Badischer Bahnhof – Verzweigung Augst	11.5
I	II	N1	Verzweigung Bern Wankdorf – Kirchberg	14.0
J	II	N14	Gisikon Root – Verzweigung Rotsee	9.0
K	II	N9	Lutry – Montreux	17.0
L	I	N3	Thalwil – Richterswil	15.5

Für die Engpassanalyse werden die Jahre 2040 und 2050 betrachtet, da gemäss Teilprojekt 5 erst zu diesen Zeithorizonten automatisierte Fahrzeuge signifikante Durchdringungsraten an der Gesamtflotte aufweisen.

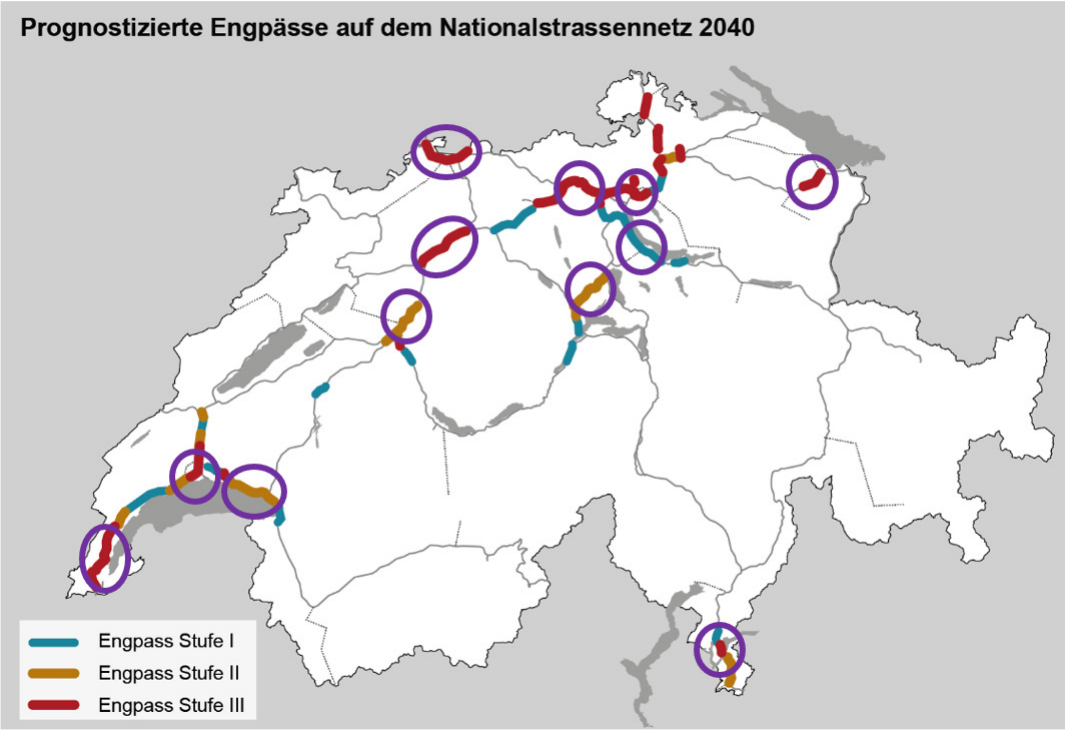


***Abb. 164** Übersicht zu den Engpässen auf dem Nationalstrassennetz (ASTRA, 2018)*

6.1.2 Vorgehen

Die Auswertung erfolgt gemäss dem Verfahren zum Programm Engpassbeseitigung des Bundes, welches beim ASTRA, Abteilung Netzplanung, dokumentiert ist. Das Verfahren benötigt zwei Datengrundlagen (vgl. **Abb. 165**). Es werden sowohl die Verkehrsbelastungen aus den Modellen (NPVM, MATSim) als auch die empirischen Messdaten zu den Spitzenstundenbelastungen gemäss der Strassenverkehrszählung (SVZ) des ASTRA verwendet. Für die Messdaten gilt wie bei der aktuellsten Engpassanalyse STEP-NS das Bezugsjahr 2014.

Die Betrachtung der Auslastung erfolgt nach zwei Ansätzen (vgl. **Abb. 165**): Einerseits werden auf die Belastungen der Tagesspitzenstunde gemäss Verkehrsmodell die Spitzenstundenfaktoren (für die 50. Stunde im Jahr) gemäss Zählstellendaten angewendet und das Produkt den Kapazitäten gegenübergestellt. Andererseits werden auf die Spitzenstundenbelastungen gemäss Zählstellendaten die Entwicklungsfaktoren gemäss Verkehrsmodell angewendet und den Kapazitäten gegenübergestellt. Damit ergeben sich pro Streckenabschnitt zwei Auslastungswerte für die 50. Stunde im Prognosezustand, die gemäss den folgenden Klassen eingeteilt werden:

- Engpassstufe I = Auslastung 101% - 110%
- Engpassstufe II = Auslastung 111% - 120%
- Engpassstufe III = Auslastung >120%

Die definitive Einteilung erfolgt im Rahmen eines Expertenworkshops unter Berücksichtigung der Randbedingungen von Verkehrsmodellierung und Zähldatengrundlage.

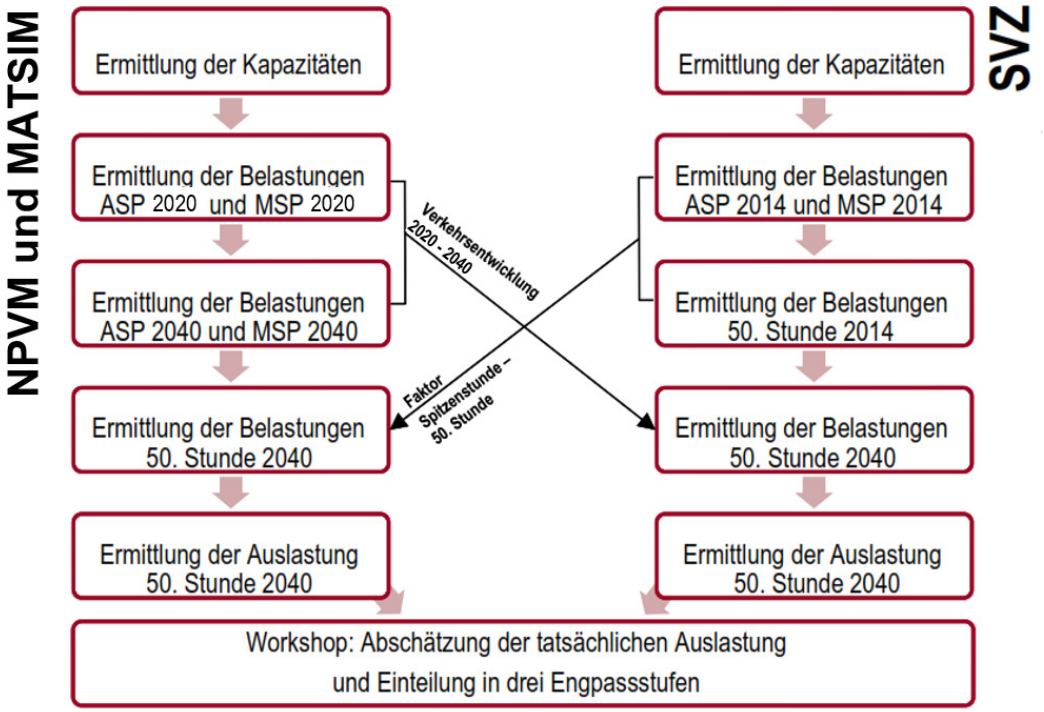


Abb. 165 *Vorgehen Engpassanalyse für das Jahr 2040*

Im Rahmen des vorliegenden Teilprojekts werden Streckenabschnitte auf dem verwendeten MATSim-Netz den gemäss Abschnitt 6.1.1 festgelegten Nationalstrassenabschnitte zugeordnet und die entsprechenden Verkehrsbelastungen für die Szenarien in den Jahren 2040 und 2050 herausgespielt.

Ein Vergleich der Querschnittsbelastungen von MATSim Baseline 2040 mit dem NPVM 2040 an den zu untersuchenden Engpässen ist in **Tab. *105*** dargestellt. Dabei werden die massgebenden Spitzenstundenbelastungen in Fzg und PWE/PCU für die MSP und ASP angegeben.

***Tab. 105** Differenzen MATSIM Baseline 2040 – NPVM 2040*

				Baseline-Scenario ohne AV MATSIM 2040			
ID	**Autobahn**	**Abschnitt**	**Unterabschnitt**	max. Stunden-belastung Modell [Fz/h]	Veränderung Belastung ggü. NPVM [Fz/h]	max. Stunden-Belastung Modell [PWE/h]	Veränderung PCU ggü. NPVM [PWE/h]
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	*kein Streckenabschnitt*			
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	3'669	-20%	3'801	-19%
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	4'005	-31%	4'177	-28%
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	4'500	-33%	4'750	-30%
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	4'345	-13%	4'684	-11%
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	4'426	-28%	5'412	-21%
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	5'636	-16%	6'813	-9%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	5'928	-16%	7'016	-10%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	6'467	-10%	7'869	-1%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	6'026	-7%	7'091	-2%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	6'139	-14%	7'042	-8%
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	4'705	8%	5'633	25%
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	4'282	8%	5'241	28%
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	4'336	11%	5'146	25%
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	4'735	-10%	5'608	4%
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	5'084	-27%	6'149	-17%
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	6'215	-19%	7'772	-3%
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	6'415	-12%	7'604	-1%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	4'538	0%	6'376	22%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	4'459	-5%	6'211	21%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	4'459	-3%	6'117	22%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	4'459	-1%	6'251	28%
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	3'005	-44%	4'154	-27%
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	2'622	-50%	3'735	-32%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	6518	-2%	7650	5%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	6'288	-8%	7'401	-1%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	6'193	-14%	7'632	-3%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	4'309	-34%	5'074	-26%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	3'562	-36%	4'022	-33%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	2'933	-42%	3'632	-33%
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	5'892	4%	7'915	22%
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	4'463	10%	6'257	34%
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	4'449	20%	5'175	32%
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	4'416	9%	5'423	27%
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	4'332	4%	4'878	13%
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	4'350	5%	4'742	12%
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	4'370	-11%	4'935	-3%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	4'233	15%	4'948	29%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	4'003	14%	4'653	28%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	4'344	18%	5'048	32%

Die erheblichen Unterschiede der Verkehrsbelastungen sind begründet durch:

- **Prognosegrundlage:** Die Engpassanalyse NPVM STEP-NS beruht auf einem umfangreichen Set aus Annahmen (z.B. Bevölkerungsentwicklung oder Veränderung von Preisen). Diese sind in MATSim nicht oder in einer anderen Form eingeflossen.
- **Grenzüberschreitender Verkehr:** In MATSim wird die Verkehrsnachfrage der in der Schweiz wohnhaften Bevölkerung modelliert. Transitfahrten durch die Schweiz oder Fahrten in die Schweiz von im Ausland wohnenden Personen werden nicht modelliert. Dies führt insbesondere in den grenznahen Räumen Genf, Lugano und Basel zu einer deutlichen Unterschätzung des Verkehrsaufkommens. In diesen Räumen liegen auch einige Engpässe auf dem Nationalstrassennetz.
- **Schwerverkehr:** Unterschiedliche Nachfragemodelle im Schwerverkehr (besonderes relevant für die leistungsrelevanten PWE/PCU-Werte) führen teilweise infolge höherer Anteile von schweren Nutzfahrzeugen (MATSim) zu einer Verschärfung von Engpässen.
- **Streckenkapazitäten:** In MATSim sind Kapazitäten auf Basis des HCM (Highway Capacity Manual) festgelegt. Reisezeitzunahmen werden durch Warteschlangen modelliert, statt durch einer CR-Funktion. Wenn ein Agent eine Kante betritt und damit die Kante ihre Kapazitätsgrenze erreicht, muss der nächste Agent warten, bis einer der Agenten, die schon auf der Kante sind, die Kante verlassen. Je grösser der Unterschied zwischen Kapazität und Nachfrage ist, desto länger wird die Warteschlange und desto grösser sind die Wartezeiten. Dies erlaubt auch die Bildung von Stau-Wellen über mehre Kanten, da ein Agent eine Kante nur verlassen kann, wenn die nächste Kante für ihn Platz hat. Das NPVM, das für die Engpassanalyse STEP-NS eingesetzt wird, arbeitet hingegeben mit CR-Funktionen (Capacity Restraint). Diese erlauben Auslastungen über 100%, wobei im Überlastbereich eine deutliche (exponentielle) Zunahme der Reisezeiten hinterlegt ist (vgl. **Abb. 166**).

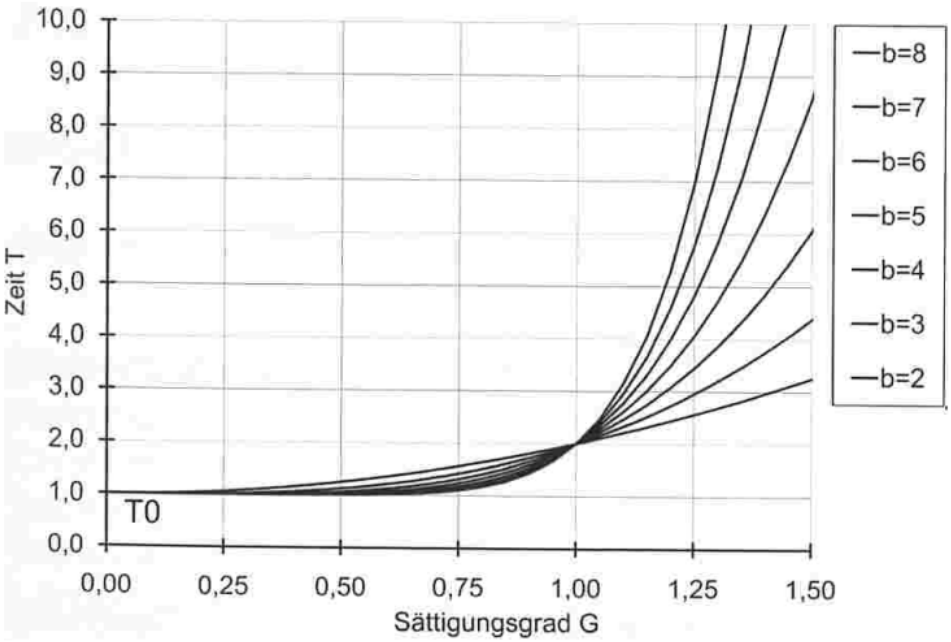


Abb. 166 *Beispiele CR-Funktionen, wie sie im NPVM hinterlegt sind. Die Reisezeiten (y-Achse) steigen im Überlastbereich über 1.0 (Verhältnis von Nachfrage zu Kapazität) deutlich an (Quelle: (Schnabel & Lohse, 2011)*

Aufgrund der beschriebenen Modellunterschiede können die Verkehrsbelastungen aus MATSim nicht direkt übernommen werden, um die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Engpässe gemäss STEP-NS zu überprüfen. Das Verfahren wird entsprechend angepasst (vgl. **Abb. 167**): Die mit MATSim ermittelten Verkehrsbelastungsänderungen infolge des automatisierten Fahrens (gegenüber dem

Baseline-Szenario) werden relativ auf das Grundszenario des NPVM übertragen. ***Tab. 106*** zeigt die resultierenden Veränderungen für das Jahr 2040.

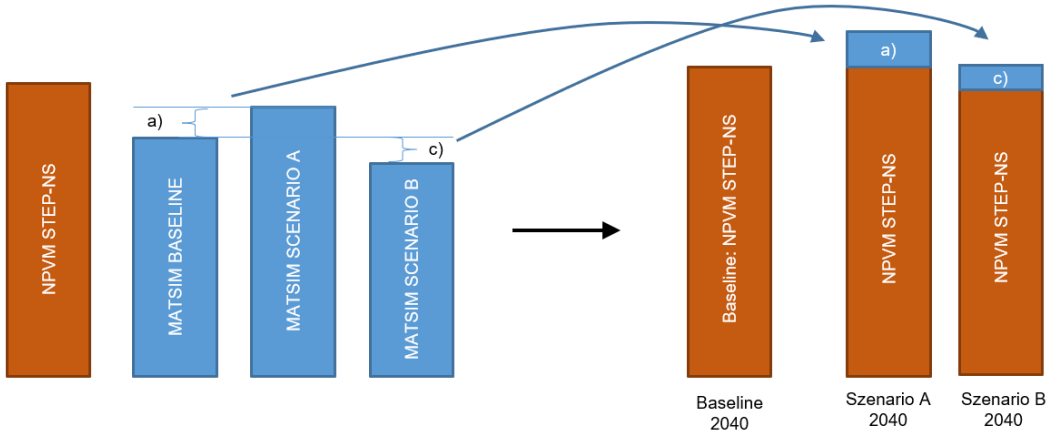


Abb. 167 *Prinzipskizze zur Verwendung der Modellgrundlagen für das Jahr 2040*

Da bisher keine Verkehrsperspektiven für das Jahr 2050 vorliegen, die für die Engpassanalyse gemäss STEP-NS verwendet werden könnten, wurde die Berechnung der Verkehrsbelastungen analog zum Jahr 2040 vorgenommen. Dabei werden die Veränderungen der Verkehrsbelastungen gemäss MATSim-Szenarien A und B gegenüber dem MATSim-Szenario Baseline 2040 verwendet und relativ auf das Grundszenario 2040 des NPVM übertragen.

Exkurs: Im Rahmen der Bearbeitung wurde auch geprüft, ob die Veränderungsraten von MATSim-Baseline zu den MATSim-Szenarien A und B auf Basis von Tages- oder Spitzenstundenbelastungen durchgeführt werden soll. Bei der Betrachtung der Stundenwerte wurde festgestellt, dass zahlreiche Abschnitte, die im Baseline-Szenario vollständig gesättigt sind, auch in den Szenarien A und B (mit automatisierten Fahrzeugen) vollständig gesättigt sind. Es ergeben sich damit keine Verkehrsbelastungsänderungen. Dies ist auf die starren Kapazitätsgrenzen in MATSim zurückzuführen, die keine Überlasten zulassen. Die Übertragbarkeit der Resultate auf Spitzenstundenbasis ist somit eingeschränkt. Daher werden die MATSim-Veränderungen der Szenarien A und B auf Basis von Tageswerten ermittelt und übertragen.

Tab. 106 *Veränderung MATSIM-Belastungen und PCU in den Szenarien A und B gegenüber Baseline für das Jahr 2040 – Schweizweite Betrachtung*

				Baseline 2040	Szenario A mit AV (2040, MATSim)				Szenario B/C mit AV (2040, MATSim)			
ID	Autobahn	Abschnitt	Unterabschnitt	max. Tages-belastung Modell [Fz/d]	max. Tages-belastung Modell [Fz/d]	Veränderung Belastung ggü. bl [Fz/d]	Veränderung PCU ggü. bl [PWE/d]	Veränderung PCU ggü. bl [PWE/h]	max. Tages-belastung Modell [Fz/d]	Veränderung Belastung ggü. bl [Fz/d]	Veränderung PCU ggü. bl [PWE/d]	Veränderung PCU ggü. bl [PWE/h]
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly		*kein Streckenabschnitt*				*kein Streckenabschnitt*			
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	35'484	35'180	-1%	-2%	-6%	33'732	-5%	-7%	4%
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	46'360	43'440	-6%	-7%	5%	39'844	-14%	-16%	-1%
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	43'016	42'484	-1%	-2%	-14%	39'092	-9%	-11%	-6%
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	46'452	45'844	-1%	-3%	-7%	42'180	-9%	-11%	-7%
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	62'924	53'192	-15%	-15%	-20%	54'884	-13%	-12%	-22%
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	74'572	63'564	-15%	-15%	-11%	65'972	-12%	-12%	-17%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	79'832	69'104	-13%	-13%	-9%	71'052	-11%	-12%	-14%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	76'876	66'240	-14%	-14%	-20%	68'452	-11%	-12%	-14%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	71'760	61'472	-14%	-14%	-18%	64'204	-11%	-11%	-12%
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	73'508	65'744	-11%	-11%	-15%	67'296	-8%	-9%	-3%
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	44'168	42'420	-4%	-5%	-10%	39'688	-10%	-10%	-11%
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	43'580	39'340	-10%	-10%	-17%	36'644	-16%	-14%	-17%
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	38'904	36'652	-6%	-7%	-13%	34'484	-11%	-11%	-12%
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	57'992	51'588	-11%	-11%	-18%	49'432	-15%	-14%	-18%
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	56'008	54'296	-3%	-6%	-5%	54'832	-2%	-3%	-3%
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	81'104	73'532	-9%	-11%	-15%	75'408	-7%	-8%	-13%
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	81'200	69'404	-15%	-15%	-19%	72'920	-10%	-10%	-18%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	66'412	46'160	-30%	-30%	-29%	47'960	-28%	-27%	-29%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	61'688	41'296	-33%	-32%	-35%	45'344	-26%	-27%	-28%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	61'228	43'672	-29%	-27%	-28%	45'144	-26%	-26%	-27%
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	63'228	44'720	-29%	-28%	-29%	46'748	-26%	-27%	-29%
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	18'664	18'592	0%	-2%	-4%	16'900	-9%	-8%	-9%
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	14'696	14'720	0%	-2%	1%	13'532	-8%	-7%	-7%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	59'212	56276	-5%	-6%	-13%	52472	-11%	-11%	-15%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	63'372	60'000	-5%	-6%	-13%	56'852	-10%	-10%	-10%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	66'136	61'100	-8%	-8%	-14%	58'084	-12%	-12%	-11%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	49'816	45'980	-8%	-9%	-6%	43'284	-13%	-13%	-2%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	36'724	35'844	-2%	-3%	-5%	33'664	-8%	-8%	3%
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	28'488	28'352	0%	-3%	-4%	26'732	-6%	-8%	8%
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	73'544	56'312	-23%	-23%	-24%	56'592	-23%	-22%	-25%
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	61'768	45'764	-26%	-26%	-29%	46'436	-25%	-25%	-29%
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	52'228	47'056	-10%	-10%	-18%	46'016	-12%	-12%	-17%
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	55'252	49'308	-11%	-11%	-19%	47'768	-14%	-13%	-18%
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	45'660	43'384	-5%	-6%	-11%	40'840	-11%	-11%	-11%
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	42'196	39'232	-7%	-8%	-14%	37'268	-12%	-12%	-17%
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	38'364	36'696	-4%	-5%	-7%	34'864	-9%	-10%	-6%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	35'644	32'988	-7%	-8%	-20%	32'416	-9%	-10%	-21%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	33'880	31'960	-6%	-6%	-17%	31'928	-6%	-6%	-15%
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	40'244	36'380	-10%	-8%	-14%	36'404	-10%	-10%	-17%

In der schweizweiten Betrachtung sind die automatisierten Taxiflotten nicht enthalten. Diese werden nur für die drei Teilräume modelliert (SA, LU, LG). Für die Engpässe im Raum Zürich (SA) lagen somit Daten aus der schweizweiten Betrachtung (ohne Taxiflotte) und des Teilraums mit und ohne Taxiflotten vor. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede in den Belastungen in der schweizweiten Betrachtung und in der Teilraumbetrachtung ohne Taxiflotte. Grund dafür ist, dass das Herausschneiden der Regionen aus der restlichen Schweiz den Kontext für «grenzüberschreitende» Verkehrsmittel- oder Routenwahl aufgelöst hat. Die grenzüberschreitenden Wege waren vorhanden, aber es konnte für diese Wege keine Verkehrsmittel- oder Routenwahl durchgeführt werden. Dies führt zum Beispiel dazu, dass Staus, die sich nur in den regionalen Szenarien gebildet haben, nicht vom Langstreckendurchgangsverkehr in voller Flexibilität umfahren werden konnten, da der Durchgangsverkehr seine Routenwahl nicht ändern konnte. Jedoch wurde angestrebt, diese Art Unterschiede zu minimieren, indem die regionalen Szenarien ohne Taxis aus den entsprechenden vollständig simulierten nationalen Szenarien geschnitten wurden. Somit sind grundsätzlich die richtigen Ströme des Durchgangsverkehrs vorhanden. Auf Ebene von Eckwerten sind die Unterschiede in dieser Nachfrage zwar vernachlässigbar, aber für die Engpassanalyse nicht, da gerade diese Nachfrage auch über die Engpässe führt. Von daher muss die Engpassanalyse mit der schweizweiten Betrachtung arbeiten.

Um die Resultate für die Taxiflotten in den Teilräumen für die Engpassanalyse gemäss schweizweiter Betrachtung zu berücksichtigen, wird wie folgt vorgegangen:

1. Zuordnung der Engpässe zu den Teilräumen.
2. Berechnung von Abweichungsfaktoren der Verkehrsbelastung ohne und mit Taxiflotten in den modellierten Teilräumen
3. Anwendung der Abweichungsfaktoren auf die Verkehrsbelastungen der zu untersuchenden Engpässe in den jeweiligen Szenarien

Zu 1. Zuordnung der Engpässe zu den Teilräumen:

Die ***Abb. 168*** zeigt die Zuordnung der Engpässe zu einem Teilraum. Die ***Tab. 107*** zeigt die detaillierten Abschnitte mit zugeordnetem Teilraum und Begründung.

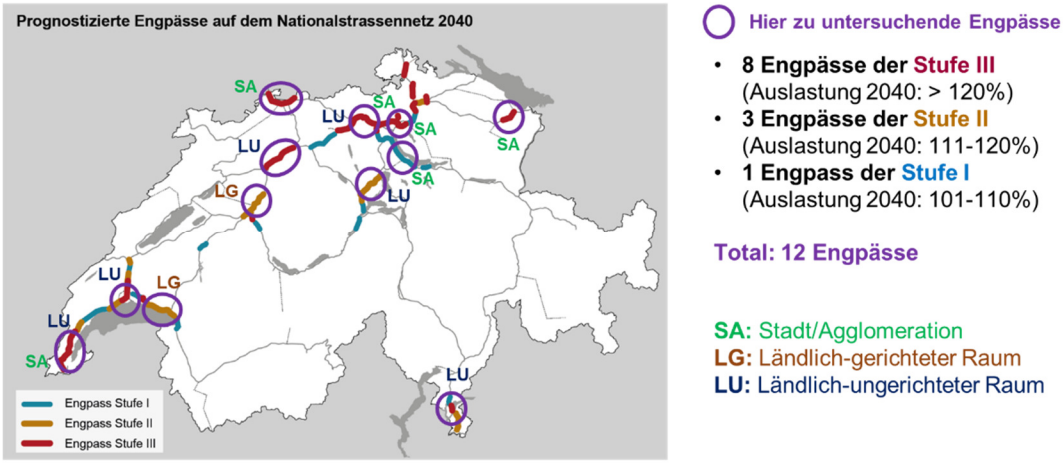


Abb. 168 *Zuordnung der Engpässe zu den Teilräumen*

***Tab. 107** Zuordnung Engpässe zu Teilraumtypen*

Auto-bahn	Abschnitt	Unterabschnitt	Raum-typ	Begründung
A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	SA	Städtisches Zentrum
A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	SA	Städtisches Zentrum
A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex - Genève-Aéroport	SA	Städtisches Zentrum
A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport - Le Vengeron	SA	Städtisches Zentrum
A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzw. Birrfeld - Baden West	LU	Taxibetrieb vermutlich nicht auf Nationalstrassen, sondern direkt zwischen Agglomerationszentren
A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	LU	Taxibetrieb vermutlich nicht auf Nationalstrassen, sondern direkt zwischen Agglomerationszentren
A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	SA	innerhalb Siedlungsband mit zu erwartenden Taxifahrten auf Nationalstrasse
A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	SA	innerhalb Siedlungsband mit zu erwartenden Taxifahrten auf Nationalstrasse
A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	SA	In Region enthalten
A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzw. Limmattal	SA	In Region enthalten
A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudorf	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	SA	Städtisches Zentrum
A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudorf	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	SA	Städtisches Zentrum
A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf – Verzw.Meggenhaus	SA	Städtisches Zentrum
A1	Nyon - Ecublens	Morges Est – Verzw. Ecublens	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzw. Zürich Nord – Verzw.Zürich Ost	SA	In Region enthalten
A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzw. Zürich Ost – Wallisellen	SA	In Region enthalten
A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	SA	In Region enthalten
A1	Luterbach - Härkingen	Verzw. Luterbach - Wangen a.A.	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp – Verzw. Oensingen	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A1	Luterbach - Härkingen	Verzw. Oensingen – Verzw. Härkingen	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	LU	ausserhalb Zentren, Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzw.Augst	SA	innerhalb Siedlungsband mit zu erwartenden Taxifahrten auf Nationalstrasse
A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	SA	innerhalb Siedlungsband mit zu erwartenden Taxifahrten auf Nationalstrasse
A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzw. Hagnau – Pratteln	SA	innerhalb Siedlungsband mit zu erwartenden Taxifahrten auf Nationalstrasse
A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	SA	Städtisches Zentrum
A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	SA	Städtisches Zentrum
A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	SA	Städtisches Zentrum
A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzw. Bern Wankdorf – Verzw.Schönbühl	LG	stark auf Bern ausgerichtet, entlang Nationalstrasse keine Siedlungsschwerpunkte
A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzw. Schönbühl – Kirchberg	LG	stark auf Bern ausgerichtet, entlang Nationalstrasse keine Siedlungsschwerpunkte
A14	Verzw. Rütihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	LU	ausserhalb Zentren, auf mehrere Zentren ausgerichtet (Luzern, Zug/Zürich), Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A14	Verzw. Rütihof - Verzw. Rotsee	Buchrain – Verzw. Rotsee	LU	ausserhalb Zentren, auf mehrere Zentren ausgerichtet (Luzern, Zug/Zürich), Taxibetrieb vermutlich nicht rentabel
A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	LG	stark auf Lausanne ausgerichtet, eher kleine Siedlungsschwerpunkte
A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres – Verzw. La Veyre	LG	stark auf Lausanne ausgerichtet, eher kleine Siedlungsschwerpunkte
A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	LG	stark auf Lausanne ausgerichtet, eher kleine Siedlungsschwerpunkte
A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	SA	In Region enthalten
A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	SA	In Region enthalten
A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	SA	In Region enthalten

Zu 2: Berechnung von Abweichungsfaktoren

Die Abweichungsfaktoren der Verkehrsbelastung ohne und mit automatisierte Taxiflotten für die Nationalstrassenabschnitte in den modellierten Teilräume wurden als Mittelwert über in den Berechnungen der Teilräume verfügbaren Nationalstrassenabschnitte ermittelt. Im Teilraum SA gingen 30 Abschnitte in die Betrachtung ein; im Teilraum LG 28 Abschnitte und im Teilraum LU 14 Abschnitte. Die folgenden Tabellen zeigen die ermittelten Abweichungsfaktoren je Betrachtungsfall (Mittelwerte und statistische Kennwerte). Abweichungsfaktoren grösser als 1.0 bedeuten, dass mit Taxis die Belastungen höher sind als ohne Taxis.

Tab. 108 *Abweichung Verkehrsbelastung auf Nationalstrassenabschnitten mit und ohne automatisierte Taxiflotten, Jahr 2040, Szenario A*

Betrachtung	Statistisches Mass	SA (30 Abschnitte)	LG (28 Abschnitte)	LU (14 Abschnitte)
PWE/PCU	**Mittelwert**	**1.00**	**1.01**	**1.00**
	1. Quantil	0.99	1.01	1.00
	Median	1.00	1.01	1.01
	3. Quantil	1.01	1.02	1.01
Fahrzeuge	**Mittelwert**	**1.00**	**1.02**	**1.01**
	1. Quantil	0.99	1.01	1.00
	Median	1.00	1.02	1.01
	3. Quantil	1.02	1.04	1.01

Tab. 109 *Abweichung Verkehrsbelastung auf Nationalstrassenabschnitten mit und ohne automatisierte Taxiflotten, Jahr 2040, Szenario B*

Betrachtung	Statistisches Mass	SA (30 Abschnitte)	LG (28 Abschnitte)	LU (14 Abschnitte)
PWE/PCU	**Mittelwert**	**1.01**	**1.02**	**1.01**
	1. Quantil	1.00	1.01	1.00
	Median	1.01	1.02	1.01
	3. Quantil	1.01	1.04	1.01
Fahrzeuge	**Mittelwert**	**1.02**	**1.04**	**1.02**
	1. Quantil	1.00	1.02	1.01
	Median	1.01	1.03	1.02
	3. Quantil	1.03	1.06	1.03

Tab. 110 *Abweichung Verkehrsbelastung auf Nationalstrassenabschnitten mit und ohne automatisierte Taxiflotten, Jahr 2050, Szenario A*

Betrachtung	Statistisches Mass	SA (30 Abschnitte)	LG (28 Abschnitte)	LU (14 Abschnitte)
PWE/PCU	**Mittelwert**	**1.01**	**1.01**	**0.99**
	1. Quantil	0.99	1.01	0.98
	Median	1.01	1.02	0.99
	3. Quantil	1.03	1.02	0.99
Fahrzeuge	**Mittelwert**	**1.02**	**1.03**	**0.99**
	1. Quantil	1.00	1.02	0.98
	Median	1.01	1.03	0.99
	3. Quantil	1.05	1.04	1.00

Tab. 111 *Abweichung Verkehrsbelastung auf Nationalstrassenabschnitten mit und ohne automatisierte Taxiflotten, Jahr 2050, Szenario B*

Betrachtung	**Statistisches Mass**	**SA (30 Abschnitte)**	**LG (28 Abschnitte)**	**LU (14 Abschnitte)**
PWE/PCU	**Mittelwert**	**1.07**	**1.09**	**1.11**
	1. Quantil	1.02	1.08	1.07
	Median	1.06	1.09	1.12
	3. Quantil	1.1	1.11	1.14
Fahrzeuge	**Mittelwert**	**1.15**	**1.20**	**1.20**
	1. Quantil	1.05	1.14	1.13
	Median	1.10	1.23	1.22
	3. Quantil	1.21	1.25	1.25

Als Fazit zeigt sich hier, dass die Taxiflotten in den Szenarien 2040 A, 2040 B und 2050 A die Verkehrsbelastungen auf den Nationalstrassen nur marginal beeinflussen. Anders ist dies im Szenario 2050 B: Hier kommen mit der Taxiflotte nochmal 15 bis 20% mehr Fahrzeuge hinzu als ohne Taxiflotte. Da diese Fahrzeuge automatisiert sind, steigt der Kapazitätsbedarf aber unterproportional um nur 7 bis 11%.

Zu 3 Anwendung der Abweichungsfaktoren

Die oben ermittelten Abweichungsfaktoren wurden auf die Verkehrsbelastungen der zu untersuchenden Engpässe in den jeweiligen Szenarien und Jahren angewendet. Die Ergebnisse werden in den folgenden Tabellen dargestellt. Die finale Zuordnung der Engpassstufen erfolge auf Basis eines Workshops und unter Berücksichtigung der Grenzwertproblematik (Stufensprünge bei kleinen Veränderungen möglich).

***Tab. 112** Verkehrsbelastungen und Engpassstufen der ausgewählten Abschnitte, Szenario A 2040*

						Szenario A mit AV (2040, NPVM * Faktor MATSim, Tagesbasis) mit TAV							
ID	Autobahn	Abschnitt	Unterabschnitt	Raum-typ	Zählstelle	max. Belastung Modell [Fz/h]	max. Belastung Modell [PWE/h]	max. Auslastung Modell	max. Belastung SVZ [PWE/h]	max. Auslastung SVZ	Engpassstufe (3 Stufen)	Engpassstufe gesamt	Diff
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	SA	auf Abschnitt	*kein Streckenabschnitt*							
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	SA	benachbart	4'585	4'570	112%	5'146	129%	III		
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	SA	auf Abschnitt	5'417	5'439	133%	5'687	142%	III	III	0
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	SA	auf Abschnitt	6'660	6'635	114%	4'618	115%	II		
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	LU	auf Abschnitt	4'959	5'163	127%	5'383	135%	III		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	LU	auf Abschnitt	5'207	5'812	98%	5'650	73%	0		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	LU	auf Abschnitt	5'751	6'408	108%	6'502	106%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	SA	auf Abschnitt	6'090	6'754	114%	6'409	111%	II	II	-1
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	SA	auf Abschnitt	6'228	6'831	115%	5'941	102%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	SA	benachbart	5'554	6'180	104%	5'844	101%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	SA	benachbart	6'411	6'723	114%	6'232	107%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	SA	auf Abschnitt	4'183	4'264	102%	4'842	121%	III		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	SA	auf Abschnitt	3'723	3'812	96%	4'764	119%	II	II	-1
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	SA	auf Abschnitt	3'682	3'805	93%	4'611	115%	II		
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	LU	auf Abschnitt	4'717	4'827	118%	5'242	90%	II	II	-1
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	SA	benachbart	6'805	6'937	117%	5'211	90%	II		
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	SA	benachbart	6'974	7'141	121%	7'018	121%	III	III	0
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	SA	auf Abschnitt	6'254	6'484	110%	6'753	116%	II		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	LU	auf Abschnitt	3'186	3'691	92%	3'554	89%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	LU	benachbart	3'179	3'477	87%	3'262	82%	0	0	-3
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	LU	auf Abschnitt	3'323	3'643	91%	3'502	88%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	LU	benachbart	3'213	3'535	88%	3'545	89%	0		
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	LU	auf Abschnitt	5'437	5'621	141%	5'239	131%	III	III	0
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	LU	auf Abschnitt	5'246	5'433	133%	4'787	120%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	SA	keine	6'366	6'881	116%	#NV	*keine MS*	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	SA	benachbart	6'490	7'009	118%	7'011	91%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	SA	auf Abschnitt	6'642	7'179	121%	6'867	89%	III	III	0
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	SA	benachbart	6'017	6'261	106%	6'612	85%	I		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	SA	benachbart	5'436	5'829	135%	5'274	81%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	SA	auf Abschnitt	5'203	5'484	131%	4'535	113%	III		
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	LG	auf Abschnitt	4'448	5'070	86%	4'986	86%	0	0	-2
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	LG	auf Abschnitt	3'085	3'511	86%	3'433	86%	0		
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	LU	auf Abschnitt	3'371	3'536	87%	4'046	101%	I	I	-1
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	LU	auf Abschnitt	3'634	3'840	94%	4'419	110%	II		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	LG	auf Abschnitt	4'041	4'099	100%	4'701	118%	II		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	LG	auf Abschnitt	3'938	3'948	99%	4'634	116%	II	II	0
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	LG	auf Abschnitt	4'810	4'884	120%	4'941	124%	III		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	SA	auf Abschnitt	3'423	3'516	86%	3'676	92%	0		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	SA	benachbart	3'328	3'430	84%	3'767	94%	0	0	-1
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	SA	auf Abschnitt	3'329	3'519	86%	3'847	93%	0		

(*) aufgrund eines QS-Workshops festgelegt.

***Tab. 113** Verkehrsbelastungen und Engpassstufen der ausgewählten Abschnitte, Szenario B 2040*

						Szenario B mit AV (2040, NPVM * Faktor Verändeurngen MATSim, Tagesbasis) mit TAV							
ID	Autobahn	Abschnitt	Unterabschnitt	Raum-typ	Zählstelle	max. Belastung Modell [Fz/h]	max. Belastung Modell [PWE/h]	max. Auslastung Modell	max. Belastung SVZ [PWE/h]	max. Auslastung SVZ	Engpassstufe (3 Stufen)	Engpassstufe gesamt	Diff
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	SA	auf Abschnitt	*kein Streckenabschnitt*							
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	SA	benachbart	4'480	4'387	108%	4'940	123%	III		
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	SA	auf Abschnitt	5'302	5'223	128%	5'214	130%	III	III	0
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	SA	auf Abschnitt	6'210	6'097	105%	4'244	106%	I		
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	LU	auf Abschnitt	4'602	4'747	116%	4'949	124%	III		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	LU	auf Abschnitt	5'419	6'030	102%	5'863	76%	I		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	LU	auf Abschnitt	6'020	6'660	113%	6'757	110%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	SA	auf Abschnitt	6'345	6'974	118%	6'617	114%	II	II	-1
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	SA	auf Abschnitt	6'522	7'090	120%	6'166	106%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	SA	benachbart	5'879	6'476	109%	6'123	106%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	SA	benachbart	6'650	6'972	118%	6'464	111%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	SA	auf Abschnitt	3'966	4'084	98%	4'637	116%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	SA	auf Abschnitt	3'515	3'652	92%	4'564	114%	II	II	-1
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	SA	auf Abschnitt	3'511	3'665	90%	4'443	111%	II		
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	LU	auf Abschnitt	4'559	4'668	114%	5'070	87%	II	II	-1
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	SA	benachbart	6'965	7'229	122%	5'431	94%	III		
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	SA	benachbart	7'248	7'433	126%	7'305	126%	III	III	0
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	SA	auf Abschnitt	6'659	6'939	117%	7'227	125%	III		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	LU	auf Abschnitt	3'338	3'840	96%	3'698	92%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	LU	benachbart	3'520	3'801	95%	3'566	89%	0	0	-3
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	LU	auf Abschnitt	3'464	3'738	93%	3'592	90%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	LU	benachbart	3'387	3'623	91%	3'633	91%	0		
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	LU	auf Abschnitt	4'985	5'271	132%	4'913	123%	III	III	0
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	LU	auf Abschnitt	4'864	5'156	126%	4'543	114%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	SA	keine	6'015	6'545	111%	#NV	*keine MS*	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	SA	benachbart	6'232	6'759	114%	6'760	87%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	SA	auf Abschnitt	6'399	6'934	117%	6'632	86%	II	III	0
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	SA	benachbart	5'740	5'994	101%	6'330	82%	I		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	SA	benachbart	5'290	5'549	133%	5'021	77%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	SA	auf Abschnitt	4'892	5'153	123%	4'302	108%	III		
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	LG	auf Abschnitt	4'547	5'147	87%	5'063	87%	0	0	-2
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	LG	auf Abschnitt	3'184	3'595	88%	3'515	88%	0		
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	LU	auf Abschnitt	3'324	3'479	85%	3'980	100%	0	I	-1
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	LU	auf Abschnitt	3'551	3'734	92%	4'297	107%	I		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	LG	auf Abschnitt	3'869	3'924	96%	4'500	113%	II		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	LG	auf Abschnitt	3'805	3'797	95%	4'456	111%	II	II	0
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	LG	auf Abschnitt	4'648	4'674	115%	4'729	118%	II		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	SA	auf Abschnitt	3'409	3'471	85%	3'629	91%	0		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	SA	benachbart	3'369	3'435	84%	3'773	94%	0	0	-1
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	SA	auf Abschnitt	3'376	3'484	85%	3'808	92%	0		

(*) aufgrund eines QS-Workshops festgelegt.

***Tab. 114** Verkehrsbelastungen und Engpassstufen der ausgewählten Abschnitte, Szenario A 2050*

						Szenario A mit AV (2050, NPVM * Faktor Veränd. MATSim, Tagesbasis) mit TAV							
ID	Autobahn	Abschnitt	Unterabschnitt	Raumtyp	Zählstelle	max. Belastung Modell [Fz/h]	max. Belastung Modell [PWE/h]	max. Auslastung Modell	max. Belastung SVZ [PWE/h]	max. Auslastung SVZ	Engpassstufe (3 Stufen)	Engpassstufe gesamt	Diff
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	SA	auf Abschnitt	*kein Streckenabschnitt*							
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	SA	benachbart	5'013	4'703	115%	5'872	147%	III	III	0
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	SA	auf Abschnitt	5'833	5'591	137%	6'183	155%	III		
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	SA	auf Abschnitt	6'941	6'517	112%	4'604	115%	II		
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	LU	auf Abschnitt	5'063	4'998	122%	5'211	130%	III		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	LU	auf Abschnitt	5'773	5'885	99%	5'722	74%	0	II	-1
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	LU	auf Abschnitt	6'343	6'518	110%	6'613	108%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	SA	auf Abschnitt	7'004	7'055	119%	6'694	115%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	SA	auf Abschnitt	7'338	7'275	123%	6'327	109%	III		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	SA	benachbart	6'557	6'592	111%	6'233	107%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	SA	benachbart	7'294	6'986	118%	6'477	112%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	SA	auf Abschnitt	4'435	4'271	102%	4'849	121%	III	II	-1
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	SA	auf Abschnitt	3'992	3'819	96%	4'718	118%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	SA	auf Abschnitt	3'938	3'821	94%	4'380	110%	I		
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	LU	auf Abschnitt	4'929	4'697	115%	5'070	87%	II	II	-1
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	SA	benachbart	6'943	6'434	109%	4'865	83%	I	III	0
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	SA	benachbart	7'830	7'302	123%	7'176	124%	III		
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	SA	auf Abschnitt	7'243	6'885	116%	7'171	124%	III		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	LU	auf Abschnitt	3'358	3'657	91%	3'522	88%	0	0	-3
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	LU	benachbart	3'489	3'591	90%	3'369	84%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	LU	auf Abschnitt	3'441	3'546	89%	3'408	85%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	LU	benachbart	3'340	3'453	86%	3'462	87%	0		
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	LU	auf Abschnitt	5'462	5'588	140%	5'208	130%	III	III	0
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	LU	auf Abschnitt	5'257	5'427	133%	4'781	120%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	SA	keine	6'654	6'752	114%	#NV	*keine MS*	II	III	0
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	SA	benachbart	6'747	6'771	114%	7'987	103%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	SA	auf Abschnitt	6'848	6'887	116%	8'273	107%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	SA	benachbart	6'145	5'948	101%	9'064	117%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	SA	benachbart	5'739	5'654	135%	8'843	114%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	SA	auf Abschnitt	5'132	5'090	122%	7'057	176%	III		
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	LG	auf Abschnitt	4'946	5'188	88%	5'919	102%	I	0	-2
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	LG	auf Abschnitt	3'459	3'604	88%	3'743	94%	0		
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	LU	auf Abschnitt	3'490	3'493	86%	3'996	100%	0	I	-1
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	LU	auf Abschnitt	3'863	3'853	94%	4'434	111%	II		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	LG	auf Abschnitt	4'281	4'044	99%	4'637	116%	II	II	0
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	LG	auf Abschnitt	4'160	3'879	97%	4'552	114%	II		
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	LG	auf Abschnitt	5'192	4'894	120%	4'951	124%	III		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	SA	auf Abschnitt	3'705	3'472	85%	3'630	91%	0	0	-1
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	SA	benachbart	3'550	3'337	82%	3'666	92%	0		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	SA	auf Abschnitt	3'637	3'522	86%	3'849	93%	0		

(*) aufgrund eines QS-Workshops festgelegt.

***Tab. 115** Verkehrsbelastungen und Engpassstufen der ausgewählten Abschnitte, Szenario B 2050*

						Szenario B mit AV (2050, NPVM * Faktor Veränd. MATSim, Tagesbasis) mit TAV							
ID	Autobahn	Abschnitt	Unterabschnitt	Raumtyp	Zählstelle	max. Belastung Modell [Fz/h]	max. Belastung Modell [PWE/h]	max. Auslastung Modell	max. Belastung SVZ [PWE/h]	max. Auslastung SVZ	Engpassstufe (3 Stufen)	Engpassstufe gesamt	Diff
A	Autobahn A1	Landesgrenze - Verzw. Perly	Landesgrenze - Perly	SA	auf Abschnitt	*kein Streckenabschnitt*							
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Perly - Bernex	SA	benachbart	2'677	2'459	60%	3'914	98%	0	II	-1
A	Autobahn A1	Verzw. Perly - Genève-Aéroport	Bernex – Genève-Aéroport	SA	auf Abschnitt	3'111	2'944	72%	5'172	129%	III		
A	Autobahn A1	Genève-Aéroport - Verzw. Vengeron	Genève-Aéroport – Le Vengeron	SA	auf Abschnitt	3'680	3'413	59%	3'634	91%	0		
A	Autobahn A1	Verzw. Vengeron - Nyon	Le Vengeron - Coppet	LU	auf Abschnitt	3'277	3'227	79%	4'416	110%	II		
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Verzweigung Birrfeld – Baden West	LU	auf Abschnitt	5'094	5'616	95%	5'460	71%	0	II	-1
B	Autobahn A1	Verwz. Birrfeld - Neuenhof	Baden West - Neuenhof	LU	auf Abschnitt	5'399	5'938	100%	6'527	98%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Neuenhof - Wettingen	SA	auf Abschnitt	5'548	6'026	102%	6'262	108%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Wettingen - Spreitenbach	SA	auf Abschnitt	5'701	6'126	104%	6'452	111%	II		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Spreitenbach - Dietikon	SA	benachbart	5'205	5'669	96%	6'220	107%	I		
B	Autobahn A1	Neuenhof - Verzw. Limmattal	Dietikon – Verzweigung Limmattal	SA	benachbart	5'843	6'080	103%	6'725	116%	II		
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen Kreuzbleiche - St.Gallen St. Fiden	SA	auf Abschnitt	3'006	3'331	80%	3'782	95%	0	0	-3
C	Autobahn A1	St.Gallen Kreuzbleiche - St. Gallen Neudor	St.Gallen St.Fiden - St.Gallen Neudorf	SA	auf Abschnitt	2'713	2'942	74%	3'927	98%	0		
C	Autobahn A1	St.Gallen Neudorf - Meggenhaus	St.Gallen Neudorf - Verzweigung Meggenhaus	SA	auf Abschnitt	2'735	2'995	73%	3'804	95%	0		
D	Autobahn A1	Nyon - Ecublens	Morges Est - Verzweigung Ecublens	LU	auf Abschnitt	3'814	3'770	92%	5'435	94%	0	0	-3
E	Autobahn A1	Verzw. Zürich Nord - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Nord – Verzweigung Zürich Ost	SA	benachbart	6'388	6'592	111%	4'952	85%	II	II	-1
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Verzweigung Zürich Ost – Wallisellen	SA	benachbart	6'792	6'798	115%	6'681	115%	II		
E	Autobahn A1	Brütisellerkreuz - Verzw. Zürich Ost	Wallisellen - Brütisellerkreuz	SA	auf Abschnitt	6'248	6'335	107%	7'032	121%	III		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Luterbach - Wangen a.A.	LU	auf Abschnitt	3'159	3'747	94%	4'088	102%	I	0	-3
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Wangen a.A. - Niederbipp	LU	benachbart	3'268	3'625	91%	3'796	95%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Niederbipp - Verzweigung Oensingen	LU	auf Abschnitt	3'293	3'616	90%	3'476	87%	0		
F	Autobahn A1	Luterbach - Härkingen	Verzweigung Oensingen - Verzweigung Härkingen	LU	benachbart	3'214	3'551	89%	3'608	90%	0		
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Lugano Sud - Melide	LU	auf Abschnitt	3'903	4'658	117%	4'342	109%	II	II	-1
G	Autobahn A2	Lugano Süd - Mendrisio	Melide - Mendrisio	LU	auf Abschnitt	3'896	4'717	116%	4'156	104%	II		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Liestal – Verzweigung Augst	SA	keine	4'540	5'175	87%	#NV	*keine MS*	0	III	0
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Pratteln – Liestal	SA	benachbart	4'950	5'495	93%	8'035	104%	I		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Hagnau - Verzw. Augst	Verzweigung Hagnau – Pratteln	SA	auf Abschnitt	5'029	5'576	94%	9'396	122%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Gellertdreieck - Hagnau	SA	benachbart	4'646	4'803	81%	10'173	132%	III		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Breite - Gellertdreieck	SA	benachbart	4'108	4'313	103%	6'838	88%	I		
H	Autobahn A2/A3	Verzw. Wiese - Verzw. Hagnau	Basel Badischer Bahnhof - Basel Breite	SA	auf Abschnitt	3'558	3'736	89%	5'457	136%	III		
I	Autobahn A1/A6	Bern Wankdorf - Schönbühl	Verzweigung Bern Wankdorf – Verzweigung Schönbühl	LG	auf Abschnitt	4'344	4'962	84%	6'353	110%	I	I	-1
I	Autobahn A1	Schönbühl - Kirchberg	Verzweigung Schönbühl – Kirchberg	LG	auf Abschnitt	3'064	3'476	85%	4'037	101%	I		
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Gisikon Root - Buchrain	LU	auf Abschnitt	2'580	2'631	64%	3'231	81%	0	I	-1
J	Autobahn A14	Verzw. Rüihof - Verzw. Rotsee	Buchrain - Verzweigung Rotsee	LU	auf Abschnitt	2'850	2'940	72%	4'438	111%	II		
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Lutry - Chexbres	LG	auf Abschnitt	3'270	3'229	79%	5'019	125%	III	II	0
K	Autobahn A9	Lutrive - Verzw. La Veyre	Chexbres - Verzweigung La Veyre	LG	auf Abschnitt	3'080	3'007	76%	4'126	103%	I		
K	Autobahn A9	Vevey - Villeneuve	Vevey - Montreux	LG	auf Abschnitt	3'538	3'504	86%	3'744	94%	0		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Thalwil - Horgen	SA	auf Abschnitt	2'795	2'870	70%	3'000	75%	0	0	-1
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Horgen - Wädenswil	SA	benachbart	2'694	2'789	68%	3'063	77%	0		
L	Autobahn A2	Zürich Brunau - Wädenswil	Wädenswil – Richterswil	SA	auf Abschnitt	2'746	2'823	69%	3'085	75%	0		

(*) aufgrund eines QS-Workshops festgelegt.

6.1.3 Engpässe 2040

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen wiederum die hier zu untersuchenden Engpässe, jeweils für Szenario A und Szenario B. Für jeden Engpass ist vermerkt, ob und in welchem Ausmass sich die Engpassstufen aufgrund der automatisierten Fahrzeuge verändern.

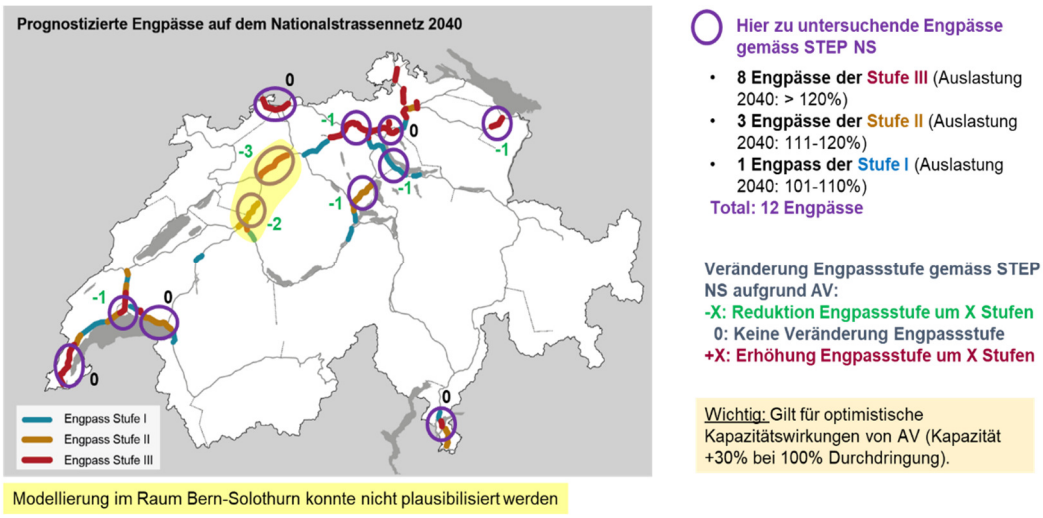


Abb. 169 *Szenario A: Veränderung Engpässe Nationalstrassen 2040 aufgrund automatisierter Fahrzeuge*

Mit automatisierten Fahrzeugen bleiben im Szenario A fünf Engpässe in der gleichen Engpassstufe. Bei fünf Engpässen reduziert sich die Engpassstufe um 1. Deutliche Veränderungen ergeben sich bei den beiden Engpässen im Raum Bern - Solothurn: Hier sinken die Engpässe um zwei bzw. drei Stufen. Warum hier eine solch grosse Veränderung der Engpassstufen auftreten soll und an anderen Engpässen nicht, ist mit den Szenarien nicht erklär- oder interpretierbar. Eine Plausibilisierung der rechnerischen Resultate in Raum Bern-Solothurn war nicht möglich. Eine erste Erklärung der rechnerischen Resultate ist in Kapitel 5.1.2 nach der **Abb. 30** und auch in Kapitel 5.3 zu finden, jedoch ist diese Erklärung für die Plausibilisierung nicht ausreichend. Im Szenario B sind die Ergebnisse identisch wie im Szenario A. Auch hier gilt der Vorbehalt bezüglich der Veränderungen im Raum Bern - Solothurn.

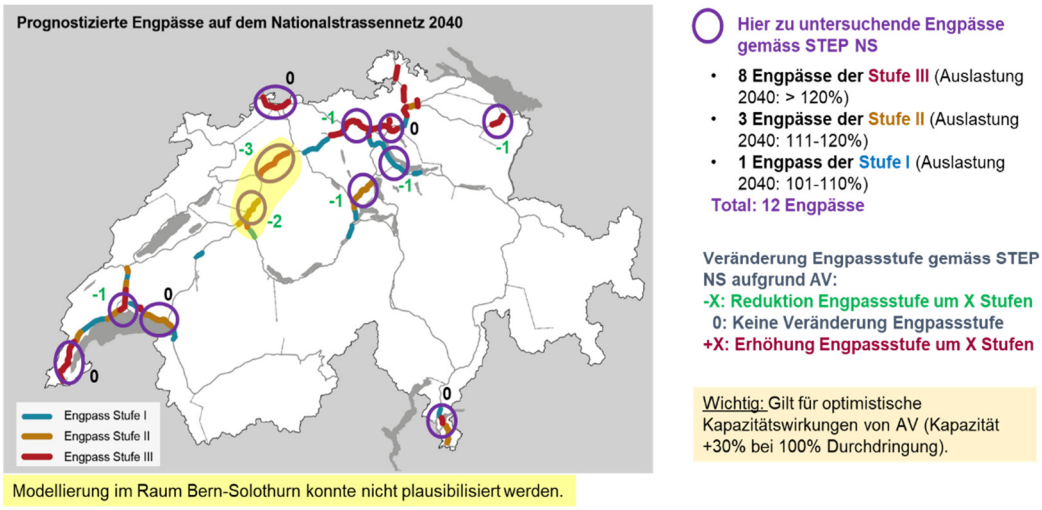


Abb. 170 *Szenario B: Veränderung Engpässe Nationalstrassen 2040 aufgrund automatisierter Fahrzeuge*

Die folgende Tabelle fasst die Veränderungen der Engpassstufen zusammen.

Tab. 116 *Ergebnisse Engpassanalyse 2040*

Anzahl Strecken	Engpass-analyse STEP 2040	Szenario A 2040	Szenario B 2040
Stufe III (Auslastung 2040: > 120%)	8	4	4
Stufe II (Auslastung 2040: 111-120%)	3	4	4
Stufe I (Auslastung 2040: 101-110%)	1	1	1
Summe Engpässe	**12**	**9**	**9**
Engpass gelöst	**-**	**3**	**3**
Summe betrachteter Querschnitte	12	12	12

Wichtig:
Gilt für optimistische Kapazitätswirkungen von AV (Kapazität +30% bei 100% Durchdringung).

Entlastung Querschnitte aufgrund starrer Kapazitätsrestriktion überschätzt.

Ohne Berücksichtigung von induzierten Verkehr durch AV

Keine Berücksichtigung von Leerfahrten

Bei 2 der 3 gelösten Engpässe konnten die Ergebnisse nicht plausibilisiert werden.

Durch automatisierte Fahrzeuge werden für den Zeithorizont 2040 in beiden Szenarien Engpässe auf Nationalstrassen in geringem Ausmass reduziert. Einige Engpässe ändern ihre Engpassstufe um eine Stufe, sie werden aber nur in wenigen Fällen gelöst – dies trotz Annahmen, welche die Auslastungsreduktion von automatisierten Fahrzeugen auf den Querschnitten überschätzt (vgl. Abschnitt 2.2) und auch ohne Berücksichtigung von Leerfahrten.

Gründe dafür, warum die automatisierten Fahrzeuge keine grössere Wirkung auf die Engpässe haben, sind einerseits der geringe Durchdringungsgrad an der Gesamtflotte im Jahr 2040. Andererseits sorgt die Nachfragemodellierung bzgl. Routenwahl, Verkehrsmittelwahl (Verlagerungen vom ÖV) und Wahl der Abfahrtszeiten dafür, dass der geringere Kapazitätsverbrauch von automatisierten Fahrzeugen durch höhere Gesamtbelastungen teilweise wieder kompensiert wird. Dabei ist auch zu beachten, dass kein induzierter Verkehr durch Zielwahländerungen, Veränderung der Wohn- und Arbeitsplatzstandorte oder durch neue Wege auf der Strasse modelliert werden konnte. Die Wirkungen bzgl. Entlastungswirkungen in den Szenarien werden somit insgesamt eher überschätzt.

6.1.4 Engpässe 2050

Die beiden folgenden Abbildungen (**Abb. 171** und **Abb. 172**) zeigen die Ergebnisse für das Jahr 2050. Für jeden Engpass ist jeweils vermerkt, ob und in welchem Ausmass sich die Engpassstufen aufgrund der automatisierten Fahrzeuge verändern.

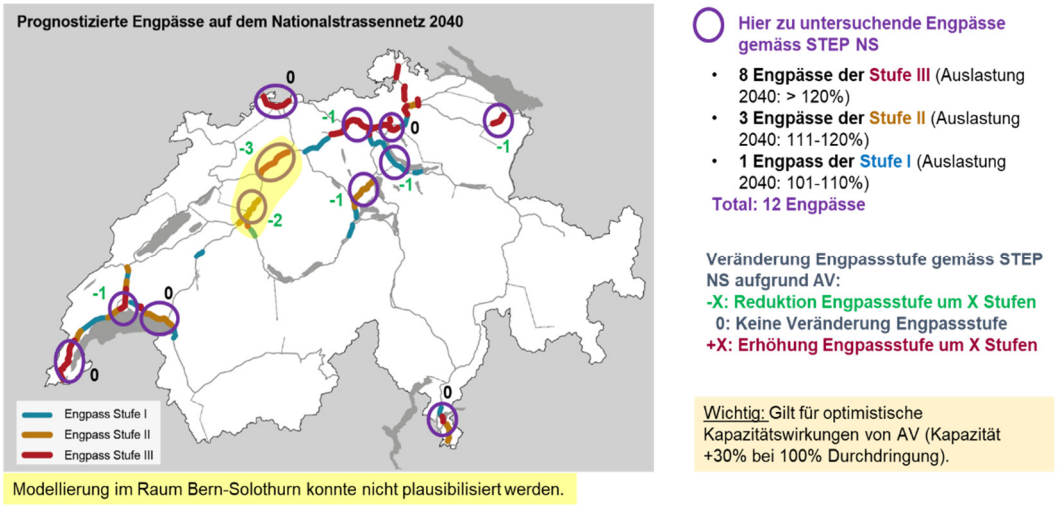


***Abb. 171** Szenario A: Veränderung Engpässe Nationalstrassen 2050 aufgrund automatisierter Fahrzeuge*

Die Ergebnisse im Szenario A sind hinsichtlich der Engpassstufen identisch mit denjenigen für 2040. Die Effizienzsteigerungen der automatisierten Fahrzeuge bei grösserer Durchdringung an der Gesamtflotte (als im Jahr 2040) werden kompensiert durch allgemeines Verkehrswachstum und den Verkehrsnachfrageeffekten bzgl. Routenwahl, Verkehrsmittelwahl (Verlagerungen vom ÖV) und Wahl der Abfahrtszeiten. Auch hier gilt der Vorbehalt bezüglich der Veränderungen im Raum Bern - Solothurn.

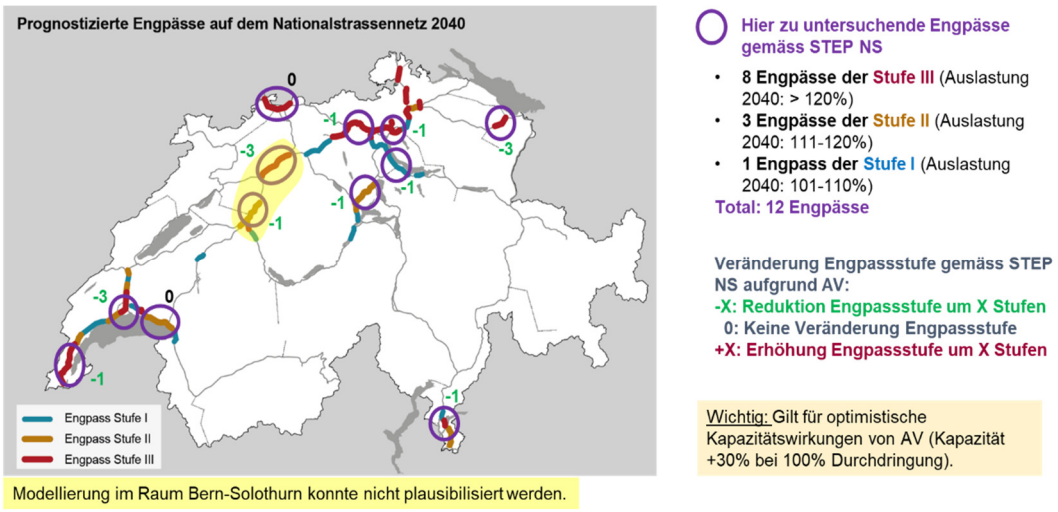


***Abb. 172** Szenario B: Veränderung Engpässe Nationalstrassen 2050 aufgrund automatisierter Fahrzeuge*

Im Szenario B ergeben sich im Jahr 2050 mit hoher Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen grössere Auswirkungen auf die Engpässe. Mit automatisierten Fahrzeugen bleiben nunmehr nur zwei Engpässe in der gleichen Engpassstufe. Bei sieben Engpässen reduziert sich die Engpassstufe um 1. Drei Engpässe werden um drei Engpassstufen reduziert und damit durch automatisierte Fahrzeuge gelöst. Hinsichtlich der beiden

Engpässe im Raum Bern - Solothurn verstärken sich die Vorbehalte gegenüber den rechnerischen Resultaten: Obwohl an allen anderen Querschnitten die Belastungen mit PCU niedriger sind als in allen anderen Betrachtungsfällen, ist dies im Engpass bei Bern nicht der Fall. Er sinkt nunmehr nur um eine Engpassstufe und nicht um zwei wie in allen anderen Berechnungen. Eine Plausibilisierung der rechnerischen Resultate für den Raum Bern-Solothurn war nicht möglich. Eine erste Erklärung der rechnerischen Resultate für die HLS Strecken in dem Raum Bern-Solothurn ist in Kapitel 5.1.2 nach der **Abb. 30** und auch in Kapitel 5.3 zu finden, jedoch ist diese Erklärung für die Plausibilisierung nicht ausreichend.

Die folgende Tabelle fasst die Veränderungen der Engpassstufen zusammen.

***Tab. 117** Ergebnisse Engpassanalyse 2040 und 2050*

Anzahl Strecken	Engpass-analyse STEP 2040	Szenario A 2050	Szenario B 2050
Stufe III (Auslastung 2040: > 120%)	8	4	1
Stufe II (Auslastung 2040: 111-120%)	3	4	5
Stufe I (Auslastung 2040: 101-110%)	1	1	2
Summe Engpässe	**12**	**9**	**8**
Engpass gelöst	**-**	**3**	**4**
Summe betrachteter Querschnitte	12	12	12

Wichtig:
Gilt für optimistische Kapazitätswirkungen von AV (Kapazität +30% bei 100% Durchdringung).

Entlastung Querschnitte aufgrund starrer Kapazitätsrestriktion überschätzt.

Ohne Berücksichtigung von induzierten Verkehr durch AV

Keine Berücksichtigung von Leerfahrten

Bei 2 der 3 gelösten Engpässe konnten die Ergebnisse nicht plausibilisiert werden.

Durch automatisierte Fahrzeuge werden für den Zeithorizont 2050 nur im Szenario B bedeutende Änderungen von Engpässen auf Nationalstrassen erreicht. Im Szenario A gibt es in Bezug auf die Kategorisierung keine Veränderungen zum Jahr 2040. Für beide Szenarien gilt: Engpässe werden nur in wenigen Fällen gelöst, sie verändern vor allem ihre Kategorie – dies trotz Annahmen, welche die Auslastungsreduktion von automatisierten Fahrzeugen auf den Querschnitten überschätzt.

Im Szenario B besteht eine vergleichsweise grosse Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen, die vor allem als Taxis oder im kollektiven Verkehr eingesetzt werden. Aber auch hier sorgen die modellierten Nachfrageeffekte bzgl. Routenwahl, Verkehrsmittelwahl (Verlagerung vom ÖV) und Wahl der Abfahrtszeiten dafür, dass der geringere Kapazitätsverbrauch von automatisierten Fahrzeugen durch höhere Gesamtbelastungen teilweise wieder kompensiert wird. Auch hier wurde kein induzierter Verkehr durch Zielwahländerungen, Veränderung der Wohn- und Arbeitsplatzstandorte oder durch neue Wege auf der Strasse modelliert. Auch für 2050 gilt somit, dass die Ergebnisse bezüglich einer Reduktion von Engpässen insgesamt eher überschätzt werden.

6.1.5 Sensitivitäten

Tab. 118 gibt die Auswirkungen der veränderten Parameter gemäss Sensitivitätsbetrachtung (vgl. Kapitel 4.2) auf die Engpässe auf dem Nationalstrassennetz für den Zeithorizont 2050 wieder. Hierfür wurden die Resultate des Teilraums SA in Bezug auf Fahrleistung und Reisezeiten ausgewertet. Zudem wurde exemplarisch der Abschnitt N1 Verzweigung Zürich Nord – Brüttisellerkreuz betrachtet, und zwar zwischen der Verzweigung Zürich Ost und Wallisellen. Dieser Abschnitt befindet sich im Teilraum SA und weist die höchste Engpassstufe (III) auf.

Tab. 118 *Qualitative Einordnung der Sensitivitätsbetrachtungen zu den Engpässen auf dem Nationalstrassennetz auf der Basis des Raums SA und im Vergleich zum Hauptrechenlauf*

Sensitivitäts-betrachtung	Beschrieb	Szenario A 2050	Szenario B 2050
1) Unveränderter Preis des ÖV	Keine Reduktion der ÖV-Preise durch Automatisierung	**+6%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer)	**+8%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer)
		→ Erhöhter Druck auf Engpässe infolge Mehrnachfrage auf der Strasse, aber keine bedeutenden «Stufensprünge» bei den Engpässen	→ Erhöhter Druck auf Engpässe infolge Mehrnachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufensprünge» bei den Engpässen sind möglich
2) Veränderte Zeitkosten	Angepasster Value of Time (VOT) für automatisierte Fahrzeuge, 70% anstatt 50% des VOT von nicht-automatisierten Fahrzeugen	**-4%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) bei unveränderten Gesamtreisezeiten	**-8%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) bei unveränderten Gesamtreisezeiten
		→ Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind möglich	→ Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind wahrscheinlich
4) «Vorsichtige» automatisierte Fahrzeuge in den Einführungsjahren	Aufgrund von Sicherheitsüberlegungen reduzieren automatisierte Fahrzeuge in den Einführungsjahren im Mischverkehr die Strassenkapazität (automatisierte Fahrzeuge haben eine maximale PCU von 1.25, entspricht 20% Kapazitätsverlust).	**-10%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+20-25%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**-9%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+20-25%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die PCU-Belastung der Engpässe nimmt deutlich zu, es treten bedeutende «Stufensprünge» bei den Engpässen auf	→ Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die PCU-Belastung der Engpässe nimmt deutlich zu, es treten bedeutende «Stufensprünge» bei den Engpässen auf
5) Extreme Einstellungen und vollständige Durchdringung	Erhöhte Strassenkapazität infolge extremer Einstellungen von automatisierten Fahrzeugen und vollständiger Durchdringung der Fahrzeugflotte (automatisierte Fahrzeuge haben eine minimale PCU von 0.67, entspricht 50% Kapazitätsgewinn).	**+33%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **+5%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)	**+10%** Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) **-5-10%** PCU-Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen)
		→ Die erhöhte Kapazität und die vollständige Durchdringung lösen eine grosse Mehrnachfrage aus. Der Druck auf die Engpässe auf der Strasse nimmt nicht proportional zu, aber trotzdem in bedeutendem Mass zu.	→ Die erhöhte Kapazität und die vollständige Durchdringung lösen eine Mehrnachfrage aus. Der Druck auf die Engpässe nimmt trotzdem ab, da die Fahrzeuge in der Summe einen geringeren «Kapazitätsverbrauch» haben. Einzelne «Stufenabstiege» bei den Engpässen sind wahrscheinlich.

Grosse Veränderungen von Engpässen sind insbesondere dann zu erwarten, wenn sich die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge sowie die Durchdringung der Fahrzeugflotte mit automatisierten Fahrzeugen unterscheidet.

6.1.6 Fazit

Die folgende Tabelle fasst die Veränderungen der Engpassstufen für 2040 und 2050 in beiden Szenarien zusammen.

***Tab. 119** Ergebnisse Engpassanalyse 2040 und 2050*

Anzahl Strecken	Engpassanalyse STEP-NS 2040	Szenario A/B 2040	Szenario A 2050	Szenario B 2050
Stufe III (Auslastung 2040: > 120%)	8	4	4	1
Stufe II (Auslastung 2040: 111-120%)	3	4	4	5
Stufe I (Auslastung 2040: 101-110%)	1	1	1	2
Summe Engpässe	**12**	**9**	**9**	**8**
Engpass gelöst	**-**	**3**	**3**	**4**
Summe betrachteter Querschnitte	12	12	12	12

Wichtig:
Gilt für optimistische Kapazitätswirkungen von AV (Kapazität +30% bei 100% Durchdringung).

Entlastung Querschnitte aufgrund starrer Kapazitätsrestriktion überschätzt.

Ohne Berücksichtigung von induzierten Verkehr durch AV

Keine Berücksichtigung von Leerfahrten

Bei 2 der 3 gelösten Engpässe konnten die Ergebnisse nicht plausibilisiert werden.

Durch automatisierte Fahrzeuge werden vor allem für den Zeithorizont 2050 im Szenario B bedeutende Änderungen von Engpässen auf Nationalstrassen erreicht. Im Szenario A 2050 und auch in den Szenarien A/B 2040 gibt es zwar einzelne, aber insgesamt nur wenige Veränderungen gegenüber der Engpassanalyse STEP-NS 2040. Für beide Szenarien gilt: Engpässe werden nur in wenigen Fällen gelöst, sie verändern vor allem ihre Kategorie – dies trotz Annahmen, die die Auslastungsreduktion von automatisierten Fahrzeugen auf den Querschnitten überschätzt. Im Szenario B besteht eine vergleichsweise grosse Durchdringung mit automatisierten Fahrzeugen, die zu einem bedeutenden Anteil als Taxis oder im kollektiven Verkehr eingesetzt werden.

Generell gilt, dass der die kapazitätserhöhende Wirkung aus dem geringeren raumzeitlichen Platzbedarf automatisierter Fahrzeuge durch die Nachfrageeffekte bzgl. Routenwahl, Verkehrsmittelwahl (Verlagerungen vom ÖV) und Wahl der Abfahrtszeiten teilweise wieder kompensiert werden. Zu berücksichtigen ist, dass hier kein induzierter Verkehr durch Zielwahländerungen, Veränderung der Wohn- und Arbeitsplatzstandorte oder durch neue Wege auf der Strasse modelliert werden konnte.

Insgesamt gilt, dass die Wirkungen hinsichtlich einer Reduktion von Engpässen insgesamt eher überschätzt werden: Dies wegen optimistischer Annahmen zu den Kapazitätswirkungen von automatisierten Fahrzeugen (PCU-Werte wie bei vollständiger Durchdringung), durch fehlende Berücksichtigung von Leerfahrten von privaten automatisierten Fahrzeugen und aufgrund nicht-modellierter Nachfrageeffekte.

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass an vielen Engpässen Veränderungen der Engpassstufen zu erwarten sind, wenn die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge (PCU-Senkung um 50% statt 30%) und die Durchdringung der Fahrzeugflotte mit automatisierten Fahrzeugen (100%) hoch sind. Aber selbst für das Szenario B mit Sensitivität 5 mit 100% automatisierten Fahrzeugen und einem Kapazitätsgewinn von 50% je automatisiertem Fahrzeug sinken die leistungsrelevanten Verkehrsbelastungen (in PWE/PCU) aufgrund der Mehrnachfrage nur um ca. 10%, was maximal einer Reduktion um eine Engpassstufe bedeutet. Bei einem allgemeinen Bevölkerungswachstum und ähnlichen Mobilitätsbedürfnissen wird dieser Effekt nach einigen Jahren wieder aufgesogen sein.

6.2 Städtische Knoten

6.2.1 Vorgehen

Im urbanen Raum, insbesondere in Städten und Agglomerationen, bestimmen die Strassenknoten die Leistungsfähigkeit. Dementsprechend stellen sie bei einer hohen Verkehrsnachfrage Engpässe dar. An drei Strassenknoten mit unterschiedlichen Betriebsformen (Lichtsignalanlagen bzw. Kreisverkehr) und unterschiedlicher Komplexität bzw. Bedeutung für die Verkehrsmittel wie ÖV, Fuss- und Veloverkehr werden exemplarisch die Wirkungen der Automatisierung aufgezeigt.

Im Rahmen der Untersuchung werden einerseits die Verkehrsbelastungen der Tagesspitzenstunde (abendliche Spitzenstunde, ASP) aus der MATSim-Berechnung verwendet, und zwar vom Basisszenario sowie von den beiden Szenarien A und B mit automatisierten Fahrzeugen. Es werden die Zeithorizonte 2040 und 2050 ausgewertet. Die Automatisierung wird nachfrageseitig über einen reduzierten Kapazitätsverbrauch je Fahrzeug bzw. über die Umrechnung in Personenwageneinheiten (PWE/PCU) berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.2). Andererseits werden die Knotenkapazitäten auf Basis der gängigen Verfahren (VSS-Normen SN 640 023a und SN 640 024) mit den notwendigen Anpassungen berechnet (VSS, 2018). Dabei werden unveränderte Knotenlayouts und keine wesentlichen Änderungen des Knotenbetriebs für die Zustände 2040/2050 angenommen. Bei Lichtsignalanlagen (LSA) erfolgt eine Anpassung der heutigen Signalprogramme auf zukünftige Belastungszustände, indem die Grünzeiten sofern nötig neu verteilt werden. Aus dem Verhältnis der Verkehrsbelastungen und der Knotenkapazitäten lässt sich schliesslich die Auslastung bestimmen.

Zur Beschreibung der Knotenleistungsfähigkeit werden zwei Kenngrössen verwendet:

- **Maximale Auslastung:** Die untersuchten Knoten verfügen gemäss ihrem Layout (u.a. Anordnung der Zufahrtsspuren) und der zugrunde gelegten Steuerungslogik über eine Kapazität. Die maximale Auslastung beschreibt das Verhältnis der verkehrlichen Nachfrage zu dieser Kapazität. Dabei wird – in Analogie zum massgebenden Abschnitt bei der Engpassanalyse auf Nationalstrassen – jeweils die massgebende Knotenzufahrt mit der höchsten Auslastung angegeben. Je nach Aufteilung der Knotenströme kann trotz höherer Knotengesamtbelastung die Auslastung der massgebenden Knotenzufahrt tiefer liegen (und umgekehrt).
- **Gewichtete Wartezeit:** Infolge des Knotenbetriebs kommt es zu Wartezeiten auf den Knotenzufahrten (bspw. infolge Rotzeiten und/oder Auflösung des Rückstaus). Die mittlere Wartezeit gibt an, welche Wartezeit im Durchschnitt über alle Fahrzeuge, die den Knoten überqueren, entsteht. Die mittleren Wartezeiten sind mit den Knotenauslastungen gekoppelt. Gemäss empirischen Untersuchungen, die auch den VSS-Normen zu Grunde liegen, verhalten sie sich aber nicht proportional zur Auslastung. Zudem werden Knotensteuerungen (LSA) auf die Aufteilung der Knotenströme optimiert, sodass die mittleren Wartezeiten nicht zwingend im gleichen Mass mit der Auslastung steigen müssen.

6.2.2 Städtischer LSA-Grossknoten

Der Knoten Thurgauer-/Glattparkstrasse in Zürich/Opfikon (vgl. **Abb.173**) ist ein städtischer Grossknoten, über den vielfältige verkehrliche Beziehungen abgewickelt werden. Dazu gehört der MIV, der ÖV mit drei Tramlinien, der Veloverkehr (v.a. auf der Nord-Süd-Achse) sowie der Fussverkehr mit zahlreichen Übergängen. Der Knoten befindet sich im regionalen Modellperimeter SA.



Abb.173 *Städtischer Grossknoten mit Lichtsignalanlagen und starkem ÖV-Einfluss (Trams), Knoten Thurgauer-/Glattparkstrasse in Zürich/Opfikon (swisstopo, 2020)*

Der Knoten wird mit einer LSA betrieben. In der ASP werden verkehrsabhängig jeweils sechs Signalphasen eingesetzt, wobei eine Signalphase nur auf Anmeldung der Tramlinie auf der Ost-Süd-Verbindung in den Ablauf geschaltet wird. Die restlichen Tramlinien werden in Signalphasen zusammen mit dem MIV bedient. Für die Berechnung der Knotenleistungsfähigkeit wird der Umlauf auf 120s erhöht und die Dauern der Signalphasen den Knotenströmen angepasst. Die Verkehrsbelastungen werden in **Tab. 120** aufgeführt, die Kenngrössen aus dem Knotenbetrieb in **Tab. 121**.

Tab. 120 *Verkehrliche Nachfrage gemäss MATSim-Modellierung in der regionalen Betrachtung (mit Taxiflotten) für die unterschiedlichen Szenarien, jeweils Knotengesamtbelastungen in der massgebenden ASP*

	2040				2050			
Zustand	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl
Baseline	3'206	-	3'471	-	3'065	-	3'369	-
Szenario A	3'342	4%	3'425	-1%	3'619	18%	3'437	2%
Szenario B	3'478	8%	3'416	-2%	3'620	18%	3'257	-3%

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

Tab. 121 *Berechnete Kenngrössen auf Basis der angenommenen Knotensteuerung (Basis SN 640 020ff):*

	2040				2050			
Zustand	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]
Baseline	92%	-	50	-	86%	-	48	-
Szenario A	86%	-7%	45	-5	93%	8%	59	11
Szenario B	87%	-5%	49	-1	83%	-3%	44	-4

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

Bereits im Basisszenario 2040 und 2050 ist der betrachtete Knoten hoch ausgelastet. Die Automatisierung führt in beiden Szenarien 2040 durch Effizienzsteigerungen (weniger

PCU/PWE, aber mehr Fzg) zu einer geringfügig tieferen Auslastung auf den massgebenden Knotenzufahrten und zu tieferen mittleren Wartezeiten. Für das Jahr 2050 zeigen sich deutliche Unterschiede bei den Szenarien. Im Szenario A nimmt die Knotenbelastung in PCU/PWE trotz weiteren Effizienzsteigerungen zu. Die Mehrnachfrage führt so zu höheren Auslastungen und Wartezeiten. Im Szenario B ist die Knotenbelastung in Fzg gleich hoch wie im Szenario A, die Knotenbelastung in PWE/PCU nimmt aber ab (höherer Anteil an automatisierten Fahrzeugen als im Szenario A). Dies wirkt sich vorteilhaft auf den Knotenbetrieb und die Wartezeiten aus.

6.2.3 LSA-Knoten mit geringer Komplexität

Der Knoten Neue Winterthurer-/Bassersdorferstrasse in Baltenswil (vgl. ***Abb.174***) befindet sich in der Agglomeration auf der Achse zwischen Zürich und Winterthur. Er weist im Vergleich zu städtischen Grossknoten eine geringere Komplexität auf, da er einerseits nur drei Knotenarme aufweist und andererseits deutlich weniger gesamtverkehrliche Anforderungen vorhanden sind. Eine Buslinie quert den Knoten auf der Nord-West-Relation. Zudem weist er eine Bedeutung für den Veloverkehr (v.a. auf der West-Ost-Achse) sowie den Fussverkehr mit zwei Querungen auf. Der Knoten befindet sich im regionalen Modellperimeter SA.



Abb.174 *Knoten mit Lichtsignalanlagen (dreiarmig, geringere Komplexität), Knoten Neue Winterthurer-/Bassersdorferstrasse in Baltenswil (Swisstopo, 2020)*

Der Knoten wird mit einer LSA betrieben. In der ASP werden unter Berücksichtigung der Fussgänger/innen vier Signalphasen eingesetzt. Für die Berechnung der Knotenleistungsfähigkeit wird der Umlauf auf 120s erhöht und die Dauern der Signalphasen den Knotenströmen angepasst. Die Verkehrsbelastungen werden in **Tab. 122** aufgeführt, die Kenngrössen aus dem Knotenbetrieb in **Tab. 123**.

Bereits im Basisszenario 2040 und 2050 ist der betrachtete Knoten hoch ausgelastet. Die Automatisierung führt in beiden Szenarien 2040 zu einer Erhöhung der Auslastung und damit auch zu grösseren Wartezeiten. Grund dafür ist die Mehrnachfrage.

***Tab. 122** Verkehrliche Nachfrage gemäss MATSim-Modellierung in der regionalen Betrachtung (mit Taxiflotten) für die unterschiedlichen Szenarien, jeweils Knotengesamtbelastungen in der massgebenden ASP*

	2040				2050			
Zustand	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl
Baseline	2'145	-	2'585	-	2'056	-	2'539	-
Szenario A	2'594	21%	2'930	13%	2'736	33%	2'912	15%
Szenario B	2'573	20%	2'847	10%	2'397	17%	2'395	-6%

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

***Tab. 123** Berechnete Kenngrössen auf Basis der angenommenen Knotensteuerung (Basis SN 640 020ff):*

	2040				2050			
Zustand	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]
Baseline	92%	-	35	-	94%	-	34	-
Szenario A	99%	7%	47	13	97%	3%	43	9
Szenario B	96%	4%	41	6	89%	-5%	33	-1

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

Für das Jahr 2050 werden die Effekte abgemindert. Im Szenario A steigt die Knoteneffizienz, da der Anteil automatisierter Fahrzeuge gegenüber 2040 zunimmt. Im Szenario B nimmt die Knotenbelastung sowohl in Fzg und PWE/PCU ab, infolge höherem Anteil automatisierter Fahrzeuge (noch grösser als im Szenario A) und vermutlich infolge erhöhtem Kollektivverkehr.

6.2.4 Knoten mit Kreisverkehr

Der Knoten Route de Belfaux / Route Jo Seiffert / Route des Taconnets in Givisiez befindet sich in der Agglomeration Fribourg. Sein Knotenlayout mit vier Knotenarmen, die alle Querungen für den Fussverkehr aufweisen, kommt in der Schweiz häufig vor. Drei Buslinien queren den Knoten auf der Verbindung zwischen den beiden südlichen Knotenarme. Der Knoten befindet sich im regionalen Modellperimeter LU.



Abb. 175 *Knoten mit Kreisverkehr («Standardkreisel»), Knoten Route de Belfaux / Route Jo Seiffert / Route des Taconnets in Givisiez (Swisstopo, 2020)*

Der Knoten im Kreisverkehr ohne LSA betrieben. Die Leistungsfähigkeit wird massgeblich definiert durch die Aufteilung der Knotenströme, insbesondere der Anzahl von Linksabbiegern, welche zu Konflikten mit anderen Knoteneinfahrten führen. Die Verkehrsbelastungen des Knotens werden in **Tab. 124** aufgeführt, die Kenngrössen aus dem Knotenbetrieb in **Tab. 125**.

Tab. 124 *Verkehrliche Nachfrage gemäss MATSim-Modellierung in der regionalen Betrachtung (mit Taxiflotten) für die unterschiedlichen Szenarien, jeweils Knotengesamtbelastungen in der massgebenden ASP*

	2040				2050			
Zustand	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl	[Fz/h]	ggü. bl	[PWE/h]	ggü. bl
Baseline	1'938	-	2'098	-	1'946	-	2'151	-
Szenario A	1'912	-1%	2'066	-1%	2'117	9%	2'152	0%
Szenario B	1'839	-5%	1'985	-5%	2'135	10%	1'989	-8%

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

Tab. 125 *Berechnete Kenngrössen auf Basis der angenommenen Knotensteuerung (Basis SN 640 020ff):*

	2040				2050			
Zustand	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]	Max. Auslastung	Veränd. ggü. bl [%-Pkte]	mittl. Wartezeit [s]	Veränd. ggü. bl [s]
Baseline	91%	-	19	-	89%	-	18	-
Szenario A	93%	2%	24	4	92%	2%	22	4
Szenario B	92%	1%	22	3	87%	-2%	17	-1

= Zunahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

= Abnahme gegenüber Baseline 2040 respektive 2050

Bereits im Basisszenario 2040 und 2050 weist der betrachtete Knoten eine bedeutende Auslastung auf. Die Automatisierung führt in beiden Szenarien 2040 zu einer geringen Erhöhung der massgebenden Auslastung und gesamthaft zu grösseren Wartezeiten. Grund dafür ist nicht die Nachfrage, die in diesem Raum etwas abnimmt, sondern die geringfügig veränderte Aufteilung der Knotenströme (hier: mehr Linksabbieger).

Für das Jahr 2050 steigt im Szenario A die Knoteneffizienz, da der Anteil automatisierter Fahrzeuge gegenüber 2040 zunimmt. Trotzdem entstehen durch die veränderte Aufteilung der Knotenströme etwas höhere Wartezeiten. Im Szenario B nimmt die Knotenbelastung in PWE/PCU ab, vor allem infolge des höheren Anteils automatisierter Fahrzeuge (noch grösser als im Szenario A). Dies wirkt sich positiv auf den Knotenbetrieb aus.

6.2.5 Fazit und Ausblick

Das untergeordnete Netz wurde auf Basis von drei ausgewählten Strassenknoten analysiert. Diese zeigen exemplarisch die verkehrlichen Wirkungen auf, sie sind aber nicht repräsentativ für das gesamte untergeordnete Strassennetz der Schweiz.

Für den Zustand 2040 unterscheiden sich die Belastungsveränderungen je nach Raum. Die beiden Knoten im Raum SA weisen mit Automatisierung höhere Fzg-Belastungen auf, der Knoten im Raum LU tiefere. Hohe Effizienzsteigerungen treten in beiden Szenarien 2040 aufgrund der geringen Durchdringung von automatisierten Fahrzeugen in der Gesamtflotte nicht ein.

Im Zustand 2050 zeigt sich bei allen Beispielknoten, dass im Szenario A die leistungsrelevanten Knotenbelastungen infolge der Mehrnachfrage ansteigen und dadurch sowohl Auslastungen als auch Wartezeiten zunehmen. Im Szenario B 2050 gehen bei ähnlichen Fzg-Belastungen wie im Szenario A die Knotengesamtbelastungen in PCU/PWE um 3 bis 8% gegenüber dem Basisszenario zurück. Diese Entlastung der Knoten reduziert die massgebenden Auslastungen und mittleren Wartezeiten. Grund dafür ist der höhere Automatisierungsgrad der Fahrzeugflotte und somit der Anteil der automatisierten Fahrzeugen im Verkehr auf dem schweizer Strassennetz (für 2050: B 61% bis 90% und A 42% bis 73%).

In den Szenarien A und B für 2040 und 2050 steigt die Anzahl Fahrzeuge bei fast allen Knoten (Ausnahme: Knoten im Raum LU für 2040). Nur im Szenario B und für den Zustand 2050 (mit hoher Durchdringung der Flotte mit automatisierten Fahrzeugen) werden Entlastungen von Knoten im untergeordneten Netz erreicht. Diese Entlastungen sind verhältnismässig gering.

Im Rahmen der Untersuchung werden die gängigen Ansätze bei der LSA-Knotensteuerung verwendet. Der Knotenbetrieb könnte zukünftig durch die Digitalisierung aber weiter optimiert werden, insbesondere mit einem verstärkten Datenaustausch zwischen LSA und Fahrzeugen. Ein «Hebel» besteht in der Reduktion von leistungsmindernden Zwischenzeiten an der LSA (zwischen den Grünzeiten). In der Normierung werden bedeutende Sicherheitszeiten für Querungen nach Grünende sowie Frühstarts berücksichtigt, vgl. SN 640 838 (VSS, 2018).

Eine Reduktion von Zwischenzeiten dürfte aber erst mit sehr hohen Durchdringungsraten von automatisierten Fahrzeugen umsetzbar sein. Die durchgeführten Simulationen ergeben in 2050 je nach Region und Strassenkategorie Anteile von zwischen etwa 42% und 73% (Szenario A) und von zwischen 61% und 90% (Szenario B) automatisierter Fahrzeuge auf dem schweizer Strassennetz, wie in **Tab. 136**, **Tab. 139**, und **Tab. 142** im Anhang 1 einsehbar ist. Bei Zwischenzeiten, die Fussgängerquerungen bzw. Veloströme betreffen, ist eine detaillierte Untersuchung hinsichtlich Sicherheit notwendig, ob und wie eine Reduktion der Zwischenzeiten umgesetzt werden kann.

Ein gänzlicher Verzicht auf LSA bei automatisierten Fahrzeugen ist grundsätzlich denkbar, allerdings nur mit einer starken Vernetzung und erst bei Durchdringungsraten ab ca. 75%, vgl. hierzu beispielsweise Levin und Boyle (2015).

7 Fazit

In diesem Fazit werden die gesamten Ergebnissen der Simulationen und Analysen, inklusive der Engpassanalysen, zusammengefast und die wichtigsten Erkenntnisse hervorgehoben. Des Weiteren werden Forschungs- und Handlungsempfehlungen beschrieben.

Zu den Tendenzen der Personenkilometer, Fahrzeugkilometer, und Tagesbelastungen auf HLS

Automatisiertes Fahren führt in der Regel zu einem Wachstum der MIV-Verkehrsleistung, also der Personenkilometer, die mit dem gesamten MIV (auch durch automatisierte Taxis und Mitfahrer) auf der Strasse zurückgelegt werden, und einem noch deutlicheren Wachstum der Fahrleistung (in Fahrzeugkilometer) auf der Strasse. Dadurch entsteht ein entsprechendes Wachstum in den Tagesbelastungen (in Fzg/d) auf den Strassen. Diese Zunahme wird nur teilweise durch die Kapazitätsgewinne kompensiert: Die leistungsrelevanten Belastungen (in PCU) steigen trotzdem. Dieser Trend ist stärker mit automatisierte Taxis als ohne. Ab 2050 schwächt in Szenario B der Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes diese Tendenzen. Durch einen höheren Durchdringungsgrad der AF sowie ein vergleichsweise schwaches Wachstum der Fahrzeugkilometer können in Szenario B 2050 mindestens die leistungsrelevanten Tagesbelastungen (in PCU) gegenüber dem heutigen Stand vermindert werden, obwohl auch in Szenario B 2050 die Tagesbelastungen in Fahrzeugen stärker als im Referenzszenario 2050 steigen.

Eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach unterschiedlichen Regionen zeigt, dass die Region SA (Stadt und Agglomeration) am stärksten von den verkehrsvermehrenden Effekten des AF betroffen ist. Trotz erheblichen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz in Szenario B 2050 steigen die gesamte MIV-Verkehrsleistung und die gesamte MIV-Fahrleistung gegenüber dem Grundszenario 2020 sowie dem Referenzszenario 2050. Im den zwei ländlichen Regionen LU und LG hingegen sinkt die gesamte MIV-Verkehrsleistung gegenüber dem Referenzszenario 2050. Die gesamte MIV-Fahrleistung steigt einzig aufgrund der Leerfahrten der automatisierten Taxis an. Diese Unterschiede sind auf die unterschiedlich verkehrlichen Kontexte zurückzuführen (siehe Kapitel 5.1.4).

Zur Engpassanalyse: Ergebnisse und Forschungsempfehlungen

Generell gilt, dass die kapazitätserhöhende Wirkung automatisierter Fahrzeuge aus dem geringeren raumzeitlichen Platzbedarf durch die Nachfrageeffekte mindestens teilweise wieder kompensiert werden. Für beide Szenarien gilt: Engpässe werden nur in wenigen Fällen gelöst, sie verändern vor allem ihre Kategorie (Engpassstufe) – dies trotz Annahmen, die die Auslastungsreduktion von automatisierten Fahrzeugen auf den Querschnitten eher überschätzen und die Nachfrageeffekte eher unterschätzen.

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass bei vielen Engpässen Veränderungen der Engpassstufen zu erwarten sind, wenn die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge höher ausfallen würden (PCU-Senkung um 50% statt 30%) und die Durchdringung der Fahrzeugflotte mit automatisierten Fahrzeugen maximal (100%) ist. Aber selbst für das Szenario B mit 100% automatisierten Fahrzeugen und einem Kapazitätsgewinn von 50% je automatisiertem Fahrzeug (Sensitivität 5) sinken die leistungsrelevanten Verkehrsbelastungen (in PWE/PCU) aufgrund der Mehrnachfrage nur um ca. 10%, was maximal einer Reduktion um eine Engpassstufe bedeutet. Bei einem allgemeinen Bevölkerungswachstum und gegenüber heute ähnlichen Mobilitätsbedürfnissen wird dieser Effekt nach einigen Jahren wieder aufgesogen sein.

Automatisierte Fahrzeuge haben somit das Potenzial, die Engpässe zu entschärfen, aber nur in wenigen Fällen würden sie diese lösen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass Leerfahrten privater automatisierter Fahrzeuge, Veränderungen der Wohn- und Arbeitsstandorte sowie Zielwahländerungen infolge des automatisierten Fahrens nicht simuliert wurden und der Nachfrageeffekt damit unterschätzt wird. Es wird deshalb sehr empfohlen, Forschungsarbeiten zu unterstützen, die Methoden entwickeln, um solche

weitere Nachfrageeffekte in ausreichendem Detaillierungsgrad dynamisch in Verkehrs- und Raumnutzungsmodelle einbauen zu können.

Zu Strassenknoten im untergeordneten Netz der Schweiz

In Szenario A 2050 ist die Mehrnachfrage grösser als die Effizienzsteigung: Auslastungen und Wartzeiten nehmen auf dem untergeordneten Netz zu. In Szenario B 2050 gehen aufgrund der höheren Durchdringungsrate des AF die Auslastungen und Wartzeiten auf dem untergeordneten Netz zurück, jedoch sind diese Entlastungen verhältnismässig gering.

Zwei mögliche Ansätze, die mit der Einführung von AF weitere Knotenoptimierungen ermöglichen, sind die Reduktion der leistungsmindernden Zwischenzeiten an den LSA oder sogar ein gänzlicher Verzicht auf LSA. Jedoch müsste für beiden Fällen die Sicherheit für Fussgänger und Velofahrer näher untersucht werden. Erste Studien zeigen, dass der zweite Ansatz möglich wäre ab einer Durchdringungsrate von ca. 75%. In Szenario B 2050, das abschnittsweise eine Durchdringungsrate von AF zwischen 60% und 90% aufweist, wäre dies an vielen Stellen im Netz grundsätzlich möglich.

Tendenzen im Modal Split in Bezug auf Wege

In allen Szenarien und Zuständen hat der ÖV einen bedeutenden Marktanteil und wird nicht durch die automatisierten Fahrzeuge verdrängt. Die angenommene Reduktion der ÖV-Preise führt zu einem Grossteil dazu, dass sich im Referenzszenario 2050 der Modal Split der Wege in Richtung ÖV verlagert (in 2050 zwischen 2%-Pkte im ländlichem Raum und 4%-Pkte in der Region SA). Dieser Anstieg wird deutlich reduziert, wenn die ÖV-Preise unverändert blieben (abgebildet in Sensitivität 1), verschwindet aber nicht ganz.

Die Teilregion Stadt und Agglomeration (SA) ist im Allgemeinen am stärksten von den AF-verursachten Verkehrsmittelverlagerungen betroffen. Ohne Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenarien A mit automatisierten Taxis) führt die Verfügbarkeit von privaten AF und automatisierten Taxis in allen drei Regionen im Jahr 2050 zu einer Zunahme des gesamten MIV-Anteils. Dieser Effekt ist aber viel stärker in der Stadt und Agglomeration (+5%-Pkte in SA) als im ländlichen Raum (+0.5%-Pkte in LG bis +2.5%-Pkte in LU). Mit einem Rückgang im Privatfahrzeugbesitz (Szenario B mit automatisierten Taxis) findet im Jahr 2050 im ländlichem Raum ein starker Rückgang im gesamten MIV-Anteil gegenüber dem Grundszenario 2020 statt (-10,5%-Pkte in LU bis -14,6%-Pkte in LG). In der Region SA gibt es eher eine Stagnation (-0,5%-Pkte).

Im Vergleich des Szenarios A 2050 (ohne automatisierte Taxis) bzw. des Szenarios B 2050 (ohne automatisierte Taxis) mit dem Referenzszenario 2050 zeigt sich in den ländlichen Regionen, dass die allermeisten Wege der privaten AF ehemalige konventionelle PW-Wege waren. Ganz anders in der Region SA: Hier bilden ehemalige konventionelle PW-Wege nur die Hälfte der privaten AF-Wege. Die andere Hälfte sind ehemalige ÖV- oder LV-Wege. Im Allgemeinen fahren im angewendeten Modell Agenten, die Zugang zu einem privaten AF haben, deutlich mehr als Agenten, die Zugang zu einem konventionellen Privatfahrzeug haben, besonders in der Stadt und Agglomeration.

Im Vergleich des Szenarios A 2050 (mit automatisierten Taxis) bzw. des Szenarios B 2050 (mit automatisierten Taxis) mit dem Szenario A 2050 (ohne automatisierte Taxis) bzw. dem Szenario B 2050 (ohne automatisierte Taxis) wird deutlich, dass die automatisierten Taxis ein sehr attraktives Angebot anbieten, das viele Wege von ÖV, LV und konventionellen Privatfahrzeugen verlagern kann. Jedoch sind die automatisierten Taxis für Menschen mit Zugang zu einem privaten AF uninteressant. Dies impliziert auch die deutlich geringere Verkehrsleistung (in Pkm) von automatisierten Taxis in den Ergebnissen der Sensitivität 5 (siehe Kapitel 5.2.5).

Hypothese: AF konkurriert mit dem ÖV am stärksten auf langen (>10km) Wegen

Die Tendenzen im Modal Split bzw. in der Verkehrsmittelwahl stellen die Ursache der Veränderungen von Verkehrsleistung, Fahrleistung, und Tagesbelastungen der Strassenabschnitte dar. Der Modal Splits in Bezug auf Wege kann jedoch nicht direkt auf den Modal Split in Bezug auf Personen- und Fahrzeugkilometer übersetzt werden. In manchen Fällen ist sogar die Richtung unterschiedlich, beispielsweise stagniert in Szenario A 2050 (mit automatisierten Taxis) in der Region LG der ÖV-Anteil in Bezug auf Wege, während die ÖV-Verkehrsleistung (in Pkm) sinkt. Ein Grund dafür ist, dass die Distanz der verlagerten Wege nicht einheitlich ist. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass überwiegend längere Wegen (>10km) vom ÖV zum AF verlagert werden.

Somit vereinen die AF in Bezug auf die Wege überproportional Personen- und Fahrzeugkilometer auf sich. Diese These wird unterstützt, wenn die Veränderungen in der durchschnittlichen Reisedistanz der Wege nach Verkehrsmittel betrachtet werden. Obwohl diese Änderungen in den durchschnittlichen Reisedistanzen im Allgemeinen eher klein sind (meistens weniger als 2km), sind sie sehr konsistent und deutlich, und deshalb erwähnenswert. In allen Szenarien (ausser B ohne automatisierten Taxis) und in allen drei Regionen sowie auf nationale Ebene sinkt die durchschnittliche Reisedistanz der ÖV-Wege. Gleichzeitig steigt die durchschnittliche Reisedistanz der Wege der privaten AF gegenüber derjenigen der konventionellen Fahrzeugen. Dazu kommt, dass in allen drei Regionen die durchschnittliche Reisedistanz der Wege mit automatisierten Taxis deutlich über derjenigen der konventionellen Fahrzeuge liegt, oft erreichen diese eine ähnliche Länge wie die ÖV-Wege. Somit gibt es sehr starke Hinweise dafür, dass das AF besonders für längere Wege attraktiv ist. Die durchgeführten Analysen zeigen, dass für «längere Wege» eine Untergrenze von ca. 10km gilt.

Die Konkurrenz des AF zum ÖV auf langen Wegen ist in alle Raumtypen erklärbar. So kann auf langen Wegen die Anzahl der Umsteigevorgänge im ÖV zunehmen. Umsteigevorgänge wirken sich tendenziell negativer auf die Attraktivität einer ÖV-Verbindung aus als Reisezeitverlängerungen. So können AF trotz höherer Kosten bei ähnlichen Reisezeiten attraktiver sein. Die niedrige Geschwindigkeit des städtischen oder ländlichen ÖV wird vor allem mit steigender Distanz spürbar, besonders im Vergleich zum MIV und Taxi. Auch wenn ein grosser Teil der Strecke mit der Bahn mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit abgewickelt wird, kann der Zugang zur Bahn die Reisezeiten erheblich verlängern und auch die Anzahl Umsteigevorgänge deutlich erhöhen. Die Simulationen zeigen, dass solche Faktoren sich stark auf die Verkehrsmittelwahl auswirken.

Forschungsempfehlung: Vertiefende Analysen zu der Konkurrenz zwischen AF und dem traditionellem ÖV

Es ist empfehlenswert, die Eigenschaften der Wege, die das AF vom ÖV besonders stark verlagert, genauer zu identifizieren und zu erforschen. Dabei könnte auch der Zusammenhang zur Weglänge untersucht werden. Damit könnten präzisere Handlungsempfehlungen entwickelt werden, um das Wachstum der gesamten MIV-Verkehrsleistung und der gesamten MIV-Fahrleistung auf der Strasse zu verringern.

Pooling: Ergebnisse und Forschungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass das Potenzial von Pooling eher gering ist (siehe Kapitel 5.2.3). Generell kann festgehalten werden, dass das Punkt-zu-Punkt-Pooling vielversprechend ist, wenn Idealbedingungen angenommen werden (Balac, Hörl, & Axhausen, 2019). Unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen ergeben sich aber kaum Anwendungsfälle. Dies schliesst nicht aus, dass ein komplexeres Pooling-System, bei welchem während der Fahrt neue Aufträge angenommen werden, ein höheres Potenzial aufweist. Es wird daher geraten, die Forschung in diesem Bereich zu vertiefen. Dabei gilt es auch, aktuelle Hürden zu überwinden, die vor allem aufgrund der Rechenzeit entstehen.

Langstreckentaxis: Ergebnisse und Forschungsempfehlungen

Ähnliches zum Pooling gilt auch für automatisierte Langstreckentaxis: Im Rahmen dieses Projekts wurde versucht, eine nationale Flotte von automatisierten Taxis für den

Fernverkehr zu simulieren. Diese Versuche zeigten nicht nur, dass die Rechenzeiten derzeit zu lang sind, sondern auch, dass der vorhandene Algorithmus die langen «Rebalancing»-Fahrten (Verschieben leerer Taxis zum Ort der Nutzung durch Fahrgäste) nicht ausreichend regulieren konnte. Dabei konnten sowohl Preis als auch Wartezeiten für Langstreckentaxis nicht ausreichend tief gehalten werden, um für Kunden ein attraktives Angebot herzustellen. Das Langstreckentaxi-Angebot «starb» in der Folge im Modell aus. Deshalb wird geraten, für zukünftige Untersuchungen zum Thema automatisierte Langstreckentaxis mehr Zeit in der Entwicklung von konkreten Geschäftsmodellen zu investieren, beispielsweise in die Aspekte «on-demand» oder im Voraus reserviert, eigenwirtschaftlich oder subventioniert, Monopol oder Konkurrenz, Trennung von lokalen Taxiflotten oder Kooperation, Fahrpreisstruktur und innerbetriebliche Quersubventionierung. Dabei ist der Auswahl bzw. der Entwicklung von Steuerungs-Algorithmen sowie Kostenrechnern, die die ausgewählte Geschäftsmodellen simulieren können, genügend Beachtung zu schenken.

Induzierter Verkehr: Es gibt grossen Forschungsbedarf

Induzierter Verkehr wird in Fachkreisen unterschiedlich definiert. Daher ist es ein Begriff, der immer genau abgegrenzt werden muss, um Missverständnisse zu vermeiden. In diesem Projekt wird mit «Induziertem Verkehr» der Anstieg von Verkehrsleistung (in Pkm) und Fahrleistung (in Fzg-km) durch neue (zusätzliche) Wege bezeichnet. Da MATSim zurzeit nur Verkehrsmittel- und Routenwahl berücksichtigen kann (und in beschränktem Mass Änderungen in Abfahrtszeiten), musste für den induzierten Verkehr auf die Literatur zurückgegriffen werden. Basierend auf der Studie (Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017), bei der ähnliche aber weit optimistischere Szenarien hinsichtlich automatisiertem Fahren betrachtet hat, wird der Wert von 0.1% der Personenkilometer des Grundszenarios als eine sinnvolle, geschätzte Obergrenze für den durch neue Wege induzierten Verkehr für die Szenarien im Jahr 2050 eingestuft. Wie in Kapitel 5.2.6 dargelegt, könnte jedoch auch der durch die veränderte Zielwahl induzierte Mehrverkehr potenziell erheblich sein. Die betrachtete Literatur hierzu ist uneinig, in welchem Umfang die monetär bewerteten Gewinne von Reisezeitänderungen durch automatisiertes Fahren in die Wahl von neuen Zielen, in die Erzeugung von neuen Wege oder in andere Bereiche einfliessen würde. Die Einschätzung von induziertem Verkehr hinsichtlich neuer Wege und Zielwahl stellt deshalb einen weiteren Forschungsbedarf dar.

Prognosezuverlässigkeit und Unsicherheiten: Hinweise und Forschungsempfehlungen

Es konnte erstaunlicherweise wenige empirische und statistisch robuste Studien zur Prognosezuverlässigkeit von Verkehrsmodellen gefunden werden, selbst für die traditionellen 4-Stufen-Modelle. Es gibt daher zu diesem Thema dringenden Forschungsbedarf, besonders für agentenbasierte Modellen.

In der verfügbaren Literatur (Flyvbjerg, Skamris Holm, & Buhl, 2005) wurde gezeigt, dass Prognosen der strassengebundene Fahrleistung eher ungenau sind: 50% der Prognosen liegen zwischen +20% und -20% der später gemessenen Fahrleistungen, 75% der Prognosen liegen zwischen plus +40% und -40% der später gemessenen Fahrleistungen. Es ist genauso wahrscheinlich, die Fahrleistung zu unterschätzen als zu überschätzen. Eine Betrachtung der in diesem Projekt gemachten Annahmen und die Einschränkungen des verwendeten Models führen zum Schluss, dass hier eine Unterschätzung der eventuellen Fahrleistung wahrscheinlicher ist als eine Überschätzung.

Des Weiteren ist bei disaggregierten Analysen von MATSim-Ergebnissen, zum Beispiel bei Belastungen einzelner Streckenabschnitte, gemäss neulichen Erfahrungen Vorsicht geboten. Es wurde in diesem Projekt und einem parallel laufenden Projekt entdeckt, dass es unter bestimmten, eher extremen Bedingungen über mehrere Iterationen zu Oszillationen in den Belastungen von ähnlichen Routen kommen kann (siehe Kapitel 5.1.1). Dies erschwert die Interpretation bei Vergleichen von Belastungen einzelner Strecken zwischen unterschiedlichen Szenarien. Aus diesem Grund konnten die Belastungsunterschiede zwischen den Szenarien für den HLS-Abschnitt im Raum Solothurn-Bern nicht plausibilisiert werden. Dieses Phänomen wird zurzeit erforscht, zum Zeitpunkt der Analyse und der Berichtserstellung lagen aber noch keine Ergebnisse vor.

Darüber hinaus muss bemerkt werden, dass viele Eingangsgrössen für die durchgeführten Simulationen selbst Prognosen waren, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Hier sind insbesondere die Prognosen für die Bevölkerungsentwicklung und das Güterverkehrsaufkommen zu nennen. Die vorgelegten Ergebnisse gelten nur dann, wenn diese Eingangsprognosen selbst stimmen. Empfehlenswert wäre daher die Durchführung von weiteren Sensitivitätsanalysen mit unterschiedliche Bevölkerungs- sowie Güterverkehrsprognosen, um den «Entscheidungsraum» hinsichtlich Handlungsempfehlungen besser abzugrenzen. Zusätzlich wäre es sinnvoll, den grenzquerenden Personenverkehr und den Lieferverkehr ins Modell einzubauen.

Forschungsempfehlung: Räumlich differenzierte Plausibilitätsanalysen und Sensitivitätsanalysen zum Privatfahrzeugbesitz

Selbst zwischen der Stadt und ihrer Agglomeration gibt es Unterschiede im heutigem Privatfahrzeugbesitz und somit im Modal Split. Dies ist auf den räumlichen und verkehrlichen Kontext zurückzuführen. Die Annahme, dass in der ganzen Teilregion der Privatfahrzeugbesitz im gleichem Ausmass zurückgeht, ist daher zu hinterfragen. Es ist empfehlenswert, ein räumlich weiter differenziertes Modell des Privatfahrzeugbesitzes zu verwenden und im Verkehrsmodell einzubauen, um ein realistischeres Bild von den räumlichen Unterschieden der Effekte des AF zu erzeugen. Besonders wünschenswert wäre die Entwicklung einer iterativen Verkoppelung der beiden Modelle, um den Effekt der Dynamik zwischen Privatfahrzeugbesitz und Verkehrsangebot auf die Verkehrsnachfrage abzubilden.

Handlungsempfehlung: Prüfung Nachfragesteuerung und Weiterentwicklung Nationalstrassennetz

Automatisiertes Fahren weist vielfältige Chancen und Risiken sowie Nutzen und Kosten auf. Unter Berücksichtigung aller ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien ist zu prüfen, wie mit dem zu erwartenden Verkehrswachstum umgegangen werden soll und kann. Will der Bund die zunehmende Verkehrsnachfrage mit organisatorischen und nachfragesteuernden Instrumenten dämpfen, dann sind auch Massnahmen im Sinne eines Mobility Pricing im MIV und ÖV zu prüfen. Ungeachtet dessen sind unter der Prämisse, dass der Bund den Verkehrsfluss auf den Nationalstrassen aufrecht erhalten will, die langfristigen Planungen zur Entwicklung des Nationalstrassenprozesses weiterhin notwendig. Dies angesichts der Tatsache, dass die Engpassanalyse und Knotenanalyse der untersuchten Szenarien (also mit ÖV-Preissenkung) gezeigt haben, dass selbst mit einem erheblichen Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes in der Regel Engpässe nur entschärft, aber nicht gelöst werden.

Handlungsempfehlung: Weitergabe der Kosteneinsparungen im ÖV an die Fahrgäste durch Fahrpreissenkungen

Der Vergleich zwischen den untersuchten Szenarien und der Sensitivitätsbetrachtung 1 zeigt deutlich, dass die ÖV-Preissenkung die Verlagerung von Wegen vom ÖV auf AF stark vermindern kann. Angesichts der Tatsache, dass die Engpass- und Knotenanalyse der auf Basis der untersuchten Szenarien (also mit ÖV-Preissenkung) gezeigt haben, dass selbst mit einem erheblichen Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes in der Regel die Engpässe nur entschärft, aber nicht gelöst werden können, ist aus Sicht Strassenbelastung zu prüfen, mit der Einführung des AF die ÖV-Preise gegenüber dem heutigen Stand zu senken. Auch wenn im ÖV keine betrieblichen Kostensenkungen eintreten, wird empfohlen, dennoch eine Fahrpreissenkung zu überlegen, um extreme Zunahmen im Strassenverkehr vorzubeugen.

Handlungsempfehlung: Regelmässige Neubewertung von Eigenschaften der AF in der Realität

Die Betrachtung der Literatur hinsichtlich Kapazitätseffekte des AF zeigt auf, dass eine zunehmende Anzahl Studien von konservativeren Kapazitätserhöhungen von automatisierten Fahrzeugen ausgeht. Deshalb sollten die Annahmen bzgl. PCU der AF, die in diesem Projekt verwendet wurden, als eher optimistisch betrachtet werden. Es wäre

empfehlenswert, diese Annahmen regelmässig mit dem neuesten Stand der Forschung bzw. mit den aktuellen technologischen Entwicklungen zu überprüfen. Sollte es Abweichungen geben, sollten neue Simulationen durchgeführt werden, um für Entscheidungsträger aktualisierte Prognosen bereitzustellen.

Zum Schluss - Zentrale Stossrichtungen für die Politik

Automatisiertes Fahren weist vielfältige Chancen und Risiken sowie Nutzen und Kosten auf. Unter Berücksichtigung aller ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien ist zu prüfen, wie mit dem zu erwartenden Verkehrswachstum umgegangen werden soll und kann. Will der Bund die zunehmende Verkehrsnachfrage mit organisatorischen und nachfragesteuernden Instrumenten dämpfen, dann sind auch Massnahmen im Sinne eines Mobility Pricing im MIV und ÖV zu prüfen. Ungeachtet dessen sind unter der Prämisse, dass der Bund den Verkehrsfluss auf den Nationalstrassen aufrecht erhalten will, die langfristigen Planungen zur Entwicklung des Nationalstrassenprozesses weiterhin notwendig. Dies angesichts der Tatsache, dass die Engpassanalyse und Knotenanalyse der untersuchten Szenarien (also mit ÖV-Preissenkung) gezeigt haben, dass selbst mit einem erheblichen Rückgang des Privatfahrzeugbesitzes in der Regel Engpässe nur entschärft, aber nicht gelöst werden.

Der ÖV wird auch mit automatisierten Fahrzeugen benötigt. Die Automatisierung bedeutet auch eine grosse Chance im ÖV, da Effizienzsteigerungspotenziale bestehen und neue Angebotsformen eingeführt werden können. Die Politik sollte bestrebt sein, dass die Chancen genutzt werden können.

Grundsätzlich unabhängig von der Automatisierung, aber hinsichtlich der aufgezeigten Nachfrageeffekte doch im verstärktem Mass, stellt sich die Frage, wie die zukünftige Verkehrsnachfrage ökologischer abgewickelt werden kann. Aus heutiger Sicht scheint hierfür eine Elektrifizierung der Fahrzeugflotte auf der Strasse notwendig. Die Konsequenzen für die Bundeseinnahmen unter anderem zur Finanzierung der Nationalstrasseninfrastruktur sind unter Berücksichtigung der Nachfrageentwicklung abzustimmen und neue Finanzierungsinstrumente vorzusehen.

Automatisierte Fahrzeuge *könnten* – sofern die eher optimistischen Annahmen bezüglich ihres raumzeitlichen Platzbedarf gelten – Verkehrsengpässe mindern, durchschnittliche Reisezeiten senken und Reisekomfort sowie Nutzen für Verkehrsteilnehmende erhöhen. Dies gilt allerdings nur, wenn auch der Privatfahrzeugbesitz drastisch zurückgeht. Automatisierte Fahrzeuge werden – auch mit einem drastischen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz – sehr wahrscheinlich zu einer deutlichen Zunahme der Fahrleistung auf der Strasse führen, was für Umwelt, Anwohnerinnen und Anwohner sowie schwächere Verkehrsteilnehmende eher schädlich wäre. Besonders die Stadt würde im ersten Sinne profitieren können und im zweiten Sinne leiden müssen. Deshalb wird es in Zukunft umso wichtiger sein, Massnahmen zu treffen, die den Umweltverbund stärken und den Privatfahrzeugbesitz unattraktiver machen. Da sich die Effekte des AF nach Regionen unterscheiden werden – besonders stark ist der Kontrast zwischen Stadt und Land – müssen Massnahmen regional angepasst werden.

Anhänge

I Anhang 1: Weitere Tabellen ... 245
I.1 Weitere Hauptergebnisse (Phase 1) ... 245
I.1.1 Eckwerte der Szenarien ... 245
I.1.2 Weitere Ergebnisse der Nationalen Szenarien ... 247
I.1.3 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für SA ... 250
I.1.4 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für LU ... 253
I.1.5 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für LG ... 256
I.2 Weitere Ergebnisse der Sensitivitäten ... 259
I.2.1 Sensitivität 1 ... 259
I.3 Hinweise zum Zugriff auf weitere Datensätze und das archivierte Modell ... 260

I Anhang 1: Weitere Tabellen

I.1 Weitere Hauptergebnisse (Phase 1)

I.1.1 Eckwerte der Szenarien

***Tab. 126**: Eckwerkten der Nationalen Szenarien, Phase 1*

Szenario	Jahr	Einwohner	Durchschn. Alter	PW Verfügbarkeit
		[1000]	[Jahre]	[% der Bevölkerung]
Grundzustand	2020	8671.3	42.9	81.6
Referenzszenario	2030	9440.5	44.3	80.7
Referenzszenario	2040	9992.6	45.7	79.8
Referenzszenario	2050	10274.7	46.9	78.6
A (nur A-MIV)	2020	8671.3	42.9	81.6
A (nur A-MIV)	2030	9440.5	44.3	80.7
A (nur A-MIV)	2040	9992.6	45.7	79.8
A (nur A-MIV)	2050	10274.7	46.9	78.6
B (nur A-MIV)	2020	8671.3	42.9	81.6
B (nur A-MIV)	2030	9440.5	44.3	80.7
B (nur A-MIV)	2040	9992.6	45.7	69.8
B (nur A-MIV)	2050	10274.7	46.9	34.8

***Tab. 127**: Eckwerkten des Szenarios "Stadt & Agglomeration" (Zürich), Phase 1*

Szenario	Jahr	Einwohner*	Durchschn. Alter	PW Verfügbarkeit
		[1000]	[a]	[%]
Grundzustand	2020	1258.7	41.6	78.9
Referenzszenario	2030	1391.0	42.8	78.1
Referenzszenario	2040	1479.2	44.0	77.3
Referenzszenario	2050	1536.4	45.3	76.2
A (nur A-MIV)	2020	1258.7	41.6	78.9
A (nur A-MIV)	2030	1390.9	42.8	78.1
A (nur A-MIV)	2040	1478.6	44.0	77.3
A (nur A-MIV)	2050	1533.5	45.3	76.1
B (nur A-MIV)	2020	1258.7	41.6	78.9
B (nur A-MIV)	2030	1390.7	42.8	78.1
B (nur A-MIV)	2040	1478.4	44.0	67.6
B (nur A-MIV)	2050	1534.5	45.3	33.8

*Die Variabilität der Bevölkerung in den regionalen Szenarien ist darauf zurückzuführen, wie die "Einwohner" gezählt werden. Nur die Agenten, die in der Regionen ihren Wohnsitz haben und nie die regionale Grenzeüberqueren werden gezählt.

***Tab. 128**: Eckwerkten des Szenarios "Ländlich Ungerichtet" (Fribourg), Phase 1*

Szenario	Jahr	Einwohner*	Durchschn. Alter	PW Verfügbarkeit
		[1000]	[a]	[%]
Grundzustand	2020	255.1	39.8	81.5
Referenzszenario	2030	291.4	41.1	80.3
Referenzszenario	2040	322.5	42.7	79.5
Referenzszenario	2050	345.2	43.7	78.4
A (nur A-MIV)	2020	255.1	39.8	81.5
A (nur A-MIV)	2030	291.4	41.1	80.3
A (nur A-MIV)	2040	322.4	42.7	79.4
A (nur A-MIV)	2050	344.8	43.7	78.3
B (nur A-MIV)	2020	255.1	39.8	81.5
B (nur A-MIV)	2030	291.4	41.1	80.3
B (nur A-MIV)	2040	323.6	42.7	69.1
B (nur A-MIV)	2050	350.6	43.7	34.0

*Die Variabilität der Bevölkerung in den regionalen Szenarien ist darauf zurückzuführen, wie die "Einwohner" gezählt werden. Nur die Agenten, die in der Regionen ihren Wohnsitz haben und nie die regionale Grenzeüberqueren werden gezählt.

***Tab. 129**: Eckwerkten des Szenarios "Ländlich Gerichtet" (Chur), Phase 1*

Szenario	Jahr	Einwohner*	Durchschn. Alter	PW Verfügbarkeit
		[1000]	[a]	[%]
Grundzustand	2020	123.06	44.7	80.7
Referenzszenario	2030	127.72	46.4	79.1
Referenzszenario	2040	127.17	48.6	78.0
Referenzszenario	2050	129.52	49.0	76.8
A (nur A-MIV)	2020	123.06	44.7	80.7
A (nur A-MIV)	2030	127.75	46.4	79.1
A (nur A-MIV)	2040	127.19	48.6	78.0
A (nur A-MIV)	2050	129.54	49.0	76.8
B (nur A-MIV)	2020	123.06	44.7	80.7
B (nur A-MIV)	2030	127.76	46.4	79.1
B (nur A-MIV)	2040	127.18	48.6	68.5
B (nur A-MIV)	2050	129.59	49.0	33.9

*Die Variabilität der Bevölkerung in den regionalen Szenarien ist darauf zurückzuführen, wie die "Einwohner" gezählt werden. Nur die Agenten, die in der Regionen ihren Wohnsitz haben und nie die regionale Grenzeüberqueren werden gezählt.

I.1.2 Weitere Ergebnisse der Nationalen Szenarien

***Tab. 130**: Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Schweiz, Phase 1, ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	ÖV	GV	A-GV	Gesamt	gesGV	gesMIV
		[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]	[Mio km]
Grundzustand	2020	173.5	0.0	0.9	15.3	0.0	189.7	15.3	173.5
Referenzszenario	2030	181.9	0.0	0.9	16.7	0.0	199.5	16.7	181.9
Referenzszenario	2040	187.7	0.0	0.9	18.3	0.0	206.9	18.3	187.7
Referenzszenario	2050	176.2	0.0	0.9	19.7	0.0	196.7	19.7	176.2
A (nur A-MIV)	2020	173.5	0.0	0.9	15.3	0.0	189.7	15.3	173.5
A (nur A-MIV)	2030	176.2	1.0	0.9	16.6	0.1	194.8	16.7	177.2
A (nur A-MIV)	2040	171.5	13.6	0.9	17.0	1.3	204.3	18.3	185.2
A (nur A-MIV)	2050	114.9	75.9	0.9	12.3	7.3	211.2	19.6	190.8
B (nur A-MIV)	2020	173.5	0.0	0.9	15.3	0.0	189.7	15.3	173.5
B (nur A-MIV)	2030	174.6	3.4	0.9	16.6	0.1	195.5	16.7	178.0
B (nur A-MIV)	2040	139.1	28.7	0.9	16.9	1.3	186.9	18.2	167.8
B (nur A-MIV)	2050	35.3	59.9	0.9	12.3	7.3	115.6	19.6	95.2

***Tab. 131**: Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel als % der Gesamtfahrleistung in Fahrzeugkilometer in der Schweiz, Phase 1, ohne automatisierte Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	ÖV	GV	A-GV	Gesamt	gesGV.	gesMIV
Grundzustand	2020	91.5%	0.0%	0.5%	8.1%	0.0%	100.0%	8.1%	91.5%
Referenzszenario	2030	91.2%	0.0%	0.4%	8.4%	0.0%	100.0%	8.4%	91.2%
Referenzszenario	2040	90.7%	0.0%	0.4%	8.8%	0.0%	100.0%	8.8%	90.7%
Referenzszenario	2050	89.6%	0.0%	0.4%	10.0%	0.0%	100.0%	10.0%	89.6%
A (nur A-MIV)	2020	91.5%	0.0%	0.5%	8.1%	0.0%	100.0%	8.1%	91.5%
A (nur A-MIV)	2030	90.5%	0.5%	0.5%	8.5%	0.0%	100.0%	8.6%	91.0%
A (nur A-MIV)	2040	84.0%	6.7%	0.4%	8.3%	0.6%	100.0%	8.9%	90.6%
A (nur A-MIV)	2050	54.4%	35.9%	0.4%	5.8%	3.5%	100.0%	9.3%	90.3%
B (nur A-MIV)	2020	91.5%	0.0%	0.5%	8.1%	0.0%	100.0%	8.1%	91.5%
B (nur A-MIV)	2030	89.3%	1.7%	0.5%	8.5%	0.0%	100.0%	8.5%	91.0%
B (nur A-MIV)	2040	74.4%	15.4%	0.5%	9.0%	0.7%	100.0%	9.8%	89.8%
B (nur A-MIV)	2050	30.5%	51.8%	0.8%	10.6%	6.3%	100.0%	16.9%	82.3%

***Tab. 132**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Fahrzeugtzp* für die Schweiz, Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	MIV	A-MIV	GV	A-GV
			[% Fhz]	[% Fhz]	[% Fhz]	[% Fhz]
Grundzustand	2020	Alle	93.7	0.0	6.3	0.0
Grundzustand	2020	Automatisiert	0.0	0.0	0.0	0.0
Grundzustand	2020	Autobahn	88.4	0.0	11.6	0.0
Grundzustand	2020	Autostrasse	88.2	0.0	11.8	0.0
Grundzustand	2020	Hauptstrasse	93.9	0.0	6.2	0.0
Grundzustand	2020	< 14 m/s	96.4	0.0	3.6	0.0
A (nur A-MIV)	2030	Alle	92.8	0.5	6.7	0.0
A (nur A-MIV)	2030	Automatisiert	88.9	0.5	10.5	0.1
A (nur A-MIV)	2030	Autobahn	87.0	0.5	12.5	0.1
A (nur A-MIV)	2030	Autostrasse	86.8	0.5	12.6	0.1
A (nur A-MIV)	2030	Hauptstrasse	92.6	0.5	6.9	0.0
A (nur A-MIV)	2030	< 14 m/s	95.4	0.6	4.0	0.0
A (nur A-MIV)	2040	Alle	86.2	6.8	6.5	0.5
A (nur A-MIV)	2040	Automatisiert	85.5	6.9	7.1	0.5
A (nur A-MIV)	2040	Autobahn	80.0	6.8	12.2	0.9
A (nur A-MIV)	2040	Autostrasse	80.4	6.3	12.3	1.0
A (nur A-MIV)	2040	Hauptstrasse	86.0	6.7	6.8	0.5
A (nur A-MIV)	2040	< 14 m/s	88.8	6.9	4.0	0.3
A (nur A-MIV)	2050	Alle	56.1	36.6	4.6	2.7
A (nur A-MIV)	2050	Automatisiert	56.1	36.6	4.6	2.7
A (nur A-MIV)	2050	Autobahn	50.0	36.5	8.5	5.0
A (nur A-MIV)	2050	Autostrasse	51.4	34.7	8.7	5.3
A (nur A-MIV)	2050	Hauptstrasse	56.0	36.3	4.7	2.9
A (nur A-MIV)	2050	< 14 m/s	58.3	37.3	2.8	1.7
B (nur A-MIV)	2030	Alle	91.5	1.8	6.7	0.0
B (nur A-MIV)	2030	Automatisiert	87.6	1.9	10.4	0.1
B (nur A-MIV)	2030	Autobahn	85.8	1.8	12.4	0.1
B (nur A-MIV)	2030	Autostrasse	85.7	1.7	12.6	0.1
B (nur A-MIV)	2030	Hauptstrasse	91.4	1.7	6.9	0.0
B (nur A-MIV)	2030	< 14 m/s	94.1	1.8	4.0	0.0
B (nur A-MIV)	2040	Alle	76.6	15.7	7.1	0.6
B (nur A-MIV)	2040	Automatisiert	75.9	15.8	7.7	0.6
B (nur A-MIV)	2040	Autobahn	70.5	15.5	13.0	1.0
B (nur A-MIV)	2040	Autostrasse	71.2	14.5	13.3	1.1
B (nur A-MIV)	2040	Hauptstrasse	76.5	15.6	7.3	0.6
B (nur A-MIV)	2040	< 14 m/s	79.3	16.1	4.3	0.3
B (nur A-MIV)	2050	Alle	32.4	54.1	8.5	5.0
B (nur A-MIV)	2050	Automatisiert	32.4	54.1	8.5	5.0
B (nur A-MIV)	2050	Autobahn	27.4	49.9	14.2	8.4
B (nur A-MIV)	2050	Autostrasse	27.6	48.0	15.2	9.2
B (nur A-MIV)	2050	Hauptstrasse	32.5	53.7	8.7	5.1
B (nur A-MIV)	2050	< 14 m/s	34.8	57.2	5.1	3.0

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.

***Tab. 133**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Automatisierungsgrad & Verkehrstyp für die Schweiz, Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	Konventionell [% Fhz]	Automatisiert* [% Fhz]	Personenverkehr [% Fhz]	Güterverkehr [% Fhz]
Grundzustand	2020	Alle	100.0	0.0	93.7	6.3
Grundzustand	2020	Automatisiert	0.0	0.0	0.0	0.0
Grundzustand	2020	Autobahn	100.0	0.0	88.4	11.6
Grundzustand	2020	Autostrasse	100.0	0.0	88.2	11.8
Grundzustand	2020	Hauptstrasse	100.0	0.0	93.9	6.2
Grundzustand	2020	< 14 m/s	100.0	0.0	96.4	3.6
A (nur A-MIV)	2030	Alle	99.4	0.6	93.3	6.7
A (nur A-MIV)	2030	Automatisiert	99.4	0.6	89.5	10.5
A (nur A-MIV)	2030	Autobahn	99.4	0.6	87.5	12.5
A (nur A-MIV)	2030	Autostrasse	99.4	0.6	87.3	12.7
A (nur A-MIV)	2030	Hauptstrasse	99.5	0.6	93.1	6.9
A (nur A-MIV)	2030	< 14 m/s	99.4	0.6	96.0	4.1
A (nur A-MIV)	2040	Alle	92.7	7.3	93.0	7.0
A (nur A-MIV)	2040	Automatisiert	92.6	7.4	92.4	7.6
A (nur A-MIV)	2040	Autobahn	92.3	7.7	86.9	13.1
A (nur A-MIV)	2040	Autostrasse	92.7	7.3	86.8	13.2
A (nur A-MIV)	2040	Hauptstrasse	92.8	7.3	92.7	7.3
A (nur A-MIV)	2040	< 14 m/s	92.8	7.2	95.8	4.3
A (nur A-MIV)	2050	Alle	60.7	39.3	92.7	7.3
A (nur A-MIV)	2050	Automatisiert	60.7	39.3	92.7	7.3
A (nur A-MIV)	2050	Autobahn	58.5	41.5	86.5	13.5
A (nur A-MIV)	2050	Autostrasse	60.0	40.0	86.1	13.9
A (nur A-MIV)	2050	Hauptstrasse	60.8	39.2	92.4	7.6
A (nur A-MIV)	2050	< 14 m/s	61.1	38.9	95.6	4.4
B (nur A-MIV)	2030	Alle	98.2	1.8	93.3	6.7
B (nur A-MIV)	2030	Automatisiert	98.1	1.9	89.5	10.5
B (nur A-MIV)	2030	Autobahn	98.2	1.8	87.5	12.5
B (nur A-MIV)	2030	Autostrasse	98.2	1.8	87.4	12.6
B (nur A-MIV)	2030	Hauptstrasse	98.2	1.8	93.1	6.9
B (nur A-MIV)	2030	< 14 m/s	98.1	1.9	96.0	4.0
B (nur A-MIV)	2040	Alle	83.7	16.3	92.3	7.7
B (nur A-MIV)	2040	Automatisiert	83.6	16.4	91.7	8.3
B (nur A-MIV)	2040	Autobahn	83.5	16.5	86.0	14.0
B (nur A-MIV)	2040	Autostrasse	84.4	15.6	85.6	14.4
B (nur A-MIV)	2040	Hauptstrasse	83.8	16.2	92.1	7.9
B (nur A-MIV)	2040	< 14 m/s	83.6	16.4	95.4	4.6
B (nur A-MIV)	2050	Alle	40.9	59.1	86.5	13.5
B (nur A-MIV)	2050	Automatisiert	40.9	59.1	86.5	13.5
B (nur A-MIV)	2050	Autobahn	41.6	58.4	77.4	22.6
B (nur A-MIV)	2050	Autostrasse	42.8	57.2	75.5	24.5
B (nur A-MIV)	2050	Hauptstrasse	41.2	58.8	86.2	13.8
B (nur A-MIV)	2050	< 14 m/s	39.8	60.2	91.9	8.1

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierter Privatfahrzeuge und automatisierter Güterfahrzeuge auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.

I.1.3 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für SA

***Tab. 134**: Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region SA, Phase 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV [Mio km]	A-MIV [Mio km]	AT [Mio km]	AT-L [Mio km]	ÖV [Mio km]	GV [Mio km]	A-GV [Mio km]	Gesamt [Mio km]	gesGV [Mio km]	gesMIV [Mio km]
Grundzustand	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0	13.99	0.47	13.37
Referenzszenario	2030	14.14	0.00	0.00	0.00	0.15	0.53	0	14.82	0.53	14.14
Referenzszenario	2040	14.38	0.00	0.00	0.00	0.15	0.58	0	15.11	0.58	14.38
Referenzszenario	2050	13.06	0.00	0.00	0.00	0.15	0.61	0	13.82	0.61	13.06
A (mit AT)	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0	13.99	0.47	13.37
A (mit AT)	2030	13.10	0.09	1.23	0.35	0.15	0.52	0	15.44	0.52	14.77
A (mit AT)	2040	11.46	1.33	3.35	1.34	0.15	0.54	0.05	18.22	0.59	17.48
A (mit AT)	2050	5.19	7.19	5.80	0.99	0.15	0.38	0.24	19.94	0.62	19.17
B (mit AT)	2020	13.37	0.00	0.00	0.00	0.15	0.47	0	13.99	0.47	13.37
B (mit AT)	2030	13.07	0.33	1.21	0.32	0.15	0.53	0	15.61	0.53	14.93
B (mit AT)	2040	9.24	2.78	3.74	0.91	0.15	0.55	0.04	17.41	0.59	16.67
B (mit AT)	2050	1.56	5.69	9.12	1.18	0.15	0.37	0.23	18.30	0.60	17.55

***Tab. 135**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Fahrzeugtzp* für die Region "Stadt & Agglomeration" (Zürich), Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	MIV [% Fhz]	A-MIV* [% Fhz]	GV [% Fhz]	A-GV* [% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	81.1	7.0	5.5	0.0
A (mit AT)	2030	Automatisiert	72.9	10.7	6.2	0.0
A (mit AT)	2030	Autobahn	85.0	2.8	9.8	0.1
A (mit AT)	2030	Autostrasse	89.1	0.9	9.7	0.0
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	82.5	6.4	5.3	0.0
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	77.0	9.9	3.8	0.0
A (mit AT)	2040	Alle	61.1	20.2	4.6	0.3
A (mit AT)	2040	Automatisiert	57.1	22.1	4.7	0.4
A (mit AT)	2040	Autobahn	69.9	13.8	8.9	0.6
A (mit AT)	2040	Autostrasse	72.9	12.5	8.2	0.6
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	53.9	23.9	4.1	0.3
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	55.6	23.7	3.2	0.2
A (mit AT)	2050	Alle	29.2	49.0	2.9	1.8
A (mit AT)	2050	Automatisiert	29.2	49.0	2.9	1.8
A (mit AT)	2050	Autobahn	38.0	44.8	6.0	3.5
A (mit AT)	2050	Autostrasse	36.7	44.1	5.4	3.1
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	29.9	49.5	2.9	1.8
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	25.1	51.1	2.0	1.2
B (mit AT)	2030	Alle	80.1	8.2	5.5	0.0
B (mit AT)	2030	Automatisiert	72.2	11.8	6.2	0.0
B (mit AT)	2030	Autobahn	83.7	4.2	9.7	0.1
B (mit AT)	2030	Autostrasse	87.8	2.2	9.6	0.0
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	81.9	7.3	5.4	0.0
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	76.1	11.0	3.8	0.0
B (mit AT)	2040	Alle	51.8	28.6	4.9	0.4
B (mit AT)	2040	Automatisiert	48.2	30.2	4.9	0.4
B (mit AT)	2040	Autobahn	61.4	22.1	9.4	0.7
B (mit AT)	2040	Autostrasse	64.4	20.9	9.3	0.7
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	46.0	31.3	4.3	0.3
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	46.2	32.0	3.3	0.2
B (mit AT)	2050	Alle	10.4	56.1	3.2	1.9
B (mit AT)	2050	Automatisiert	10.4	56.1	3.2	1.9
B (mit AT)	2050	Autobahn	16.2	54.4	7.5	4.5
B (mit AT)	2050	Autostrasse	15.2	53.9	6.8	4.1
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	10.3	56.9	2.9	1.8
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	8.1	56.9	1.9	1.2

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.
**nur private AF, keine automatisierte Taxis

***Tab. 136**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Automatisierungsgrad- & Verkehrstyp für die Region "Stadt & Agglomeration" (Zürich), Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	Konventionell	Automatisiert*	Personenverkehr	Güterverkehr
			[% Fhz]	[% Fhz]	[% Fhz]	[% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	86.5	13.5	94.5	5.5
A (mit AT)	2030	Automatisiert	79.1	20.9	93.8	6.2
A (mit AT)	2030	Autobahn	94.8	5.2	90.2	9.9
A (mit AT)	2030	Autostrasse	98.7	1.3	90.3	9.7
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	87.7	12.3	94.7	5.3
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	80.7	19.3	96.2	3.8
A (mit AT)	2040	Alle	65.8	34.2	95.0	5.0
A (mit AT)	2040	Automatisiert	61.8	38.2	95.0	5.0
A (mit AT)	2040	Autobahn	78.8	21.2	90.5	9.5
A (mit AT)	2040	Autostrasse	81.1	18.9	91.2	8.8
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	58.0	42.0	95.6	4.4
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	58.8	41.2	96.6	3.4
A (mit AT)	2050	Alle	32.1	67.9	95.3	4.7
A (mit AT)	2050	Automatisiert	32.1	67.9	95.3	4.7
A (mit AT)	2050	Autobahn	44.0	56.0	90.5	9.5
A (mit AT)	2050	Autostrasse	42.0	58.0	91.5	8.5
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	32.8	67.2	95.3	4.7
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	27.1	72.9	96.8	3.2
B (mit AT)	2030	Alle	85.6	14.4	94.5	5.5
B (mit AT)	2030	Automatisiert	78.4	21.6	93.7	6.3
B (mit AT)	2030	Autobahn	93.4	6.6	90.2	9.8
B (mit AT)	2030	Autostrasse	97.4	2.6	90.4	9.6
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	87.3	12.7	94.6	5.5
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	80.0	20.0	96.2	3.8
B (mit AT)	2040	Alle	56.6	43.4	94.8	5.2
B (mit AT)	2040	Automatisiert	53.1	46.9	94.8	5.2
B (mit AT)	2040	Autobahn	70.7	29.3	89.9	10.1
B (mit AT)	2040	Autostrasse	73.7	26.3	90.1	10.0
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	50.3	49.7	95.4	4.6
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	49.5	50.5	96.5	3.5
B (mit AT)	2050	Alle	13.5	86.5	94.9	5.1
B (mit AT)	2050	Automatisiert	13.5	86.5	94.9	5.1
B (mit AT)	2050	Autobahn	23.7	76.3	87.9	12.1
B (mit AT)	2050	Autostrasse	22.0	78.0	89.1	10.9
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	13.1	86.9	95.4	4.7
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	10.0	90.0	97.0	3.1

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.

I.1.4 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für LU

***Tab. 137**: Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region LU, Phase 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV [Mio km]	A-MIV [Mio km]	AT [Mio km]	AT-L [Mio km]	ÖV [Mio km]	GV [Mio km]	A-GV [Mio km]	Gesamt [Mio km]	ges GV [Mio km]	ges MIV [Mio km]
Grundzustand	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0	3.36	0.08	3.24
Referenzszenario	2030	3.57	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0	3.70	0.09	3.57
Referenzszenario	2040	3.83	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0	3.97	0.10	3.83
Referenzszenario	2050	3.90	0.00	0.00	0.00	0.04	0.11	0	4.05	0.11	3.90
A (mit AT)	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0	3.36	0.08	3.24
A (mit AT)	2030	3.55	0.02	0.04	0.03	0.04	0.09	0	3.77	0.09	3.64
A (mit AT)	2040	3.60	0.23	0.22	0.13	0.04	0.09	0.01	4.32	0.10	4.18
A (mit AT)	2050	2.38	1.32	0.74	0.22	0.04	0.07	0.04	4.81	0.11	4.66
B (mit AT)	2020	3.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0	3.36	0.08	3.24
B (mit AT)	2030	3.52	0.06	0.04	0.03	0.04	0.09	0	3.78	0.09	3.65
B (mit AT)	2040	2.85	0.51	0.42	0.17	0.04	0.09	0.01	4.09	0.10	3.95
B (mit AT)	2050	0.66	1.03	2.13	0.54	0.04	0.07	0.04	4.51	0.11	4.36

***Tab. 138**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Fahrzeugtzp* für die Region "Ländlich Ungerichtet" (Fribourg), Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	MIV [% Fhz]	A-MIV** [% Fhz]	GV [% Fhz]	A-GV [% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	92.4	1.5	5.1	0.0
A (mit AT)	2030	Automatisiert	87.2	3.1	7.1	0.1
A (mit AT)	2030	Autobahn	87.6	1.3	10.2	0.1
A (mit AT)	2030	Autostrasse	89.5	2.4	6.1	0.0
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	92.6	2.1	3.8	0.0
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	93.4	1.9	3.1	0.0
A (mit AT)	2040	Alle	81.6	9.6	4.5	0.4
A (mit AT)	2040	Automatisiert	79.3	10.6	4.7	0.4
A (mit AT)	2040	Autobahn	81.1	7.5	9.7	0.8
A (mit AT)	2040	Autostrasse	82.0	8.5	5.8	0.5
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	78.0	11.8	3.4	0.3
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	79.6	11.4	2.7	0.2
A (mit AT)	2050	Alle	48.1	37.5	2.8	1.6
A (mit AT)	2050	Automatisiert	48.1	37.5	2.8	1.6
A (mit AT)	2050	Autobahn	51.8	36.0	6.6	3.7
A (mit AT)	2050	Autostrasse	52.8	35.2	3.6	2.2
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	49.0	37.4	2.2	1.2
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	46.0	38.5	1.7	1.0
B (mit AT)	2030	Alle	91.3	2.6	5.0	0.0
B (mit AT)	2030	Automatisiert	86.0	4.3	7.1	0.1
B (mit AT)	2030	Autobahn	86.4	2.6	10.1	0.1
B (mit AT)	2030	Autostrasse	88.6	3.4	6.1	0.0
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	91.6	3.1	3.8	0.0
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	92.3	3.1	3.1	0.0
B (mit AT)	2040	Alle	68.8	19.4	4.7	0.4
B (mit AT)	2040	Automatisiert	65.7	20.7	4.8	0.4
B (mit AT)	2040	Autobahn	70.6	16.5	10.3	0.8
B (mit AT)	2040	Autostrasse	69.8	18.1	6.1	0.5
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	63.2	22.4	3.3	0.3
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	65.3	21.7	2.8	0.2
B (mit AT)	2050	Alle	14.9	52.0	3.0	1.8
B (mit AT)	2050	Automatisiert	14.9	52.0	3.0	1.8
B (mit AT)	2050	Autobahn	22.4	51.6	9.5	5.7
B (mit AT)	2050	Autostrasse	16.4	52.0	3.7	2.4
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	15.7	52.1	2.3	1.4
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	12.9	52.2	1.6	1.0

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.
**nur private AF, keine automatisierte Taxis

***Tab. 139**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Automatisierungsgrad- & Verkehrstyp für die Region "Ländlich Ungerichtet" (Fribourg), Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	Konventionell [% Fhz]	Automatisiert* [% Fhz]	Personenverkehr [% Fhz]	Güterverkehr [% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	97.5	2.5	94.9	5.1
A (mit AT)	2030	Automatisiert	94.3	5.7	92.8	7.2
A (mit AT)	2030	Autobahn	97.9	2.2	89.7	10.3
A (mit AT)	2030	Autostrasse	95.6	4.4	93.9	6.1
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	96.4	3.6	96.2	3.8
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	96.6	3.4	96.8	3.2
A (mit AT)	2040	Alle	86.1	13.9	95.1	4.9
A (mit AT)	2040	Automatisiert	84.0	16.0	95.0	5.0
A (mit AT)	2040	Autobahn	90.8	9.2	89.6	10.4
A (mit AT)	2040	Autostrasse	87.8	12.2	93.7	6.3
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	81.3	18.7	96.4	3.6
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	82.3	17.7	97.1	2.9
A (mit AT)	2050	Alle	50.9	49.1	95.6	4.5
A (mit AT)	2050	Automatisiert	50.9	49.1	95.6	4.5
A (mit AT)	2050	Autobahn	58.4	41.6	89.7	10.3
A (mit AT)	2050	Autostrasse	56.4	43.6	94.2	5.8
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	51.2	48.8	96.6	3.4
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	47.6	52.4	97.4	2.6
B (mit AT)	2030	Alle	96.3	3.7	94.9	5.1
B (mit AT)	2030	Automatisiert	93.0	7.0	92.9	7.1
B (mit AT)	2030	Autobahn	96.6	3.5	89.8	10.2
B (mit AT)	2030	Autostrasse	94.7	5.4	93.9	6.1
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	95.4	4.6	96.2	3.8
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	95.4	4.6	96.8	3.2
B (mit AT)	2040	Alle	73.6	26.4	94.9	5.1
B (mit AT)	2040	Automatisiert	70.5	29.5	94.8	5.2
B (mit AT)	2040	Autobahn	80.9	19.1	88.9	11.1
B (mit AT)	2040	Autostrasse	75.9	24.1	93.4	6.6
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	66.5	33.5	96.4	3.6
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	68.1	31.9	97.0	3.0
B (mit AT)	2050	Alle	17.9	82.1	95.2	4.8
B (mit AT)	2050	Automatisiert	17.9	82.1	95.2	4.8
B (mit AT)	2050	Autobahn	31.9	68.1	84.8	15.2
B (mit AT)	2050	Autostrasse	20.1	79.9	93.9	6.1
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	18.0	82.0	96.3	3.7
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	14.5	85.5	97.4	2.6

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.

I.1.5 Weitere Ergebnisse der Regionalen Szenarien für LG

***Tab. 140**: Fahrleistung auf den Strassen nach Verkehrsmittel in Fahrzeugkilometer in der Region LG, Phase 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV [Mio km]	A-MIV [Mio km]	AT [Mio km]	AT-L [Mio km]	ÖV [Mio km]	GV [Mio km]	A-GV [Mio km]	Gesamt [Mio km]	ges GV [Mio km]	ges MIV [Mio km]
Grundzustand	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0	1.80	0.09	1.68
Referenzszenario	2030	1.61	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10	0	1.74	0.10	1.61
Referenzszenario	2040	1.60	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0	1.74	0.11	1.60
Referenzszenario	2050	1.48	0.00	0.00	0.00	0.03	0.12	0	1.63	0.12	1.48
A (mit AT)	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0	1.80	0.09	1.68
A (mit AT)	2030	1.61	0.01	0.01	0.02	0.03	0.10	0	1.78	0.10	1.65
A (mit AT)	2040	1.42	0.11	0.20	0.10	0.03	0.10	0.01	1.97	0.11	1.83
A (mit AT)	2050	0.89	0.57	0.26	0.09	0.03	0.07	0.05	1.96	0.12	1.81
B (mit AT)	2020	1.68	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0	1.80	0.09	1.68
B (mit AT)	2030	1.59	0.02	0.01	0.01	0.03	0.10	0	1.76	0.10	1.63
B (mit AT)	2040	1.14	0.21	0.31	0.10	0.03	0.10	0.01	1.90	0.11	1.76
B (mit AT)	2050	0.23	0.45	0.65	0.18	0.03	0.07	0.05	1.66	0.12	1.51

***Tab. 141**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Fahrzeugtzp* für die Region "Ländlich Gerichtet" (Chur), mit automatisierten Taxis, Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	MIV [% Fhz]	A-MIV** [% Fhz]	GV [% Fhz]	A-GV [% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	84.2	1.2	13.7	0.1
A (mit AT)	2030	Automatisiert	80.2	2.5	15.3	0.1
A (mit AT)	2030	Autobahn	81.6	2.0	14.8	0.1
A (mit AT)	2030	Autostrasse	72.7	1.4	24.9	0.1
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	84.4	0.6	14.8	0.1
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	90.3	1.8	6.5	0.0
A (mit AT)	2040	Alle	68.0	12.0	12.1	1.0
A (mit AT)	2040	Automatisiert	67.3	12.4	12.0	1.0
A (mit AT)	2040	Autobahn	72.7	8.9	14.1	1.2
A (mit AT)	2040	Autostrasse	66.5	6.6	22.7	2.1
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	66.6	12.0	13.0	1.1
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	67.3	15.9	5.6	0.5
A (mit AT)	2050	Alle	42.2	34.9	9.1	5.7
A (mit AT)	2050	Automatisiert	42.2	34.9	9.1	5.7
A (mit AT)	2050	Autobahn	47.5	33.2	9.9	6.5
A (mit AT)	2050	Autostrasse	37.2	29.0	18.8	12.0
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	42.4	34.2	9.8	6.0
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	41.9	38.8	4.2	2.6
B (mit AT)	2030	Alle	83.3	2.1	13.7	0.1
B (mit AT)	2030	Automatisiert	79.3	3.5	15.3	0.1
B (mit AT)	2030	Autobahn	81.1	2.9	14.8	0.1
B (mit AT)	2030	Autostrasse	71.7	2.3	24.9	0.2
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	83.5	1.5	14.7	0.1
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	89.3	2.8	6.5	0.0
B (mit AT)	2040	Alle	56.7	20.2	12.5	1.1
B (mit AT)	2040	Automatisiert	55.8	20.7	12.3	1.1
B (mit AT)	2040	Autobahn	62.0	17.1	15.1	1.3
B (mit AT)	2040	Autostrasse	57.9	12.9	23.9	2.3
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	55.2	20.3	13.4	1.1
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	54.4	24.9	5.6	0.5
B (mit AT)	2050	Alle	14.2	46.8	11.1	6.5
B (mit AT)	2050	Automatisiert	14.2	46.8	11.1	6.5
B (mit AT)	2050	Autobahn	20.5	45.4	15.1	8.5
B (mit AT)	2050	Autostrasse	13.9	37.4	25.0	14.1
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	14.2	45.9	12.1	7.1
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	12.7	51.2	4.5	2.7

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.
** nur private AF, keine automatisierte Taxis

***Tab. 142**: Anteil der Verkehrsbelastung der Strassenkategorien nach Automatisierungsgrad- & Verkehrstyp für die Region "Ländlich Gerichtet" (Chur), Phase 1*

Szenario	Jahr	Strassenkategorie	Konventionell [% Fhz]	Automatisiert* [% Fhz]	Personenverkehr [% Fhz]	Güterverkehr [% Fhz]
A (mit AT)	2030	Alle	98.0	2.1	86.2	13.8
A (mit AT)	2030	Automatisiert	95.5	4.5	84.6	15.4
A (mit AT)	2030	Autobahn	96.5	3.5	85.1	14.9
A (mit AT)	2030	Autostrasse	97.6	2.4	75.0	25.0
A (mit AT)	2030	Hauptstrasse	99.2	0.8	85.1	14.9
A (mit AT)	2030	< 14 m/s	96.8	3.2	93.5	6.5
A (mit AT)	2040	Alle	80.1	19.9	86.8	13.2
A (mit AT)	2040	Automatisiert	79.3	20.7	87.0	13.0
A (mit AT)	2040	Autobahn	86.8	13.2	84.8	15.2
A (mit AT)	2040	Autostrasse	89.2	10.8	75.2	24.8
A (mit AT)	2040	Hauptstrasse	79.7	20.4	85.9	14.1
A (mit AT)	2040	< 14 m/s	72.9	27.1	94.0	6.1
A (mit AT)	2050	Alle	51.3	48.7	85.2	14.8
A (mit AT)	2050	Automatisiert	51.3	48.7	85.2	14.8
A (mit AT)	2050	Autobahn	57.4	42.6	83.6	16.4
A (mit AT)	2050	Autostrasse	56.0	44.0	69.2	30.8
A (mit AT)	2050	Hauptstrasse	52.2	47.8	84.2	15.8
A (mit AT)	2050	< 14 m/s	46.1	53.9	93.3	6.7
B (mit AT)	2030	Alle	97.1	3.0	86.2	13.8
B (mit AT)	2030	Automatisiert	94.6	5.4	84.6	15.4
B (mit AT)	2030	Autobahn	95.9	4.1	85.1	14.9
B (mit AT)	2030	Autostrasse	96.6	3.4	74.9	25.1
B (mit AT)	2030	Hauptstrasse	98.2	1.8	85.2	14.8
B (mit AT)	2030	< 14 m/s	95.8	4.2	93.4	6.6
B (mit AT)	2040	Alle	69.2	30.8	86.4	13.6
B (mit AT)	2040	Automatisiert	68.1	31.9	86.6	13.4
B (mit AT)	2040	Autobahn	77.1	22.9	83.7	16.3
B (mit AT)	2040	Autostrasse	81.7	18.3	73.8	26.2
B (mit AT)	2040	Hauptstrasse	68.6	31.4	85.5	14.5
B (mit AT)	2040	< 14 m/s	60.0	40.0	93.9	6.1
B (mit AT)	2050	Alle	25.2	74.8	82.5	17.5
B (mit AT)	2050	Automatisiert	25.2	74.8	82.5	17.5
B (mit AT)	2050	Autobahn	35.6	64.4	76.4	23.6
B (mit AT)	2050	Autostrasse	38.9	61.1	60.9	39.1
B (mit AT)	2050	Hauptstrasse	26.3	73.7	80.8	19.2
B (mit AT)	2050	< 14 m/s	17.2	82.8	92.8	7.2

*Es werden Fahrzeugen nach Typ gezählt, nicht nach Betriebsart. Somit Fahren automatisierte Privatfahrzeugen und automatisierte Güterfahrzeugen auf allen Strassen, obwohl sie nur auf Strassen mit Freigabe für den automatisierten Betrieb automatisiert fahren. Diese Tabelle differenziert nicht ob ein automatisiertes Privatfahrzeug oder Güterfahrzeug automatisiert oder konventionell geführt wird, nur ob es einer der Typ „automatisiert“ ist.

I.2 Weitere Ergebnisse der Sensitivitäten

I.2.1 Sensitivität 1

***Tab. 143**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region SA, Sensitivität 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
Referenzszenario	2050	30.2	0.0	0.0	9.3	21.8	38.8	30.2	39.5
A (mit AT)	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
A (mit AT)	2050	13.5	15.4	9.8	9.3	16.8	35.2	38.7	48.0
B (mit AT)	2020	32.2	0.0	0.0	8.8	20.9	38.1	32.2	41.0
B (mit AT)	2050	3.8	12.3	16.9	9.3	18.8	39.0	33.0	42.3

***Tab. 144**: Differenz im Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region SA, mit automatisierten Taxis, Sensitivität 1 minus Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referenzszenario	2050	2.9	0.0	0.0	-3.4	0.7	2.9	2.9
A (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A (mit AT)	2050	1.9	0.2	0.0	-2.3	0.5	1.8	1.8
B (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B (mit AT)	2050	0.4	0.3	0.0	-2.5	0.9	1.8	1.8

***Tab. 145**: Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region LU, Sensitivität 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
Referenzszenario	2050	47.6	0.0	0.0	10.1	10.3	32.0	47.6	57.7
A (mit AT)	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
A (mit AT)	2050	29.5	15.4	7.6	10.1	8.0	29.4	52.5	62.6
B (mit AT)	2020	49.2	0.0	0.0	9.6	9.7	31.5	49.2	58.8
B (mit AT)	2050	8.2	12.1	19.5	10.0	12.6	37.5	39.9	49.9

***Tab. 146**: Differenz im Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region LU, mit automatisierten Taxis, Sensitivität 1 minus Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referenzszenario	2050	1.3	0.0	0.0	-1.6	0.3	1.3	1.3
A (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A (mit AT)	2050	0.8	0.3	0.0	-1.6	0.2	1.4	1.4
B (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B (mit AT)	2050	0.3	0.2	0.0	-2.2	0.5	1.8	1.8

***Tab. 147** Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region LG, Sensitivität 1, mit automatisierten Taxis*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	AT	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
Referenzszenario	2050	46.4	0.0	0.0	10.1	11.0	32.5	46.4	56.5
A (mit AT)	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
A (mit AT)	2050	28.6	15.3	6.0	10.1	8.9	31.1	50.0	60.0
B (mit AT)	2020	48.1	0.0	0.0	9.5	10.6	31.8	48.1	57.6
B (mit AT)	2050	7.9	12.0	14.7	10.1	14.4	40.8	34.7	44.8

***Tab. 148**: Differenz im Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmittel als % der gesamten Wege für die Region LG, mit automatisierten Taxis, Sensitivität 1 minus Phase 1*

Szenario	Jahr	MIV	A-MIV	Mitfahrer	ÖV	LV	gesMIV (exkl. Mitfahrer)	gesMIV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Grundzustand	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referenzszenario	2050	2.2	0.0	0.0	-1.9	-0.3	2.2	2.2
A (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A (mit AT)	2050	1.8	0.2	0.0	-1.9	-0.1	1.9	1.9
B (mit AT)	2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B (mit AT)	2050	0.5	0.3	0.0	-2.3	0.6	1.8	1.8

I.3 Hinweise zum Zugriff auf weitere Datensätze und das archivierte Modell

Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse schöpfen die möglichen Analysen der MATSim Modellergebnisse nicht aus. Aufgrund des disaggregierten Charakters des Modells sind detailliertere Analysen des Modal Split, der gewählten Routen, der Verteilung des automatisierten Fahrzeugbetriebs, der Soziodemografie, des Wettbewerbs zwischen den Verkehrsträgern und des Betriebs der Taxiflotte möglich, obwohl Zeitaufwendig. Die Rohergebnisse des Modells werden für solche möglichen weiteren Analysen archiviert. Falls der Leser solche Analysen durchführen möchte, wird ihm empfohlen, sich mit der Forschungsgruppe VPL am IVT der ETHZ in Verbindung zu setzen, um Zugang zu den Modellergebnissen zu erhalten.

Das MATSim Modell selbst wird ebenfalls am IVT archiviert, um eine mögliche zukünftige Verwendung des Modells zu ermöglichen und um wichtige Grundlagen für zukünftige Studien zur Prognosezuverlässigkeit und Modelleigenschaften zu schaffen.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AF	automatisiertes Fahrzeug, ein Personenwagen
Agent	eine synthetische Person im Verkehrsmodell MATSim
A-GV	automatisiertes schweres Güterfahrzeug bzw. automatisierter schwerer Güterverkehr ein Lastwagen/Lastzug/Sattelzug
A-MIV	automatisierter motorisierter Individualverkehr: nur die private AF
ASP	Abendspitze
AT	automatisiertes Taxi, ein Personenwagen
AT-L	Leerfahrten der automatisierten Taxis
Fzg oder Fhz	Fahrzeug
Fzg-km	Fahrzeugkilometer
gesGV	gesamter Güterverkehr: inklusiv GV und A-GV
gesMIV	gesamter motorisierter Individualverkehr: inklusiv MIV, A-MIV, AT, und Mitfahrer
GV	konventionelles schweres Güterfahrzeug bzw. konventioneller schwerer Güterverkehr ein Lastwagen/Lastzug/Sattelzug
HLS	Hochleistungsstrasse
LV	Langsamverkehr: Fussgänger- und Veloverkehr
MIV	motorisierter Individualverkehr: nur konventionelle Privatfahrzeuge (Personenwagen)
MSP	Morgenspitze
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
ÖV	öffentlicher Verkehr
PCU	Passenger Car Unit, auf Deutsch «Personenwageneinheit» (PWE)
Pkm	Personenkilometer
privates AF	privates automatisiertes Fahrzeug, ein Personenwagen
Weg	eine Ortsveränderung von einer Aktivität zur einer anderen Aktivität

Literaturverzeichnis

Balac, M., Hörl, S., & Axhausen, K. W. (2019). Fleet sizing for pooled automated vehicle fleets. *paper presented at the 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB), 2020.* Washington, D.C.

Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis ofautonomous mobility services. *Transport Policy*, 76 – 91.

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). (2016). *Verkehrsperspektiven 2040.* Von https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven.html abgerufen

Bundesamt für Statistik. (2012). *Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP).* Bundesamt für Statistik.

Bundesamt für Statistik. (2013). *Erhebung leichte Nutzfahrzeuge (LWE).* Erhebung. Von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/lwe.assetdetail.8681.html abgerufen

Bundesamt für Statistik. (2014). *Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT).*

Bundesamt für Statistik. (2014). *Grenzquerender Güterverkehr auf der Strasse (GQGV).* Von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/gqgv.assetdetail.7825.html abgerufen

Bundesamt für Statistik. (2015). *Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV).* Von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/mzmv.html. abgerufen

Bundesamt für Statistik. (2016). *Kantonale Bevölkerungsszenarien 2015-2045, Referenzszenario AR-00-2015 - Zukünftige Bevölkerungsentwicklung der Kantone nach Staatsangehörigkeit (Kategorie), Geschlecht, Alter und Jahr.* Abgerufen am May 2016 von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/zukuenftige-entwicklung/kantonale-szenarien.assetdetail.255402.html

Bundesamt für Statistik. (2017). *Gütertransporterhebung (GTE).* Von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/gte.html abgerufen

Bundesamt für Statistik. (2017). *Privathaushalte nach Kanton, Haushaltsgrösse und Referezszenario, 2017 und 2045.* Abgerufen am November 2017 von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.3882982.html

Bundesamt für Strassen. (2018). *STEP Faktenblätter 1, 3.* Berne: UVEK.

Busch, F., Krause, S., Fehn, F., Richner, M., Armbruster, S., & Winzer, T. (2019). *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 5: Mischverkehr.* Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Business office of Customer Information System Tasks (SBB CFF FFS). (17. 09 2018). *opendata.swiss*. Von https://opendata.swiss/en/dataset/fahrplanentwurf-2018-hrdf abgerufen

Del Duce, A., Trachsel, T., & Hoerler, R. (2019). *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 6: Räumliche Auswirkungen.* Bundesamt für Strassen (ASTRA). Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).

Dubernet, T. J. (2017). *Explicitly Correlating Agent's Daily Plans in a Multiagent Transport Simulation. Towards the Consideration of Social Relationships.* ETH Zurich. Zurich: ETH Zurich. doi:10.3929/ethz-b-000165685

Fellendorf, M. (2017). Automatisierung im Mischverkehr – verkehrswissenschaftliche Erkenntnisse, Überlegungen zur Leistungsfähigkeit. *ÖVG-Forum Automatisierung im Verkehr.* TU Graz.

Fléchon, C., Lohmiller, J., Sonnleitner, J., Sukennik, P., Dahl, A., & Friedrich, M. (2019). *AV-ready traffic flow simulation models and assignments.* CoEXist.

Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K., & Buhl, S. L. (2005). How (In)accurate are demand forecasts in public works projects?: The case of transportation. *Journal of the American Planning Association, 71*(2), S. 131-146. doi:https://doi.org/10.1080/01944360508976688

Friedrich, B. (2015). Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In Maurer et al. (Hrsg.), & T. Braunschweig (Hrsg.), *Autonomes Fahren.* Berlin: Springer.

Friedrich, M., Sonnleitner, J., & Richter, E. (2018). Integrating automated vehicles into macroscopic travel demand models. *mobil.TUM 2018, Urban Mobility – Shaping the Future Together.* International Scientific Conference on Mobility and Transport.

Harb, M., Xiao, Y., Circella, G., Mokhtarian, P. L., & Walker, J. L. (2018). Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: estimating travel behavior implications via naturalistic experiment. *Transportation, 45*(6), S. 1671-1685.

Hörl, S., & Molloy, J. (2019). A ticket-based public transport pricing model for Switzerland. *19th Swiss Transport Research Conference.* Ascona.

Hörl, S., Balac, M., & Axhausen, K. W. (2018). A first look at bridging discrete choice modeling and agent-based microsimulation in MATSim. *Procedia Computer Science. 130*, S. 900-907. Porto, Portugal: ABMTRANS.

Hörl, S., Balac, M., & Axhausen, K. W. (2019). Pairing discrete mode choice models and agent-based transport simulation with {MATSim}. *98th Annual Meeting of the Transportation Research Board.* Washington, D.C., USA.

Hörl, S., Becker, F., Dubernet, T., & Axhausen, K. W. (2019). *Induced demand by autonomous vehicles: An assessment.* Zurich: SVI.

Hörl, S., Becker, F., Dubernet, T., & Axhausen, K. W. (2019). *Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung.* Bern: Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI).

Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). *The multi-agent transport simulation MATSim.* London: Ubiquity Press.

Jermann, J., Steinle, M., Luisoni, A., Bohne, S., Schweizer, N., & Schmid, T. (2019). *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 4: Neue Angebotsformen.* Bundesamt für Strassen (ASTRA). Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).

Krause, S., Motamedidehkordi, N., Hoffmann, S., Busch, F., Hartmann, M., & Vortisch, P. (2017). Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur. *Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur*(296).

Levin, M., & Boyle, S. (2015). A multiclass cell transmission model for shared human and autonomous vehicle roads. *Transportation Research Part C*.

Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities? *Research in Transportation Economics*, 80-91. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2017.03.005

Müller, K. (2017). *A Generalized Approach to Population Synthesis.* SNF. Zurich: ETH Zurich.

Oehry, B., Jermann, D. J., Frick, R., Ickert, L., Greinus, A., Schippl, J., . . . Hömke, D. M. (2018). *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 1: Nutzungsszenarien und Auswirkungen.* Bundesamt für Strassen (ASTRA). Bundesamt für Strassen (ASTRA).

OpenStreetMap contributors. (7. 10 2018). *OpenStreetMap*. Abgerufen am 7. 10 2018 von https://www.geofabrik.de/de/data/download.html

Rieser, N., Tasnâdy, B., de Vries, N., Rothenfluh, M., Fischer, R., Friedrich, M., & Pestel, E. (2018). *Qualitätssicherung von Verkehrsmodellberechnungen.* Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI).

Ruch, C., Lu, C., Sieber, L., & Frazzoli, E. (2019). *Quantifying the benefits of ride sharing.*

Schnabel, W., & Lohse, D. (2011). *Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung.* Beuth/Kirschbaum.

Sieber, L. e. (2018). *Autonomous mobility-on-demand providing superior public transportation in rural areas.*

Swisstopo. (2020). Luftbilder der Schweiz.

Tchervenkov, C., Hörl, S., Balac, M., Dubernet, T., & Axhausen, K. W. (2020). An improved replanning strategy for congested traffic conditions in MATSim. In T. a. The 9th International Workshop on Agent-based Mobility (Hrsg.), *Procedia Computer Science.* Warsaw, Poland: ScienceDirect/Elsevier B.V.

VSS. (2018). *Schweizer Normen SN 640 018a, SN 640 022, SN 640 022, SN 640 023a, SN 640 024a, SN 640 838, .* Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute.

VVS. (2018). SN 640 018a, SN 640 022, SN 640 022, SN 640 023a, SN 640 024a, SN 640 838. *Schweizer Normen*. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute.

VVS. (2018). *SN 640 023a Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlagen.* VVS.

Wadud, Z., & Huda, F. (2019). Fully automated vehicles: the use of travel time and its association with intention to use. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*.

Wagner, P. (2015). Steuerung und Management in einem Verkehrssystem mit autonomen Fahrzeugen. In M. e. (Hrsg.), *Autonomes Fahren.* Berlin: Springer.

Weidmann, U., Wichser, J., Bruckmann, D., Frank, P., Fumasoli, T., Ruesch, M., . . . Wieczorek, T. (2014). *Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz.* SVI. Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Weis, C., & Axhausen, K. W. (2004). *Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs.* SVI.

Projektabschluss

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 30.07.2020/26.08.2020

Grunddaten

Projekt-Nr.:	ASTRA 2018/002
Projekttitel:	Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf
Enddatum:	30.09.2020

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Generell gilt, dass die kapazitätserhöhende Wirkung von automatisierten Fahrzeugen aus dem geringeren raumzeitlichen Platzbedarf bereits durch die Nachfrageeffekte (Verkehrsmittelverlagerungen, automatisierte Taxis) mindestens teilweise wieder kompensiert werden. Automatisierte Fahrzeuge haben damit zwar das Potenzial, die Engpässe zu entschärfen, aber nur in wenigen Fällen würden sie diese lösen. Zu berücksichtigen ist, dass Leerfahrten privater automatisierter Fahrzeuge, Veränderungen der Wohn- und Arbeitsstandorte sowie Zielwahländerungen infolge des automatisierten Fahrens nicht simuliert wurden und der Nachfrageeffekt damit unterschätzt wird.

Bei vielen Engpässen sind Veränderungen der Engpassstufen erst zu erwarten, wenn die Kapazitätswirkungen automatisierter Fahrzeuge höher ausfallen würden und die Durchdringung der Fahrzeugflotte mit automatisierten Fahrzeugen maximal ist. Aber selbst für das optimistischste Szenario, nämlich Szenario B in Sensitivitätsbetrachtung 5, mit 100% automatisierten Fahrzeugen und einem Kapazitätsgewinn von 50% je automatisiertem Fahrzeug sinken die leistungsrelevanten Verkehrsbelastungen (in PWE) aufgrund der Mehrnachfrage nur um ca. 10%, was maximal einer Reduktion um eine Engpassstufe bedeutet. Bei einem allgemeinen Bevölkerungswachstum und gegenüber heute ähnlichen Mobilitätsbedürfnissen wird dieser Effekt nach einigen Jahren wieder aufgesogen sein.

In allen Szenarien und Zuständen hat der ÖV einen bedeutenden Marktanteil und wird nicht durch die automatisierten Fahrzeuge verdrängt, obwohl die automatisierten Fahrzeuge den ÖV eine starke Konkurrenz bieten. Die angenommene Reduktion der ÖV-Preise führt zu einem Grossteil dazu, dass sich bereits im Referenzszenario 2050 der Modal Split der Wege in Richtung ÖV verlagert. Dieser Anstieg wird deutlich reduziert, wenn die ÖV-Preise unverändert blieben, verschwindet aber nicht ganz. Die Weitergabe möglicher Produktivitätsgewinne im ÖV mittels Preissenkungen an die Verkehrsnachfragenden erhöht die Wettbewerbsfähigkeit des ÖV somit deutlich.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass das Potenzial von Pooling eher gering ist. Generell kann festgehalten werden, dass das Punkt-zu-Punkt-Pooling vielversprechend ist, wenn Idealbedingungen angenommen werden. Unter Berücksichtigung der Nutzerpräferenzen ergeben sich aber kaum Anwendungsfälle. Dies schliesst nicht aus, dass ein komplexeres Pooling-System, bei welchem während der Fahrt neue Aufträge angenommen werden, ein höheres Potenzial ausweisen könnte.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel des Teilprojekt 2 war es, die möglichen positiven und negativen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das schweizerische Verkehrssystem, insbesondere dessen Strasseninfrastruktur, zu identifizieren und möglichst konkret zu quantifizieren. Damit soll den staatlichen Akteuren ermöglicht werden, den Handlungsbedarf zu identifizieren und entsprechende Lösungsansätze zu entwickeln. Mit den MATSim Simulationen und die Engpassanalyse ist dieser Zeil erreicht worden.

Folgerungen und Empfehlungen:

- Will der Bund die zunehmende Verkehrsnachfrage mit organisatorischen und nachfragesteuernden Instrumenten dämpfen, dann sind auch Massnahmen im Sinne eines Mobility Pricing im MIV und ÖV zu prüfen.
- Ungeachtet dessen sind unter der Prämisse, dass der Bund den Verkehrsfluss auf den Nationalstrassen aufrechterhalten will, die langfristigen Planungen zur Entwicklung des Nationalstrassenprozesses weiterhin notwendig.
- Der ÖV wird auch mit automatisierten Fahrzeugen benötigt. Die Politik sollte bestrebt sein, dass die Chancen der Automatisierung für den ÖV genutzt werden können.
- Automatisierte Fahrzeuge werden – auch mit einem drastischen Rückgang im Privatfahrzeugbesitz – sehr wahrscheinlich zu einer deutlichen Zunahme der Fahrleistung auf der Strasse führen, was für Umwelt, Anwohnerinnen und Anwohner sowie schwächere Verkehrsteilnehmende eher schädlich wäre. Deshalb wird es in Zukunft umso wichtiger sein, Massnahmen zu treffen, die den Umweltverbund stärken und den Privatfahrzeugbesitz unattraktiver machen. Da sich die Effekte des AF nach Regionen unterscheiden werden – besonders stark ist der Kontrast zwischen Stadt und Land – müssen Massnahmen regional angepasst werden.

Publikationen:

Forschungsbericht "Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf"

Es sind ein wissenschaftlicher Konferenzbeitrag und weitere Aufsätze geplant.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Axhausen Vorname: Prof. Dr. Kay W.

Amt, Firma, Institut: Professor, ETH Zürich, IVT

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Ziel der Forschungsarbeit war es, die verkehrlichen Auswirkungen relevanter Nutzungsszenarien aus dem Teilprojekt 1 (TP1) für das teil- und das vollautomatisierte Fahren im Zeitraum 2020 bis 2050 zu quantifizieren und die daraus resultierenden Folgen für den Bedarf an Verkehrsinfrastrukturen zu ermitteln. Die wesentlichen Erkenntnisse in Bezug auf die künftige Planung und Bereitstellung der Verkehrsinfrastrukturen waren in Handlungsempfehlungen zu formulieren. Die Ergebnisse des TP2 sollten im Rahmen eines iterativen Vorgehens als Input für eine Anpassung der zugrunde gelegten Nutzungsszenarien dienen und eine Grundlage für die Auswirkungsanalyse durch TP1 darstellen. Diese Ziele sind erreicht worden.

Umsetzung:

Der grundlegende Ansatz von TP2 war die agentenbasierte Simulation von verkehrlichen Szenarien für die verschiedenen Zeitpunkte auf Basis der Nutzungsszenarien. Die Auswertungen der Simulationen bezogen sich auf Veränderungen des Modalsplits, der Verkehrsnachfrage, Verkehrs- und Fahrleistungen sowie des Verkehrsaufkommens in drei definierten Perimetern sowie Variationen bestimmter Faktoren. Mittels den Angaben zur Auslastung verschiedener Netzelemente wurde abgeschätzt, wie sich Engpässe auf dem Nationalstrassennetz sowie an Knoten im Siedlungsraum in unterschiedlichen Szenarien verändern.

weitergehender Forschungsbedarf:

Potenzialbestimmung des Ride-Poolings sowie automatisierter Langstreckentaxis; Einsparungen generalisierter Reisekosten durch AF; Prognosezuverlässigkeit von Verkehrsmodellen; Perimeterbestimmung für AF-Taxi-Attraktivitätsgrenzen; Nachfrageentwicklung durch private AF-Leerfahrten sowie Standort- und Zielwahländerungen; Einbau von AF- Nachfrageeffekten in Modelle.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein Einfluss

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Wieland Vorname: Erwin

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Strassen ASTRA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.