



Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 1: Nutzungsszenarien und Auswirkungen

**Effets de la conduite automatisée ;
Projet partiel 1 : scénarios d'utilisation et impacts**

**Impacts of automated driving;
Sub-project 1: usage scenarios and impacts**

**Rapp Trans AG
Bernhard Oehry
Dr. Jörg Jermann
Simon Bohne**

**INFRAS
Roman Frick
Lutz Ickert
Anne Greinus**

**KIT ITAS
Jens Schippl
Torsten Fleischer
Max Reichenbach**

**Mobilitätsakademie AG
Dr. Maik Hömke**

**Forschungsprojekt ASTRA 2017/007 auf Antrag des Bundesamtes für
Strassen (ASTRA)**

August 2020

1681

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)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Bernhard Oehry

Mitglieder

Bernhard Oehry

Roman Frick

Simon Bohne

Dr. Jörg Jermann

Lutz Ickert

Jens Schippl

Dr. Maik Hömke

Begleitkommission

Präsident

Wieland Erwin, ASTRA

Mitglieder

Prof. Dr. Axhausen, Kay W., ETH Zürich

Dr. Arnd König, Amt für Verkehr, Kanton Zürich

René Neuenschwander, Ecoplan AG

Martina Mügglar, PostAuto, Mobilitätslösungen

Markus Liechti, Bundesamt für Verkehr

Annette Antz, SBB Netzentwicklung Zentrale

Dr. Dennis Gillet, EPFL Ecublens

Alexander Lehrmann, Sunrise Communications AG

Dr. Thomas Sauter-Servaes, ZHAW School of Engineering

Christian Egeler, Bundesamt für Raumentwicklung

Thierry Chanard, GEA valotton et chanard sa

Burkhard Horn, Mobilität & Verkehr – Strategie & Planung

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	11
	Summary	15
1	Ausgangslage und Fragestellung	19
1.1	Hintergrund.....	19
1.2	Ziele des Forschungsprojektes TP1	20
1.3	Abgrenzungen und Rahmenbedingungen	20
1.4	Vorgehensweise.....	22
2	Grundlagen	25
2.1	Allgemeines.....	25
2.2	Verkehrliche Wirkungen	25
2.3	Infrastrukturbedarf	29
2.4	Mischverkehr	30
2.5	Datenbedarf, Betrieb und Organisation	32
2.6	Räumliche Wirkungen	35
3	Nutzungsszenarien	37
3.1	Allgemeines und Wirkungsmodelle	37
3.2	Szenariobildung	39
3.3	Nutzungsszenarien	41
4	Übersicht Ergebnisse aus den Teilprojekten	47
4.1	TP2 Verkehrliche Auswirkungen und Bedarf an Infrastrukturen	47
4.2	TP3 Umgang mit Daten.....	51
4.3	TP4 Neue Angebotsformen.....	52
4.4	TP5 Mischverkehr	54
4.5	TP6 Räumliche Auswirkungen	57
4.6	Einordnung der Ergebnisse in den internationalen Kontext.....	58
5	Wirkungen und Zielszenario	63
5.1	Allgemeines und Vorgehen	63
5.2	Ziel- und Kriteriensystem	64
5.3	Wirkungsanalyse der Szenarien	66
5.4	Zielszenario 2050	70
6	Handlungsbedarf	79
6.1	Einleitung und Grundsätze zur Regulierung	79
6.2	Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems sicherstellen	80
6.3	Verkehrssicherheit erhöhen und Datenschutz sicherstellen	86
6.4	Neue Angebotsformen fördern und intermodal abstimmen	88
6.5	Finanzierung und Unterhalt der Infrastrukturen sicherstellen	89
7	Einordnung der Ergebnisse	91
	Literaturverzeichnis	93
	Projektabschluss	99
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	103

Zusammenfassung

Automatisiertes Fahren wird das Schweizer Verkehrssystem über die nächsten Jahrzehnte hinweg nachhaltig verändern. Die Entwicklung wird dabei stark durch die technologischen Fortschritte beeinflusst. Die damit verknüpften Herausforderungen erscheinen nach Aussagen der meisten Experten lösbar. Häufig findet sich jedoch kein Bezug zu der rechtlichen und infrastrukturellen Situation, zu konkreten Anwendungen oder den Rahmenbedingungen in der Schweiz. Das Forschungspaket «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» schliesst diese Lücken für fünf ausgewählte Bereiche: Infrastrukturbedarf, Datenbedarf, Angebotsformen, Mischverkehr und räumliche Wirkungen. Diese Sektoren werden in den fünf Teilprojekten TP 2 – 6 behandelt. Das vorliegende Teilprojekt 1 Nutzungsszenarien und Auswirkungen (TP1) stellt die formelle und materielle Klammer um die weiteren Teilprojekte dar. Die Bearbeitung des TP1 gliedert sich in zwei Phasen mit sequenziellen Arbeitsschritten (AS). Die erste Phase umfasst die AS 1 und 2 und bereitet die sektoralen Vertiefungen in den Teilprojekten 2 - 6 vor.

Im AS1 Grundlagen werden die aktuellen Grundlagen aus der Literatur und der internationalen Forschung zusammengetragen und die bisher verfolgten Ansätze sowie Wirkungsanalysen durchleuchtet und die offenen Fragen zuhanden der Teilprojekte formuliert.

Es zeigt sich, dass die Literatur zu möglichen Wirkungen unterschiedlicher Formen automatisierten Fahrens in den letzten Jahren stetig gewachsen ist. Die möglichen Potentiale sind gross, doch trotz der erkannten hohen Forschungsaktivität bestehen weiterhin auch grosse Unsicherheiten bezüglich der Wirkungen. Die Entwicklung der Verkehrsnachfrage und Fahrleistung ist das zentrale Thema in der Literatur. Bei den unterschiedlichen Betrachtungswinkeln lässt sich bislang jedoch kein Konsens zur Entwicklungsrichtung feststellen. Generell sind Aussagen zu den verkehrlichen Wirkungen mit einem sehr hohen Mass an Unsicherheit verbunden. Es wird Potential für kapazitätssteigernde Wirkungen von automatisierten Fahrzeugen (AF) gesehen, die aber in der Umsetzung vielfachen Einschränkungen gegenüberstehen. So ist beispielsweise das Thema Mischverkehr ein wesentlicher Grund, weshalb die Einführung des automatisierten Fahrens auf dem Gesamtnetz sehr komplex ist. Die Umsetzung in abgrenzbaren Bereichen ist zunächst einfacher. Mögliche Einsatzgebiete sind vorwiegend auch ein wichtiges Thema in der Zulassung von Fahrzeugen und ihren automatisierten Fahrfunktionen.

Generell wird deutlich, dass das Themenfeld Datenbedarf, Betrieb und Organisation in nur wenigen Studien thematisiert wird. Wobei die Vielfalt der Anspruchsgruppen und Stakeholder einen wesentlichen Einfluss auf die Komplexität der Thematik hat. Eine intensive Auseinandersetzung im Rahmen des Forschungspakets ist gerechtfertigt.

Die Diskussion der Raumwirkung durch die Einführung von AF findet meist unter dem Aspekt der Neubewertung der Reisezeiten statt. Es zeigt sich aber, dass die produktive Zeitnutzung während der Fahrt vielfach zu hoch eingeschätzt wird.

Im AS2 Nutzungsszenarien werden basierend auf den Erkenntnissen aus der Literatur – oder in bewusster Abgrenzung zu diesen – die Eck-Szenarien entwickelt. Diese fokussieren die Nutzungsszenarien auf die Variation der Angebots- und Nutzungsformen. Die zwei Szenarien decken die Spannweite zwischen individueller und kollektiver Mobilität ab. Sie fokussieren das automatisierte Fahren und betonen die Angebots- und Nutzungsformen als Szenario-Stellgrössen.

- Szenario A: Stark individuelle, vorwiegend monomodale Mobilität mit wenig differenzierten Angebots-/Organisationsformen. Das Szenario A setzt v.a. auf die Vorteile des AF aus Sicht des Individualverkehrs (resp. im GV aus Sicht eines Einzelanbieters): Kapazitäts- und Reise-/Transportzeitgewinne bei höchstmöglicher Flexibilität und individuellem Mehrnutzen der Fahrt.

- Szenario B: Kollektive (resp. im Güterverkehr - kooperative), vielfach multimodale Mobilität mit differenzierten Angebots-/Organisationsformen. Das Szenario B stellt das systemische Optimierungspotential der Technologie zur Vernetzung und Effizienzsteigerung in den Vordergrund.

Die Szenarien dienen den Teilprojekten als Grundlage zur Vertiefung. Während der sektoralen Bearbeitung begleitet das TP1 die Fortschritte hinsichtlich der Konsistenz der Inhalte.

Die zweite Bearbeitungsphase des TP1 mit den AS 3-5 schliesst die sektoralen Analysen ab und konsolidiert deren Erkenntnisse. Die Ergebnisse sind in den jeweiligen Schlussberichten der Teilprojekte TP2 – TP6 erläutert. Für das TP1 steht die Synthese der Wirkungen im Vordergrund, die in den Nutzungsszenarien und als allgemeine Folgen der Automatisierung identifiziert sind.

Im AS3 Wirkungsanalyse werden die zentralen Erkenntnisse mit Fokus auf Wirkungen in den zwei Nutzungsszenarien zusammengefasst. Dazu wird ein Zielsystem abgeleitet, das die Einordnung und Beurteilung der Wirkungen der zwei Nutzungsszenarien hinsichtlich «erwünschter» Wirkungen erlaubt.

Die anschliessende Wirkungsanalyse der Szenarien zeigt, dass Szenario B in der Bewertung der Ziele im Vergleich zum Referenzszenario positiver abschneidet. Die kollektive Nutzung der Potentiale, die die Automatisierung im Mobilitätsbereich generieren kann, führt zu wünschbaren Ergebnissen in der Vielzahl der Kriterien des Zielsystems. Diese Erkenntnis führt zu einer stärkeren Berücksichtigung der Ausgestaltung des Szenario B für die Merkmale im Zielszenario.

Im AS4 wird das Zielszenario abgeleitet, das die wichtigsten Erkenntnisse der sektoralen Vertiefungen berücksichtigt. Das Zielszenario stellt keinen quantitativ anzustrebenden Zustand dar, der die Nutzungs- und Angebotsformen und deren modale Verteilung schweizweit festlegt und modelliert. Vielmehr geht es darum, die möglichen Wirkungen verschiedener Nutzungs- und Angebotsformen des automatisierten Fahrens an den Zielen der Schweizer Verkehrs- und Raumpolitik zu spiegeln. Es legt dar welche Nutzungs- und Angebotsformen des AF die meisten «erwünschten» Wirkungen erzielen und welche Rahmenbedingungen dazu besonders förderlich sind. In diesem Sinne beschreibt das Zielszenario einzelne Merkmale, woran sich das zukünftige Regulativ orientieren kann. Wichtige Eckpfeiler des Zielszenarios sind:

- Die Mehrheit der Neufahrzeuge sind technologisch dafür ausgelegt auf allen Strassentypen mit dem AF-Level 4 oder 5 verkehren zu können. Es sind rund 60% der Fahrzeuge automatisiert unterwegs, daher bestehen in allen Räumen noch Mischverkehre.
- Neue kollektive Verkehrsformen sind verstärkt im Einsatz. Es sind sowohl öffentliche Anbieter als auch private Anbieter am Markt vertreten. Die Nutzung automatisierter Fahrzeuge erfolgt weniger als Substitut des ÖV, sondern insbesondere in Ergänzung auf der ersten und letzten Meile.
- Die automatisierten, kollektiven Verkehrsangebote ermöglichen Personen den Zugang zu einem breiten Mobilitätsangebot, die bisher nur mit dem eigenen Fahrzeug verkehrten. Die Differenzierung zwischen Privatverkehr, ÖV sowie kollektivem Verkehr verschwindet in der öffentlichen Wahrnehmung zunehmend und der politische Wille zu einer ganzheitlichen Förderung des Verkehrssystems nimmt zu. Das Tor zur kollektiven und multimodalen Mobilität wird durch Mobility-as-a-Service-Dienstleister bereitgestellt.
- Damit das Verkehrssystem effizient und sicher funktioniert, sind alle Verkehrsräume und Netzbereiche in verschiedene Verkehrsbereiche unterteilt und für die Erteilung von Betriebsbedingungen klassifiziert. Der Verkehr orientiert sich dabei an den Anforderungen durch den Mischverkehr, auch mit dem Langsamverkehr, und ist auf ein sicheres Gesamtsystem ausgerichtet.
- Ein Preissystem ist für alle Verkehrsangebote, mit Ausnahme des Langsamverkehrs, umgesetzt. Das Preissystem ermittelt die Preise zur Infrastrukturnutzung unter Berücksichtigung des Fahrzeugtyps, der Angebotsform, der Fahrleistung, der potentiellen und

tatsächlichen Fahrzeugbesetzung und der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Verkehrs.

Im abschliessenden AS5 Handlungsbedarf wird aus den Herausforderungen, die im Zielszenario identifiziert wurden, der Handlungsbedarf der Politik und des Regulators analysiert. Das Aufgreifen dieser Herausforderungen und deren Vertiefung in der Synthese des Handlungsbedarfs ist das Kernergebnis der Arbeiten im TP1. Der Handlungsbedarf ist in vier Bereiche gegliedert, die unabhängig voneinander aus den Erkenntnissen der Teilprojekte hergeleitet wurden:

1. Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems sicherstellen
2. Verkehrssicherheit erhöhen und Datenschutz sicherstellen
3. Neue Angebotsformen fördern und intermodal abstimmen
4. Finanzierung und Unterhalt der Infrastrukturen sicherstellen

Wichtige Gemeinsamkeiten der Herausforderungen und Handlungsbedürfnisse lassen sich aus der Forschungsperspektive heraus wie folgt zusammenfassen:

- Eine Umsetzung des AF wird durch die Forschungsergebnisse nicht in Frage gestellt. Zudem kann dem Verkehr mit individuell nutzbaren AF eine hohe Attraktivität attestiert werden. Daher sollte weniger die staatliche Förderung der AF im Vordergrund stehen, sondern die Gestaltung der Rahmenbedingungen, die eine möglichst verträgliche Einführung und Verbreitung von AF ermöglichen und negativen Folgen durch AF vorbeugen. Kern dieser Aufgabe sollte es sein, die kollektiven Nutzungen der AF so attraktiv wie möglich zu gestalten. Dazu sind die heutigen ÖV-Regulierungen anzupassen.
- Vordergründig sollte bei der Umsetzung von Massnahmen der Zustand des Mischverkehrs und die heterogenen Anforderungen der verschiedenen Verkehrsteilnehmer, u.a. auch des Langsamverkehrs, berücksichtigt werden.
- Zentrale Bedeutung kommt der Flächenverwendung und dem Umgang mit der begrenzten Infrastruktur, insbesondere in dichten Räumen, zu. Die Trennung von Infrastrukturen ist wünschenswert. Wo diese nicht baulich möglich ist, muss die Verkehrssicherheit und die Leistungsfähigkeit des Strassennetzes mit geeigneten Massnahmen sichergestellt werden. Übergeordnete Ziele sind dabei in geeigneter Weise zu priorisieren.
- Ziel des Bundes sollte die Förderung von möglichst ganzheitlichen Konzepten für Räume und die abgestimmte Umsetzung der Massnahmen auf kantonaler und städtischer Ebene sein. Die Umsetzbarkeit ist nicht durch die theoretische Forschung bewertbar, da die Entwicklungen der AF und die geeignete Gestaltung von Rahmenbedingungen komplexe Systeme mit Rückkopplungen auf verschiedensten Ebenen darstellen. Eine wichtige Voraussetzung zur Vorbereitung der Umsetzung stellen systematische und grossräumige Pilotierungen dar.

Der Handlungsbedarf zeigt die dringlichsten Handlungsfelder und -ansätze auf, um die Gestaltung der Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Entwicklung in eine gesellschaftsverträgliche Richtung zu lenken. Die Berücksichtigung der Ansätze führt nicht zwingend zum Zustand des Zielszenarios, kann aber die Realisierung der wünschbaren Nutzungen unterstützen. Hierbei liegt ein stärkeres Gewicht auf Handlungsansätzen die zeitnah vorzubereiten sind. Dies erzeugt einen stärkeren Handlungsdruck in der Gegenwart und vermindert eine Konkretisierung von Massnahmen für spätere Zeiträume. Dies geschah unter der Prämisse, dass die Unsicherheit der Entwicklungen des automatisierten Fahrens hoch sind und massgeblich von externen Einflüssen mitbestimmt werden. Insbesondere die Fahrzeugentwicklung, als auch die internationale Standardisierung unterliegen nur einem geringen direkten Einfluss durch den Schweizer Markt oder Schweizer Politik.

Die Ergebnisse des TP1 sollen somit als Grundlage dienen, um die wichtigsten Herausforderungen in den Themenbereichen, welche das Forschungspaket vertieft untersuchte, zeitnah anzugehen.

Résumé

La conduite automatisée (CA) va changer le système de transport suisse au cours des prochaines décennies. L'évolution sera fortement influencée par les progrès technologiques. Selon la plupart des experts, les défis associés semblent pouvoir être résolus. Souvent, cependant, il n'y a aucune référence à la situation juridique et infrastructurelle, aux applications concrètes ou aux conditions générales en Suisse. Le programme de recherche "Effets de la conduite automatisée" comble ces lacunes pour cinq secteurs sélectionnés : Besoins en infrastructures, besoins de données, formes de prestation, trafic mixte et effets spatiaux. Ces secteurs seront abordés dans les cinq projets partiel 2 à 6. Le présent projet partiel 1 « Scénarios d'utilisation et impacts » (TP1) représente la base formelle et matérielle pour les autres projets partiel. Le traitement de TP1 est divisé en deux phases avec des étapes de travail séquentielles (AS). La première phase comprend les AS 1 et 2 et prépare la consolidation sectorielle dans les projets partiel 2 à 6.

Dans la phase AS1 « Bases » rassemblent les bases actuelles de la littérature et de la recherche internationale, examinent les approches suivies jusqu'à présent et les analyses d'impact, et formulent les questions ouvertes pour les projets partiel.

Il est évident que la littérature sur les effets possibles des différentes formes de conduite automatisée n'a cessé de croître ces dernières années. Les potentiels possibles sont importants, mais malgré le niveau élevé des activités de recherche qui ont été identifiées, il existe encore une grande incertitude quant aux effets. L'évolution de la demande de transport et de la prestation kilométrique est le sujet central de la littérature. Toutefois, étant donné les différentes perspectives, aucun consensus sur la direction du développement ne peut être identifié jusqu'à présent. En général, les affirmations sur les effets des transports sont associées à un très haut degré d'incertitude. Les effets potentiels de la CA sur l'augmentation des capacités sont visibles, mais sa mise en œuvre présente de nombreuses limites. Par exemple, la question du trafic mixte est une raison majeure pour laquelle l'introduction de la conduite automatisée sur l'ensemble du réseau est très complexe. La mise en œuvre dans des zones délimitées est initialement plus facile. Les domaines où la CA est autorisée sont aussi une question importante dans l'homologation des véhicules et de leurs fonctions de conduite automatisée.

En général, il est clair que le domaine des exigences en matière de données, du fonctionnement et de l'organisation n'est abordé que dans peu d'études. Toutefois, la diversité des parties prenantes et des groupes d'intérêt a une influence significative sur la complexité du sujet. Un examen intensif dans le cadre du paquet de recherche est justifié.

La discussion sur l'impact spatial de l'introduction de la CA se déroule généralement sous l'aspect d'une réévaluation des temps de parcours. Pourtant, il se révèle que l'utilisation productive du temps pendant le voyage est souvent surestimée.

Dans les scénarios d'utilisation de l'AS2, les scénarios extrêmes sont élaborés sur la base des conclusions de la littérature - ou en les différenciant délibérément de celle-ci. Les scénarios d'utilisation sont axés sur la variation de l'offre et des formes d'utilisation. Les deux scénarios couvrent la gamme entre la mobilité individuelle et collective. Ils se concentrent sur la conduite automatisée et mettent l'accent sur les formes d'offre et d'utilisation comme paramètres de scénario.

- Scénario A : mobilité fortement individuelle, essentiellement monomodale, avec peu de formes différenciées d'offre/organisation. Le scénario A se concentre principalement sur les avantages de la CA du point de vue du transport individuel (ou, dans le cas du transport général, du point de vue d'un seul fournisseur) : gains de capacité et de temps de voyage/transport avec la plus grande flexibilité possible et valeur ajoutée individuelle du voyage ;

- Scénario B : mobilité collective (ou, dans le cas du trafic marchandise, coopérative), multimodale, avec des formes d'offre/organisation différenciées. Le scénario B se concentre sur le potentiel d'optimisation systémique de la technologie pour la mise en réseau et l'augmentation de l'efficacité.

Les scénarios servent de base aux projets partiel pour approfondir leur travail. Lors des travaux sectoriels, le TP1 accompagne les progrès en matière de cohérence des contenus. La deuxième phase de traitement du TP1 avec l'AS 3-5 conclut les analyses sectorielles et consolide leurs résultats. Les résultats sont expliqués dans les rapports finaux respectifs des projets partiel TP2 - TP6. Pour le TP1, l'accent est mis sur la synthèse des effets identifiés dans les scénarios d'utilisation et comme conséquences générales de l'automatisation.

Dans le AS3 « analyse d'impact », les principales conclusions sont résumées en mettant l'accent sur les effets dans les deux scénarios d'utilisation. À cette fin, un système d'objectifs qui permet de classer et d'évaluer les effets des deux scénarios d'utilisation en fonction des effets "souhaités" est élaboré.

L'analyse d'impact des scénarios montre que le scénario B obtient des résultats plus positifs dans l'évaluation des objectifs par rapport au scénario de référence. L'utilisation collective des potentiels que l'automatisation peut générer dans le secteur de la mobilité conduit à des résultats désirables dans la multitude de critères du système d'objectifs. Cet aspect conduit à une meilleure prise en compte de la conception du scénario B pour les caractéristiques du scénario cible.

Dans l'AS4, le scénario cible qui prend en compte les principaux résultats de l'approfondissement sectoriel est élaboré. Le scénario cible ne représente pas une situation quantitativement souhaitable qui définit et modélise les formes d'utilisation et de fourniture et leur répartition modale dans toute la Suisse. Il s'agit plutôt de refléter les effets possibles des différentes formes d'utilisation et de fourniture de la conduite automatisée sur les objectifs de la politique suisse des transports et de l'aménagement du territoire. Il indique quelles formes d'utilisation et d'offre de CA produisent les effets les plus "souhaités" et quelles conditions cadres sont particulièrement propices à cet effet. En ce sens, le scénario cible décrit des caractéristiques individuelles qui peuvent servir de base à une future réglementation. Les piliers du scénario cible sont les suivantes :

- La majorité des nouveaux véhicules sont technologiquement conçus pour fonctionner sur tous les types de route avec un niveau de CA 4 ou 5. Environ 60 % des véhicules sont automatisés, de sorte que le trafic reste mixte dans tous les domaines ;
- De nouvelles formes de transport public sont de plus en plus utilisées. Les opérateurs publics et privés sont représentés sur le marché. L'utilisation de véhicules automatisés est moins un substitut au transport public, mais plutôt un complément à celui-ci, en particulier sur le premier et le dernier kilomètre ;
- Les services de transport public automatisés permettent d'accéder à un large éventail de services de mobilité aux personnes, qui circulaient avec leur propre véhicule jusqu'à présent. La différenciation entre le transport privé et le transport public disparaît de plus en plus dans la perception du public et la volonté politique de promouvoir le système de transport dans son ensemble s'accroît. La passerelle vers la mobilité collective et multimodale est fournie par plusieurs fournisseurs de services de mobilité (Mobility-as-a-Service, MaaS) ;
- Afin de garantir le fonctionnement efficace et sûr du système de transport, toutes les zones de circulation et les zones de réseau sont divisées en différents secteurs de circulation et classées pour l'attribution de conditions d'exploitation. Le trafic est basé sur les exigences du trafic mixte, y compris la mobilité douce, et est conçu pour fournir un système global sûr ;
- Un système de tarification a été mis en place pour tous les services de transport, à l'exception du trafic non motorisé. Le système de tarification détermine les prix d'utilisation des infrastructures, en tenant compte du type de véhicule, du type de service, du

kilométrage, de l'occupation potentielle et réelle des véhicules et de la répartition temporelle et spatiale du trafic.

Comme conclusion, dans le AS5 « besoin d'intervention », la nécessité d'intervention de politique et régulateurs est analysée à partir des défis identifiés dans le scénario cible. Le résultat principal des travaux du TP1 est la prise en charge de ces défis et leur approfondissement dans la synthèse du besoin d'intervention. Le besoin d'intervention est divisé en quatre domaines, qui ont été indépendamment dérivés des résultats des projets partiel :

1. assurer la fonctionnalité du système de transport
2. accroître la sécurité du trafic et assurer la protection des données
3. promouvoir de nouvelles formes d'offre et les coordonner de manière intermodale
4. assurer le financement et l'entretien des infrastructures

Les points communs importants des défis et des besoins d'intervention peuvent être résumés comme suit du point de vue de la recherche :

- Une mise en œuvre de la CA n'est pas remise en cause par les résultats de la recherche. De plus, le trafic avec de la CA utilisables individuellement peut être attesté d'un grand attrait. C'est pourquoi l'accent doit être mis moins sur le soutien de l'État à la CA que sur la conception de conditions cadres permettant l'introduction et la distribution de la CA de la manière la plus compatible possible et la prévention des conséquences négatives de la CA. L'essentiel de cette tâche devrait consister à rendre l'utilisation collective de la CA aussi attrayante que possible. À cette fin, la réglementation actuelle des transports publics doit être adaptée ;
- Lors de la mise en œuvre des mesures, il convient de tenir compte de l'état du trafic mixte et des exigences hétérogènes des différents usagers de la route, y compris de la mobilité douce ;
- Une importance centrale est accordée à l'utilisation de l'espace et à la gestion d'infrastructures limitées, en particulier dans les zones denses. La séparation des infrastructures est souhaitable. Lorsque cela n'est pas structurellement possible, la sécurité du trafic et l'efficacité du réseau routier doivent être assurées par des mesures appropriées. Les objectifs majeurs doivent être hiérarchisés de manière appropriée ;
- L'objectif de la Confédération doit être de promouvoir des concepts d'espaces aussi globaux que possible et de mettre en œuvre les mesures de manière coordonnée au niveau cantonal et communal. La faisabilité de la mise en œuvre ne peut pas être évaluée par des recherches théoriques, car les développements de la CA et la conception appropriée des conditions cadres représentent des systèmes complexes avec un retour à différents niveaux. Des pilotes systématiques et à grande échelle sont une condition importante pour préparer la mise en œuvre.

Le besoin d'intervention identifie les domaines d'action et les approches les plus urgents afin d'orienter la mise en place des conditions-cadres dans une direction socialement acceptable sur fond d'un développement progressif. La prise en compte des approches ne conduit pas nécessairement à l'état du scénario cible, mais peut soutenir la réalisation des utilisations souhaitées. Dans ce contexte, l'accent est davantage mis sur les approches qui doivent être préparées en temps utile. Cela crée une pression plus forte pour agir dans le présent et réduit la nécessité de concrétiser des mesures dans le futur. Cela a été fait en partant du principe que l'incertitude des développements en matière de conduite automatisée est élevée et est largement déterminée par des influences extérieures. En particulier, le développement des véhicules et la standardisation internationale ne sont soumis qu'à une influence directe mineure du marché suisse ou de la politique suisse.

Les résultats du TP1 devraient donc servir de base pour relever en temps utiles défis les plus importants dans les domaines que le paquet de recherche a étudiés en profondeur.

Summary

Automated driving will change the Swiss transport system over the coming decades. The development will be strongly influenced by technological advances. According to most experts, the associated challenges appear to be solvable. Often, however, there is no reference to the legal and infrastructural situation, to concrete applications or the general conditions in Switzerland. The research package "Effects of Automated Driving" closes these gaps for five selected sectors: Infrastructure requirements, data requirements, transport offers, mixed traffic and spatial effects. These sectors will be addressed in the five subprojects SP 2 - 6. The present subproject 1 Usage Scenarios and Impacts (SP1) represents the formal and material bracket around the other subprojects. The processing of TP1 is divided into two phases with sequential work steps (WS). The first phase comprises the WS 1 and 2 and prepares the sectoral consolidation in the subprojects 2 - 6.

WS1 Fundamentals brings together the current findings from the literature and international research, examines the approaches pursued to date, and formulates open questions for the attention of the subprojects.

It is apparent that the literature on the possible effects of different forms of automated driving has grown steadily in recent years. The potentials are vast, but despite the high level of research activity that has been identified, there is still a great deal of uncertainty regarding the effects. The development of transport demand and mileage is the central topic in the literature. However, given the different perspectives, no consensus on the direction of development can be identified so far. In general, statements on transport effects are associated with a very high degree of uncertainty. The potential for capacity-increasing effects of automated vehicles (AV) is seen, but there are many limitations in its implementation. For example, the issue of mixed traffic is a major reason why the introduction of automated driving on the overall network is very complex. The implementation in delimited areas is initially easier. Possible areas of application are mainly also an important issue in the approval of vehicles and their automated driving functions.

In general, it is clear that the subject area of data requirements, operation and organisation is addressed in only a few studies. The diversity of stakeholders and interest groups has a significant influence on the complexity of the topic. An intensive examination within the research package is justified.

The discussion of the spatial impact of the introduction of AV usually takes place under the aspect of reassessment of travel times. However, it turns out that the productive use of time during the journey is often overestimated.

In the WS2 usage scenarios, the key scenarios are developed based on the findings from the literature - or in deliberate differentiation from them. These highlight the variation of the offer and usage forms. The two scenarios cover the range between individual and collective mobility. They focus on automated driving and emphasise the transport offers and use as scenario parameters.

- Scenario A: Strongly individual, predominantly monomodal mobility with few differentiated forms of offer/organization. Scenario A focuses on the advantages of AV from the point of view of individual transport (or, in the case of the general public transport system, from the point of view of a single provider): gains in capacity and travel/transport time with maximum flexibility and individual added value of the journey.
- Scenario B: Collective (or for freight transport - cooperative), often multimodal mobility with differentiated forms of offer/organization. Scenario B focuses on the systemic optimisation potential of the technology for networking and increasing efficiency.

The scenarios serve as a basis for the subprojects subsequent work. During the sectoral work, SP1 accompanies the progress regarding the consistency of the contents.

The second phase of SP1 with the WS 3-5 concludes the sectoral analyses and consolidates their findings. The results are explained in the respective final reports of the subprojects SP2 - SP6. For SP1, the focus is on the synthesis of the effects identified in the usage scenarios and as general consequences of automated driving.

In the WS3 impact analysis, the central findings are summarized with a focus on effects in the two usage scenarios. For this purpose, a target system is derived that allows the classification and assessment of the effects of the two usage scenarios with regard to "desired" effects.

The subsequent impact analysis of the scenarios shows that scenario B scores more positively in the assessment of the objectives compared to the reference scenario. The collective use of the potentials that automation can generate in the mobility sector leads to desirable results in the multitude of criteria of the target system. This insight leads to a stronger consideration of the design of scenario B for the characteristics in the target scenario.

In WS4, the target scenario is derived that takes into account the most important findings of the sectoral subprojects. The target scenario does not represent a quantitatively desirable state defining supply and demand and their modal distribution throughout Switzerland. Rather, the aim is to reflect the possible effects of various forms of transport use and automated driving in context of the objectives of Swiss transport and spatial policy. It sets out which forms of offer and other provisions for AV achieve the most "desired" effects and which framework conditions are particularly conducive to this. In this sense, the target scenario describes individual characteristics that can be used as a basis for future regulations. Important cornerstones of the target scenario are

- The majority of new vehicles are technologically designed to operate on all road types with AV level 4 or 5. About 60% of the vehicles are automated, so there is still mixed traffic in all areas.
- New collective forms of transport are increasingly being used. Both public and private operators are represented on the market. The use of AV is less a substitute for public transport, but rather a complement to it, especially on the first and last mile.
- The automated, collective transport services enable people to access a wide range of mobility services, which until now have only been available via owned vehicles. The differentiation between private transport and public transport and collective transport is increasingly disappearing in public perception and the political will to promote the transport system as a whole is growing. The gateway to collective and multimodal mobility is provided by several Mobility-as-a-Service (MaaS) providers.
- To ensure that the traffic system functions efficiently and safely, all traffic areas and network areas are divided into different traffic zones and classified for the purpose of issuing operating conditions. The traffic is based on the requirements of mixed traffic, including slow-moving traffic, and is geared towards a safe overall system.
- A pricing system has been implemented for all transport services, with the exception of non-motorized traffic. The pricing system determines the prices for infrastructure use, taking into account the type of vehicle, the type of service, the mileage, the potential and actual vehicle occupation and the temporal and spatial distribution of traffic.

In the concluding WS5 Need for action, the need for action by policymakers and regulators is analysed from the challenges identified in the target scenario. The core result of the work in SP1 is the synthesis of the need for action. It is divided into four areas, which are independently derived from the findings of the subprojects:

1. Ensure the functioning of the transport system
2. Increase traffic safety and ensure data protection
3. Promoting new forms of transport offers and coordinating them intermodally
4. Ensure financing and maintenance of infrastructure

Important commonalities of the challenges and needs for action can be summarized from a research perspective as follows:

- An implementation of AV is not questioned by the research results. Furthermore, the traffic with individually usable AV can be attested a high attractiveness. For this reason, the focus should be less on state support for AV and more on the design of the framework conditions that enable the introduction and distribution of AV in a way that is as compatible as possible with desired scenarios and prevent negative consequences of AV. The core of this task should be to make the collective use of AV as attractive as possible. To this end, the current public transport regulations must be adapted.
- In the first instance, the implementation of measures should take into account the state of mixed traffic and the heterogeneous requirements of the various road users, including slow-moving traffic.
- Central importance is attached to the use of land and the handling of limited infrastructure, especially in dense areas. The separation of infrastructures is desirable. Where this is not structurally possible, traffic safety and the efficiency of the road network must be ensured by appropriate measures.
- The Confederation's objective should be to promote concepts for spaces that are as holistic as possible and to implement the measures in a coordinated manner at cantonal and municipal level. The feasibility of implementation cannot be assessed by theoretical research, since the developments of AV and the appropriate design of framework conditions represent complex systems with feedback at various levels. Systematic and large-scale pilots are an important prerequisite for preparing the implementation.

The need for action identifies the most urgent fields of action and approaches in order to steer the shaping of the framework conditions in a socially acceptable direction against the background of progressive development. Consideration of the approaches does not necessarily lead to the state of the target scenario, but can support the realisation of the desired uses. In this context, a stronger emphasis is placed on approaches that have to be prepared in a timely manner. This creates a stronger pressure to act in the present and reduces the need to concretise measures for later periods. This was done under the premise that the uncertainty of developments in automated driving is high and is largely determined by external influences. In particular, vehicle development and international standardisation are only subject to minor direct influence by the Swiss market or Swiss politics.

The results of SP1 thus serves as a basis for a timely approach to the most important challenges in the subject areas that the research package has examined in depth.

1 Ausgangslage und Fragestellung

1.1 Hintergrund

Die rasante technologische Entwicklung der Transportmittel, das Entstehen neuer Geschäftsmodelle und neue gesellschaftliche Werthaltungen lassen für die mittelfristige Zukunft eine starke Veränderung der Mobilität wahrscheinlich werden. In diesem Zusammenhang nimmt die automatisierte und vernetzte Fortbewegung mit selbstfahrenden Automobilen eine besonders bedeutsame Position ein. Diese Fahrzeuge besitzen das Potential den gesamten Verkehr und die von ihm beeinflussten Lebensbereiche grundlegend zu verändern.

Der Schweizerische Bundesrat hat dies erkannt und mit seinem Bericht „Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen“ Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 «Auto-Mobilität»¹ Ende 2016 eine Auslegeordnung vorgelegt.

Da die Wirkungen solcher künftigen automatisierten Fahrten noch weitgehend unbekannt sind, hatte das Bundesamt für Strassen (ASTRA) im Jahr 2015 einen Auftrag erteilt, den Forschungs- und Handlungsbedarf für die schweizerischen Verhältnisse abzuklären. Mit dem 2017 vorgelegten Ergebnisbericht² wurde u.a. das Forschungspaket „Auswirkungen des automatisierten Fahrens“ zur Umsetzung vorgeschlagen. Dieses wurde Ende 2017 begonnen und soll bis ca. Mitte 2021 abgeschlossen werden.

Das Forschungspaket beabsichtigt, diejenigen Aspekte zu klären, die kurz-, mittel- und langfristig wesentlichen Einfluss auf die Anforderungen an Strassen und strassenseitige Infrastruktur haben werden. Zugleich sollen aber auch grundlegende Fragen geklärt werden, die sich für die Schweiz durch den Einsatz hoch- und vollautomatisierter Fahrzeuge und ihre Wirkungen ergeben können. Damit soll der öffentlichen Hand und anderen Betroffenen die Möglichkeit eröffnet werden, sich entsprechend auf neue Herausforderungen vorzubereiten.

Das Forschungspaket besteht aus den sieben Teilprojekten Gesamtprojektleitung, Nutzungsszenarien und Auswirkungen, verkehrliche Auswirkungen und Bedarf an Infrastrukturen, Umgang mit Daten, neue Angebotsformen, Mischverkehr sowie räumliche Auswirkungen.

¹ <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/46685.pdf>

² Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. Rapp Trans AG, Forschungsprojekt ASTRA 2015/004. Juni 2017. Abrufbar unter <http://www.mobilityplatform.ch/de/webviewer/download/24328/dlHash/f9934b120674f2e6a2d2472b7f331e98d268e8b2/?tu=0>

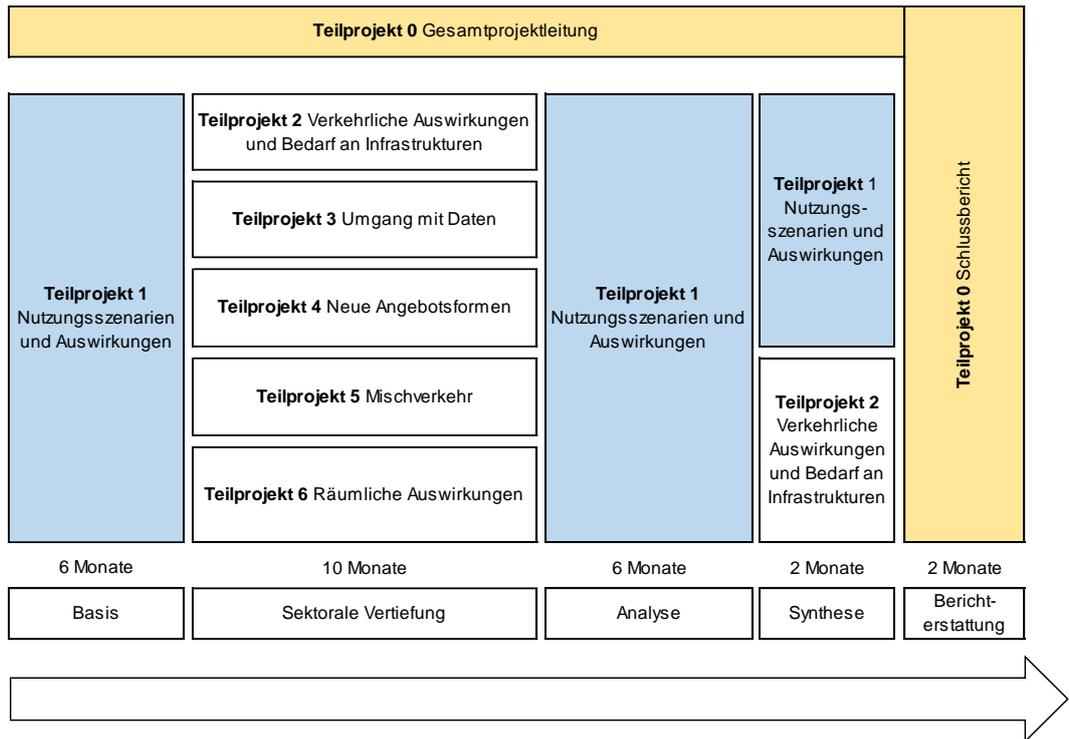


Abb.1 Organisation Teilprojekte Forschungspaket Automatisiertes Fahren

1.2 Ziele des Forschungsprojektes TP1

Ziel der Forschungsarbeit TP1 ist es, mögliche Nutzungen und Szenarien automatisierter und vernetzter Strassenfahrzeuge für den Transport von Personen und Gütern für den Zeitraum 2020 bis 2050 aufzuzeigen und in einem iterativen Prozess sowie unter Einbezug der Ergebnisse aus den sektoralen Vertiefungen aus den Teilprojekten 2 bis 6 schrittweise zu konkretisieren und zu werten. Im Ergebnis sollen die wahrscheinlichen und die anzustrebenden Nutzungen bezeichnet und zu einem Zielszenario zusammengefügt werden. Die relevanten Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die Verkehrsnachfrage, den Bedarf an Verkehrsinfrastrukturen, die Organisation in Mischverkehrssituationen, den Umgang mit Daten sowie die Raumordnung sollen anhand von quantitativen und qualitativen Ansätzen abgeschätzt und gewertet werden.

Ein besonderes Gewicht wird auf Ergebnisse für die Zeitschnitte 2020 bis 2050 gelegt, wobei die nächstliegenden Zeitschnitte von besonderem Interesse sind. Daraus sollen sich zeitnahe Handlungsempfehlungen für den Infrastrukturbetreiber sowie für den Regulator ableiten lassen.

Teilprojekt 1 besitzt inhaltlich und terminlich zentrale Bedeutung für das Forschungspaket. Es liefert mit seinen Abklärungen der Nutzung automatisierter Personen- und Güterfahrzeuge sowie mit der Formulierung von Nutzungsszenarien die Bezugsbasis für die sektoralen Vertiefungen anderer Teilprojekte und beschreibt im Rahmen der Synthesephase z.Hd. der GPL die relevanten Auswirkungen, definiert ein Zielszenario und leitet Handlungsempfehlungen zur Erreichung desselben ab.

1.3 Abgrenzungen und Rahmenbedingungen

Zur Fragestellung der möglichen Auswirkungen automatisierten Fahrens wurde in bisherigen Forschungsarbeiten eine Vielzahl an Szenarienbildern geschaffen. Diese sind aber

meist normativ begründet und geben mögliche Zukunftszustände regulativer oder gesellschaftlicher Wunschbilder wieder, hingegen steht kaum je die Nutzung durch Kunden im Fokus.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Szenarien explizit aus Sicht der Nutzer formuliert werden. Entsprechend wird für diese Szenarien auch der Begriff der „Nutzungsszenarien“ verwendet. Damit liegt der Fokus auf dem Wechselspiel zwischen (kommerziellem) Angebot und (individueller) Nachfrage. Die kommerziellen Angebote ihrerseits fassen auf den technologischen Möglichkeiten und darauf basierenden Geschäftsmodellen.

Im Rahmen des parallel laufenden Forschungspakets ‚SVI Verkehr der Zukunft‘ werden die technologischen Möglichkeiten und zukünftige Geschäftsmodelle als eigenständige Teilprojekte untersucht. Die vorliegende Forschungsarbeit setzt auf den Erkenntnissen dieser Teilprojekte auf, ohne sich selber mit den Thematiken der Technologie und der Geschäftsmodelle zu befassen. Bezüglich Angebotsformen wird das Teilprojekt TP4 die Erkenntnisse aus SVI Verkehr der Zukunft übernehmen und für die dem Forschungspaket zugrundeliegende Fragestellung des automatisierten Fahrens auf der Strasse schärfen. Für die Entwicklung von (Eck-)Nutzungsszenarien muss jedoch TP1 bereits vorab gewisse Annahmen zu möglichen Angebotsformen treffen. Damit wird eine gewisse materielle Überschneidung mit den später folgenden Inhalten aus TP4 in Kauf genommen.

Verständnis «Nutzungsszenarien»:

Unter «Nutzungsszenarien» verstehen wir Szenarien, die sich vor allem darin unterscheiden, welche Formen des automatisierten Fahrens den (physischen) Verkehr in der Schweiz prägen werden. Die Formen ihrerseits sind eine Kombination von Angebotsformen und Nachfrageformen. Letztere sind die Segmente der Verkehrsnachfrage (z.B. Verkehrszwecke, Wegeketten im Personenverkehr oder Verkehrsart, Warengruppen im Güterverkehr) mit jeweiligen Motiven der Verkehrsmittelwahl. Die Nachfrageformen sind unterschiedlich affin bezüglich neuer Angebote des automatisierten Fahrens. Den neuen Angebotsformen (z.B. Sharing-, Pooling-, Ridingsysteme) ihrerseits liegen zunehmend veränderte Organisationsmodelle zugrunde (z.B. Kooperationen zwischen ÖV-Transportunternehmen und Flottenbetreibern).

Die Forschungsarbeit stützt sich hinsichtlich der Automatisierungsstufen auf die Einteilung der SAE (SAE 2016) und fokussiert sich auf die Automatisierungszustände der Stufe 4 und Stufe 5. Dies liegt darin begründet, dass eine grosse Nutzungsänderung im Übergang von der Hochautomatisierung in Stufe 3 zur Vollautomatisierung in Stufe 4 erwartet wird.

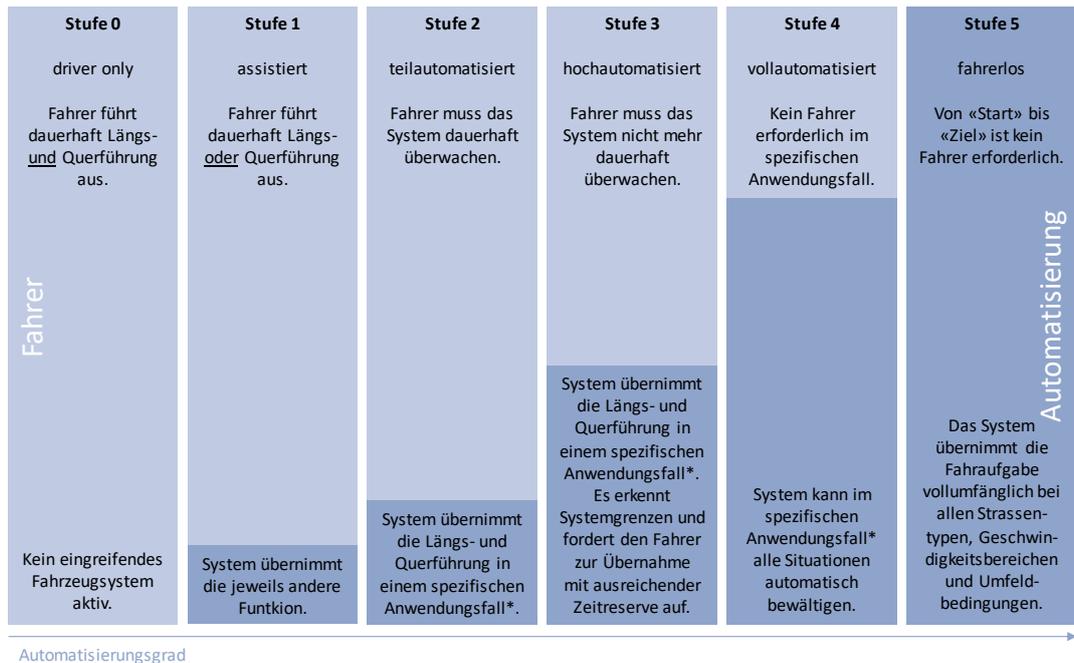


Abb.2 Automatisierungsgrade

Quelle: Levels of driving automation according to SAE INTERNATIONAL (J3016, Sep. 2016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles).

In zeitlicher Hinsicht fokussiert sich das Forschungsprojekt auf die nächsten Jahrzehnte bis zum Jahr 2050. Ein grosses Augenmerk wird aber auch auf die Zustände der nahen Zukunft gelegt. Damit grenzt sich das Forschungsprojekt klar von SVI Verkehr der Zukunft ab, bei der die Betrachtung auf einen langfristigeren Zustand 2060 gerichtet ist. Die davorliegenden Zeitzustände sind bei Verkehr der Zukunft nicht im Fokus. Entsprechend bieten die in SVI erarbeiteten Resultate vor allem Anhaltspunkte für den Endzustand (hier 2050).

1.4 Vorgehensweise

Das Forschungsprojekt TP1 stellt gemäss Übersicht aus Kap 1.1 methodisch und inhaltlich die Klammer um die Teilprojekte TP2 bis TP6 dar. In den ersten Arbeitsschritten des TP1 werden die Vorgaben für die Teilprojekte erarbeitet und nach deren Abschluss werden deren Ergebnisse aufgegriffen und in den anschliessenden Arbeitsschritten zu einem Gesamtbild zusammengefügt.

Entsprechend ist das Forschungsprojekt gegliedert in die vorgelagerten Arbeitsschritte AS1 Grundlagen (Kap 2) und AS2 Nutzungsszenarien (Kap 3) sowie in die nachgelagerten Arbeitsschritte, AS3 Wirkungsanalyse (Kap. 4), AS4 Ableitung Zielszenario (Kap 5) und AS5 Handlungsbedarf (Kap 6). Zwischen AS2 und AS3 hat TP1 die Arbeiten der Teilprojekte begleitet und zusammen mit der Gesamtprojektleitung koordiniert.

In **AS1 Grundlagen** werden in einem breiten Screening die Literatur nach bisher verfolgten Ansätzen sowie Wirkungsanalysen durchleuchtet und die offenen Fragen zuhanden der TP-Bearbeiter formuliert. In **AS2 Nutzungsszenarien** werden basierend auf den Erkenntnissen aus der Literatur – oder in bewusster Abgrenzung zu diesen – Achsen definiert, anhand derer die Eck-Szenarien entwickelt werden können. Diese wurden in der BK reflektiert und als materielle Basis für die Teilprojekte freigegeben.

Während den nachfolgenden sektoralen Vertiefungen in den Teilprojekte TP2 – TP6 wurden in TP1 selbst keine Inhalte geschaffen. Die Arbeiten der Teilprojekte wurden jedoch durch TP1 hinsichtlich Konsistenz der Inhalte begleitet. Als Format der Begleitung wurden durch die Gesamtpaketleitung Koordinations-Workshops durchgeführt.

Nach Abschluss der sektoralen Vertiefungen werden in **AS3 Wirkungsanalyse** die zentralen Erkenntnisse mit Fokus auf Wirkungen in den zwei Nutzungsszenarien zusammengefasst. Darauf basierend wird in **AS4 das Zielszenario** abgeleitet. In diesem Zusammenhang wird das Wünschbare vom Nicht-Wünschbaren getrennt und aus dem Wünschbaren ein Zielszenario gebildet.

Im abschliessenden **AS5 Handlungsbedarf** wird zur Erlangung des Zielszenarios der wichtigste Handlungsbedarf formuliert mit Schwerpunkt Handlungsspielraum der öffentlichen Hand. Damit verbunden sind auch regulative Massnahmen

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

In den letzten Jahren ist die Literatur zu möglichen Wirkungen unterschiedlicher Formen automatisierten Fahrens stetig gewachsen, weil die Unsicherheiten gross sind, die möglichen Potentiale aber gross. Trotz zunehmender Forschungsaktivität bestehen grosse Unsicherheiten in diesem Feld. In diesem Kapitel werden die für das vorliegende Forschungspaket wichtigsten Erkenntnisse aus der Literaturrecherche zusammengefasst (siehe Literaturverzeichnis im Anhang). Im Fokus stehen die fünf Wirkungsbereiche Verkehr, Infrastrukturbedarf, Mischverkehr, Datenbedarf/Organisation und räumliche Wirkungen. Ergänzende Grundlagen aus der Literaturanalyse spezifisch zur Szenariobildung werden in Kapitel 3.1 integriert.

Im Hinblick auf inhaltliche Schwerpunkte und methodischen Aufbau unterscheiden sich die Studien teilweise erheblich. Dies betrifft insbesondere folgende Punkte:

- Geographischer Raum: Studien mit Fokus auf urbane Räume überwiegen. Allerdings werden mögliche räumliche Auswirkungen auf die generelle Siedlungsstruktur zumindest oft erwähnt.
- Datengrundlage und -aufbereitung: Teilweise finden sich quantitative Analysen und teilweise eher qualitative Argumentationsketten. Entsprechend basieren die Studien auf unterschiedlichen Methoden bzw. deren Kombination, wie Workshops, Experteninterviews, Fokusgruppen und unterschiedliche Modellierungen.
- Berücksichtigte Verkehrsträger: In der Regel ist der (motorisierte) Individualverkehr im Fokus; öfters wird der öffentliche Verkehr (dem Personenbeförderungsregal unterstellt) aber mitberücksichtigt. Mehrere Studien fokussieren explizit auf neue Nutzungs- und Angebotsformen, welche die bisherigen Formen von MIV und ÖV verändern oder gar verschmelzen können (z.B. neue Car-Pooling, Car-Sharing oder Robo-Taxi-Systeme). Güterverkehr wird deutlich weniger und meist oberflächlicher behandelt als Personenverkehr. Wenn Güterverkehr behandelt wird, steht meist Platooning im Vordergrund.
- Verkehrliche Wirkungen: Wirkungen auf Nachfrageentwicklung und Fahrleistung werden oft erwähnt, teilweise auch berechnet; einige Studien setzen sich im Detail mit Kapazitätseffekten auf bestimmten Streckenabschnitten und an Knoten auseinander. Auch mögliche Rebound-Effekte werden des Öfteren angesprochen, aber wegen der damit verbundenen Komplexität nicht berechnet. Andere Wirkungskategorien (z.B. unterschiedliche Wirkungen auf Verkehrszwecke oder Verkehrsarten) stehen deutlich weniger im Fokus.
- Datenbedarf/Organisation: Überraschend wenige Studien setzten sich tiefergehend mit dem Umgang mit Daten auseinander, obwohl im Kontext von automatisierten Fahrzeugen (AF) riesige Datenmengen anfallen werden, die ganz unterschiedliche Nutzungen und Wertschöpfungen ermöglichen und damit auch ein wichtiger Treiber für die Entwicklung zukünftiger Mobilitätsangebote sein können.

Im Folgenden werden wichtige Erkenntnisse aus der Literatur entlang den Themenfeldern der Teilprojekte 2 bis 6 des vorliegenden Forschungsprojektes dargelegt. Am Schluss jedes Kapitels werden offene Forschungsfragen zuhanden der TP-Bearbeiter formuliert.

2.2 Verkehrliche Wirkungen

Im Hinblick auf den **Personenverkehr** beschäftigt sich bereits eine grössere Zahl an Studien mit der Frage ob bzw. in welchem Umfang sich die verschiedenen Stufen der Automatisierung auf die Verkehrsnachfrage und auf die Fahrleistung auswirken. In der Regel wird beim Erreichen der Stufen 4 und 5 von einem Wachstum der Verkehrsnachfrage und der Fahrleistung ausgegangen (RappTrans 2017a, BMVI 2017).

In den Studien werden vor allem die folgenden Gründe für ein **Wachstum von Verkehrsnachfrage und Fahrleistung** angeführt (vgl. u.a. EBP 2017; Fraedrich et al. 2017; BMVI 2017; RappTrans 2017a):

- Reisezeitgewinne: Viele Studien heben hervor, dass in einem AF durch Wegfallen der Fahraufgabe die Reisezeit produktiver genutzt werden kann. Somit könnten längere Wege bzw. Staus in Kauf genommen werden. Die Erreichbarkeit insbesondere ländlicher Regionen könnte steigen, was zu weiteren Wegen führen würde (Meyer et al. 2017). Ifmo 2016 sieht besonders Langstreckenpendler als potentielle Nutzer für AF, weil hier die Zeit auf dem Arbeitsweg viel produktiver genutzt werden kann. Weiter zu klären wäre, wieviel Zeit zur Verfügung stehen muss, dass das Ausführen von Tätigkeiten wie Arbeiten, Filme schauen etc. attraktiv wird und wie stark sich solche Reisezeitgewinne tatsächlich auf mobilitätsrelevante Entscheidungen auswirken.
- „Neuen“ Personengruppen kann (Auto-) Mobilität ermöglicht werden. Genannt werden dabei ältere Menschen und Menschen, die aufgrund von Behinderungen mobilitätseingeschränkt sind sowie Jugendliche, die noch keinen Führerschein besitzen (EBP 2017). Interessant wäre auch hier besser zu verstehen, in welchem Umfang die verschiedenen Personengruppen im Kontext verschiedener Geschäftsmodelle mehr am Verkehr teilnehmen könnten. Kollektive Nutzungsformen, die dem klassischen ÖV ähneln, könnten für Menschen mit Behinderungen weniger attraktiv sein als auf sie zugeschnittene, private AFs.
- Kostensenkung: Einige Studien weisen darauf hin, dass die Kosten für Mobilität sinken, was ein weiterer Grund für ein Ansteigen der Verkehrsnachfrage darstellt. Ifmo (2016) sieht beispielsweise für urbane Car-Pooling Systeme Kosten von 0.10 €/km als erreichbar. Bösch et al. (2017) kommt für die urbane Schweiz auf 0.30 CHF/Pkm für Pooled Taxis im Vergleich zu 1.60 CHF/Pkm im heutigen nicht autonomen Bereich.
- Leerfahrten: Wenn Fahrzeuge ohne Fahrer unterwegs sein dürfen, können je nach Nutzungsform durch Bring- und Holdienste Leerfahrten in erheblichem Umfang entstehen. BMVI 2017 führt an, dass auch Leerfahrten aus bisher eher abwegigen Gründen denkbar sind (z.B. Transport von Gegenständen wie vergessene Sportsachen; „zweckentfremdete“ Nutzung von Strassen durch automatische Autos wie Werbefahrten)
- Kapazitätserhöhung: Wie im nächsten Abschnitt näher beschrieben, wird vielfach davon ausgegangen, dass sich durch AF die Kapazitäten der bisherigen Infrastruktur besser ausnutzen und Reisezeiten verkürzen lassen (Damit steigt die Attraktivität der entsprechenden Strecken, was wiederum ein Wachstum der Nachfrage und/oder der Fahrleistung nach sich ziehen kann).

Diese Faktoren können in unterschiedlicher Form **auf die Verkehrsnachfrage wirken**.

- Es kann Neuverkehr entstehen durch die Verbesserung des Verkehrsangebotes durch AF, indem Reisezeit produktiv genutzt werden kann, die Kosten sinken, die Kapazität der Infrastrukturen erhöht wird oder neue Personengruppen Zugang zur Mobilität erhalten. Das IVT der ETHZ untersuchte die Entwicklung des durch autonomes Fahren induzierten Verkehrs (Bösch et al (2017)).
- Die zurückgelegten Distanzen können sich erhöhen, weil die Reisezeit produktiv genutzt werden kann und die Kosten für die Mobilität sinken. Generell besteht jedoch eine grosse Unsicherheit, wie sich insbesondere Reisezeitgewinne aber auch andere Gründe auf mittel-/ langfristig mobilitätsrelevante Entscheidungen wie Wahl des Wohn-, Arbeits- oder Ausbildungsorts auswirken (vgl. auch Abschnitt räumliche Wirkungen).
- Die Verkehrsmittelwahl kann sich verändern, weil mit AF neue, attraktivere Verkehrsangebote denkbar sind, welche die bestehenden Angebote in den Bereichen Reisezeit, Komfort, Kosten, Flexibilität und Zuverlässigkeit konkurrieren.

Insbesondere der dritte Effekt wird in vielen Studien thematisiert. Meist wird davon ausgegangen, dass sowohl individuelle als auch kollektive Nutzungsformen von AF den **ÖV unter starken Konkurrenzdruck** setzen und in einigen Regionen sogar vollständig verdrängen könnten. Bösch et al (2017) zeigen, dass aufgrund der Kostenstruktur konventioneller ÖV starke Konkurrenz durch preisgünstige, kollektiv genutzte Flotten von AF bekommen könnte. Allerdings zeigt die Studie auch, dass Flotten von geteilten autonomen Fahrzeugen

nicht unbedingt die kostengünstigste Option darstellen, gerade die Reinigungskosten dürfen nicht unterschätzt werden; hohe Fixkosten privater Fahrzeuge könnten angesichts der vielen Vorteile eines privaten „Mobilitätsroboters“ in Kauf genommen werden. In Ifmo (2016) wird je nach Durchdringungsrate und Nutzungsform ein Wachstum der Fahrleistung bis zu 10% in 2035 berechnet (wobei neue Nutzergruppen am stärksten zum Wachstum beitragen). Dabei geht die Nutzung des ÖV deutlich zurück, Car-Sharing und Car-Pooling könnten jeweils Marktanteile bis zu 10% erreichen. Auch Fraedrich et al. (2017) gehen für Deutschland im Falle einer Einführung privater AF von einem Zuwachs der Fahrleistung um 10% und einem Rückgang des ÖV um 8% aus. Gründe sind insbesondere neue Nutzer und veränderte Distanzwahl. Die Einführung von vollautonomem Car-Pooling führt unter in Fraedrich et al. 2017 getroffenen Annahmen zu einem leichten zusätzlichen Anstieg der Fahrleistung und einer weiteren Reduktion des ÖV besonders in urbanen Bereichen.

Generell sind Aussagen zu den verkehrlichen Wirkungen mit einem sehr hohen Mass an Unsicherheit verbunden. Besondere Bedeutung kommt dabei der **Ausgestaltung von Angebotsformen im Bereich zwischen MIV und ÖV** zu und der Frage, unter welchen Bedingungen diese für unterschiedliche Nutzergruppen und Verkehrszwecke attraktiv sein können. Zudem werden sich selbstverstärkende Effekte in Gang gesetzt, die nur schwer quantifizierbar sind. So könnten individuell oder auch kollektiv genutzte AF, die vom klassischen ÖV Fahrgäste abziehen, dessen Wirtschaftlichkeit schwächen, was eine Reduktion des ÖV-Angebots zur Folge haben kann und damit dessen Wettbewerbsfähigkeit weiter schwächt. („Vicious Cycle“ des ÖV, vgl. Fraedrich et al. 2017; Schippl et al. 2018). Andererseits ist ebenfalls vorstellbar, dass AF zur Flexibilisierung und Ausweitung des ÖV beiträgt und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Systems ÖV erhöht (*Virtuous Cycle*). Durch Wegfall des Fahrers lassen sich Kosten reduzieren, z.B. durch Einsatz kleinerer, liniengebundener Busse, die in höherer Frequenz fahren und damit die Flexibilität für den Nutzer erhöhen. Gut abgestimmte Car-Pooling-Angebote könnten den liniengebundenen ÖV ergänzen. Inwiefern Car-Pooling eher als eine Alternative zum oder als integraler Bestandteil des ÖV funktioniert, kann sich **in städtischen und ländlichen Räumen unterschiedlich** darstellen. Laut BMVI (2017) ist es vorstellbar, dass in ländlichen Räumen fahrerlose Fahrzeuge den ÖV ersetzen können und damit eine kundenfreundliche, finanzierbare und attraktive Alternative zum heute defizitären ÖV darstellen. Eine Studie von Meyer et al. (2016) deutet an, dass Flotten autonomer Fahrzeuge grundsätzlich in der Lage wären, in der Schweiz die vollständige Verkehrsnachfrage ausserhalb der grossen Agglomerationen zu bedienen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen HSL/Infras/KCW (2018), wobei hier auf eventuelle Verkehrsprobleme bei der Einfahrt in Städte und an grossen Umsteigeknoten hingewiesen wird. Wie von Fraedrich et al. (2017) erwähnt ist bei Konzepten zur Verbindung von klassischem ÖV mit Car-Pooling oder ähnlichen Angeboten allerdings zu beachten, dass viele Studien aufzeigen wie negativ Umsteigevorgänge generell wahrgenommen und bewertet werden (Train 1979; Frank et al. 2008).

Inwieweit und unter welchen Rahmenbedingungen bzw. Regelungen AF zu Entlastungseffekten führen und zu raumplanerischen Zielen beitragen können, bleibt ein sehr wichtiges Forschungsthema. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund zahlreicher eher zurückhaltend formulierter Ergebnisse. Forschungen von Bahamonde-Birke et al 2016 erwarten, dass AF auch dann zu negative Externalitäten (Stau, Luftverschmutzung) führen, wenn sich neue Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder Car-Pooling durchsetzen, weil das Verkehrsvolumen trotzdem steigen würde. Laut aktuellen Ergebnissen von WEF and BCG (2018) für Boston führen AF zu verstopften Innenstädten. BMVI (2017) sieht die Gefahr, dass Gewinne wie weniger Parkplatzbedarf oder besserer Verkehrsfluss überkompensiert werden und zum Nachteil der Stadt umschlagen.

Auch im **Güterverkehr** werden Auswirkungen auf Verkehrssicherheit, Verkehrseffizienz, Umwelt und Kosten diskutiert. Studien die sich mit der Automatisierung des Güterverkehrs auseinandersetzen, erwarten Wettbewerbsvorteile besonders im **Langstreckenverkehr** in Folge sinkender Betriebskosten:

- Vor allem trägt das Wegfallen des Fahrers zur Kostenreduktion bei (Roland Berger 2016).

- Durch Platooning lassen sich Kosten für Treibstoff einsparen (kürzere Fahrtabstände, bessere Aerodynamik).
- Versicherungskosten lassen sich reduzieren, wenn sich Unfallquoten verringern und die Sicherheit steigt (Roland Berger 2016).
- Lenk- und Ruhezeiten entfallen, was eine optimierte Tourenplanung ermöglicht wie auch eine Verlagerung in Schwachlastzeiten (Flämig 2015).

Fraedrich et al. (2017) beziehen sich auf Berechnungen nach denen im Strassengüterverkehr durch die Vollautomatisierung Reduktionen in den Gesamtbetriebskosten der Fahrzeuge zwischen 27 % und 35 % im Jahr 2025 im Vergleich zu 2016 ermöglicht werden könnten. Entscheidender Faktor sind dabei die geringeren Personalkosten (Janssen, 2015; Nowak et al., 2016; McKinsey & Company, 2016). Aufgaben wie die Überwachung von Be- und Enladevorgängen werden bisher ebenfalls vom Fahrer erledigt, was dann anders organisiert werden müsste (Flämig 2015). Verschiedene Untersuchungen gehen davon aus, dass eine Automatisierung des Strassengüterverkehrs vor allem negative Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr haben wird (Flämig 2015, Fraedrich et al. 2017). Langfristig könnte sich ein erheblicher Rückgang der Verkehrsleistung auf der Schiene einstellen. Insbesondere automatisiertes Platooning der Lastkraftwagen (Lkw) steht in direkter Konkurrenz mit der Bahn, wie auch der Lang-Lkw (Flämig 2015). Flämig (2015) weist darauf hin, dass umfassendere Wechselwirkungen mit der gesamten Supply Chain denkbar sind.

Auch beim **Lieferverkehr im urbanen Bereich** geht es um Erhöhung von Sicherheit und Effizienz. Erste Konzepte zum Einsatz automatisierter Fahrzeuge im städtischen Gütertransport, z.B. mobile Abholstationen, liegen bereits vor (McKinsey and Company, 2016; DHL 2014; DPD 2016). Nach Fraedrich et al. 2017 liegen denkbare Effekte eher im Mikrobereich, wie z.B. in der Reduzierung des Parkens in der zweiten Reihe für die Be- und Entladung. Laut BMVI (2017) wäre im Bereich der Kurier-, Express- und Paketdienste an vollautomatisiert fahrende „Rollcontainer“ zu denken, die ausgehend von dezentralen Packstationen die Belieferung der Empfänger übernehmen. Automatisiertes Befüllen bzw. Abholen könnte auf Zeiten verlagert werden, in denen die Verkehrsinfrastruktur weniger belastet ist. Häufiger genannt werden auch Ideen wie assistiertes Ausliefern mittels eines Transportgefässes, das dem Auslieferer automatisch folgt, sodass dieser nicht ständig in das Lieferfahrzeug ein- und aussteigen muss (DHL 2014). Auch neue Ansätze wie UBER-cargo könnten die Logistik auf der letzten Meile beeinflussen.

Insgesamt sind viele Fragen offen. Weitere Entwicklungen wie Digitalisierung im Gross- und Einzelhandel, das erwartete Wachstum im Bereich der KEP-Dienste und die zukünftige Organisation der Belieferung von Haushalten spielen eine wichtige Rolle. Bündelbarkeit der Güter und Art der Übergabe sind entscheidend (DHL 2014). Eine direkte Übergabe von Sendungen vom autonomen Transportgefäss an Menschen scheint schwierig, weil dabei in der Regel die Strasse verlassen werden muss, um an Haustüren und Grundstücke zu gelangen. Aber eine Übergabe vom Roboter zu einer Packstation erscheint durchaus möglich. Mobile Packstationen könnten temporär Kunden in unterschiedlichen Gebieten nacheinander zur Verfügung stehen (DHL 2014) Es könnten Möglichkeiten der effizienten Bündelung von Gütern in „Consolidation Centers“ entstehen. Andererseits könnte eine Art Just-In-Time Verkehr zu mehr Fahrten in kleineren Transportgefässen führen. Wie dieser kurze Überblick zeigt, lässt sich aus heutiger Sicht nicht sicher sagen, welche Entwicklungsrichtung sich hier ergeben wird. Ist zukünftig beispielweise die flexible und möglicherweise mehrfache tägliche Zulieferung gewünscht oder sollte es das Ziel sein, den Lieferverkehr auch in Zeiten des Onlinehandels auf ein Minimum zu reduzieren?

Zentrale Fragen/Wissenslücken

- Welche Nachfrage- und Angebotsformen führen zu einem Wachstum der Verkehrsnachfrage, wie stark und aus welchen Gründen?
- Wie hoch sind die postulierten Reisezeitgewinne unter Berücksichtigung der vielschichtigen Wechselwirkungen tatsächlich und wie stark wirken sie sich auf mobilitätsrelevante Entscheidungen aus?

- Welche Rolle spielt der klassische ÖV in zukünftigen Nutzungsszenarien?
- Inwiefern können unterschiedliche Angebotsformen zu Erschließung neuer Nutzergruppen (z.B. mobilitätseingeschränkte Menschen, Jugendliche, weitere etc.) beitragen? Welche Nutzergruppen reagieren wie affin auf die AF-Angebotsformen?
- Wie unterscheiden sich die verkehrlichen Wirkungen nach Räumen?
- Welche Rebounds bzw. sich selbstverstärkenden Effekte lassen sich antizipieren und eventuell auch quantifizieren?
- Wie stark wird Automatisierung zu einer Verlagerung von Güterverkehr von der Schiene auf die Strasse führen?
- Wie wirken unterschiedliche Angebotsformen im Lieferverkehr mit aktuellen Trends wie Individualisierung und Online-Shopping zusammen?

2.3 Infrastrukturbedarf

Im Diskurs zum automatisierten Fahren wird sehr viel Potential in kapazitätssteigernden Wirkungen von AF gesehen (EBP 2017, Hartmann et al. 2017). Mehrere Studien berechnen Kapazitätswirkungen von AF für konkrete Situationen. Häufig werden Autobahnen sowie plangleiche Kreuzungen betrachtet.

- Für einen Autobahnabschnitt in Deutschland berechnen Krause et al. (2017) für die Übergangsphase mit Mischverkehr zunächst eine Reduktion der Kapazität um 7%, die vor allem auf das konservativere, d.h. regelkonforme Fahrverhalten der AF zurück zu führen ist (vgl. ähnliche Ergebnisse bei Calvert et al. 2017; Hartmann et al. 2017). Erst bei einer stärkeren Durchdringung mit hochautomatisierten Fahrzeugen wird von einem durchschnittlichen Zuwachs im Bereich von 30% ausgegangen. Im Hinblick auf Reisezeit führt dieser Zuwachs um 30% zu einem Reisezeitgewinn von 7%.
- Plangleiche Kreuzungen sind von Interesse, da sie vor allem in urbanen Bereichen oft zu Stockungen und Stauungen im Verkehrsfluss führen. Besonders für signalisierte Anlagen wird davon ausgegangen, dass eine optimierte Organisation bzw. Steuerung zu einem besseren Verkehrsfluss und damit zu einer Steigerung der Kapazität der Kreuzung führen kann. Beispielsweise könnte sich nach Friedrich et al. (2015) die Kapazität einer signalisierten Kreuzung um 40% erhöhen lassen, wenn alle Fahrzeuge hochautomatisiert und als Platoon (Konvoi) organisiert sind. Lioris et al. (2017) gehen von noch deutlich höheren Potentialen zur Erhöhung der Kapazität aus.

Fraedrich et al. (2017) argumentieren, dass kapazitätssteigernde Fahrzeugtechnologien (z. B. adaptive Geschwindigkeitsregulierung, Kreuzungskontrollsysteme) generell mit einer Erhöhung des maximalen Verkehrsflusses einhergehen. Entscheidend ist die Frage, wie „intelligent“ welche Infrastrukturelemente sein müssen (Ampeln, Kreuzungssteuerungen) um Kapazitätsgewinne zu realisieren. Offen bleibt, wie sich Steigerungen der Kapazität auf Reisezeitgewinne bei verschiedenen Pendelrelationen auswirken könnten und inwieweit Rebound-Effekte zu erwarten wären.

Wenn sich der Abstand zwischen den Fahrzeugen reduziert, z.B. durch Platooning, führt das zu einem Verkehrsfluss mit kürzeren Fahrzeugfolgen und damit zu einem dichteren Verkehr. Zu klären wäre, inwieweit hierdurch Fußgänger und abbiegende Fahrzeuge schwerer Lücken finden und sich die Trennwirkung der Strassen erhöht (BMVI 2017).

Einige Gründe, die eine Reduktion der Fahrleistung ermöglichen könnten, lassen sich ebenfalls anführen. So trägt Parkplatzsuchverkehr in den meisten Städten erheblich zum MIV im Stadtverkehr bei (Kleefoot 2014). Studien, die den Einfluss automatisierter Fahrzeuge auf den Parkplatzsuchverkehr quantifizieren und Reboundeffekte berücksichtigen, sind nicht bekannt (RappTrans 2017a). Szimba und Orschiedt weisen darauf hin, dass AF zügiger einparken können als menschliche Fahrer und somit den Verkehrsfluss weniger stören (siehe auch DHL 2014). Laut BMVI ist zu erwarten, dass autonomes „Valet-Parking“ den Nutzen des Personenwagens (PW) gegenüber dem öffentlichen Verkehr (ÖV) erhöhen wird, da Parksuchzeiten, Zu- und Abgangszeiten entfallen bzw. reduziert werden.

Sollte sich durch Nutzungsmodelle wie Car-Sharing oder Car-Pooling die Zahl der Fahrzeuge in urbanen Räumen deutlich reduzieren lassen, ist mit Flächengewinnen zu rechnen, die anderen Nutzungen zur Verfügung stehen können (EBP 2017). Hier stellt sich die Frage, wie sich solche Flächen städtebaulich nutzen lassen. Der Parkraumbedarf würde reduziert, dafür könnten multifunktionale Wegeflächen, Raum für Fahrräder oder auch Mikromobilität entstehen (Heinrichs 2015). Einrichtung von Aus- und Zustiegsstationen könnte erforderlich werden. Langfristig sind Pläne zur Gestaltung von Parkflächen, Fahrradspuren, Kreuzungen, Bürgersteigen, Strassenquerschnitten etc. nötig. Heinrichs (2015) fragt in diesem Zusammenhang, ob es grundlegend anderer bzw. neuer Leitbilder zur Entwicklung von Städten bedarf?

Im **Güterverkehr** könnte sich laut Flämig (2015) durch automatisiertes Fahren die vorhandene Strasseninfrastrukturkapazität wegen geringerem Platzbedarf und gleichmässigerer Geschwindigkeit mindestens verdoppeln lassen. Im Langstreckenbereich könnten durch Platooning neue Anforderungen an die Infrastruktur entstehen (Flämig 2015). Laut Fraedrich et al. (2017) könnten bisherige Infrastrukturen das Platooning behindern, z.B. sind Autobahn Auf- und Abfahrten für längere Ketten mit sich eng folgenden Lkw nicht geeignet (Janssen et al 2015). Flämig (2015) schlägt deshalb separate Zu- und Abfahrten für autonome Fahrzeuge vor, eventuell mit eigener Fahrspur (dedicated lane) für Platooning. Untersuchungen von RappTrans (2017b) für die Schweiz zeigen, dass Abstandhaltesysteme die Verkehrssicherheit und auch die Strassenkapazität erhöhen können sowie Treibstoffeinsparungen ermöglichen. Zu klären bleibt, welche regulatorischen Voraussetzungen hierfür erforderlich wären. Die Bedingungen zum effizienten Bilden und Auflösen von Platoons führen auf dem Schweizer Nationalstrassennetz zu einem geringen Potential für Platooning (RappTrans 2017b). Der Datenaustausch zwischen den Fahrzeugen erfordert zudem leistungsfähige und sichere digitale Infrastrukturen. Welche Anforderungen im Bereich der City Logistik entstehen könnten, z.B. durch Be- und Entladezonen, wird bisher nicht weiter in der Literatur behandelt.

Zentrale Fragen/Wissenslücken

- Welche Kapazitätsgewinne sind in welchen Zeithorizonten durch AF im Personen- und Güterverkehr zu erwarten?
- Welche Anforderungen punkto Funktionstüchtigkeit und Verkehrssicherheit stellen neue Angebots- und Nutzungsformen im Personenverkehr an die Infrastruktur (z.B. Ein- und Aussteigezonen für AF-Shuttles; Parkanlagen für selbstparkende PW)
- Welche Anforderungen stellen neue Angebots- und Nutzungsformen im Güterverkehr an die Infrastruktur (z.B. Platooning; Automatisierung in der City-Logistik)
- Wie „intelligent“ muss die Infrastruktur sein um Kapazitätsgewinne zu ermöglichen? Wie soll das Verkehrsmanagement zukünftig erfolgen, um möglichst hohe Kapazitätsgewinne zu ermöglichen (z.B. Digitalisierung bestehender Infrastrukturen vs. direkter und aktiver Steuerung der Fahrzeuge)?

2.4 Mischverkehr

Im Themenfeld Mischverkehr betrifft eine wesentliche Unterscheidung den Mischverkehr zwischen (Strassen-)Fahrzeugen unterschiedlicher Automatisierungsgrade einerseits sowie mit anderen Verkehrsteilnehmenden andererseits, insbesondere mit Fussgängern und Radfahrenden (EBP 2017).

Durch das Miteinander von Fahrzeugen unterschiedlicher Automatisierungsgrade können die dem automatisierten Fahren zugeschriebenen verkehrlichen Potentiale bis auf weiteres in den kommenden Jahrzehnten nicht in vollem Umfang ausgeschöpft werden (Litman 2018; ifmo 2016). Die Existenz des Mischverkehrs wird die Einsatzmöglichkeiten des automatisierten Fahrens an sich einschränken, wenn dieses z.B. (vorerst) auf bestimmte Geschwindigkeitsbereiche oder Räume begrenzt bleibt (Friedrich and Hartl, 2016). Dennoch

werden bereits für ein Szenario mit Mischverkehr positive Auswirkungen u.a. auf den Verkehrsfluss und damit verbunden auch im Bereich umweltrelevante Emissionen usw. erwartet (BMVI 2015).

Eng verbunden mit dem Miteinander unterschiedlicher Automatisierungsgrade ist das Thema Vernetzung. Aus der Kombination von Automatisierung und Vernetzung ergibt sich ein Potential für eine Effizienzsteigerung im Verkehrsablauf (Fraedrich et al. 2017; Talebpour and Mahmassani 2016). Dabei wird auch der mögliche Einbezug nicht automatisierter Fahrzeuge in Vernetzung und Kommunikation mitgedacht, bis hin zu dem Gedanken, nicht vernetzten Fahrzeugen ab einem bestimmten Zeitpunkt die Teilnahme am öffentlichen Strassenverkehr gar nicht mehr zu erlauben (Rehme and Krause 2016). Das völlige Verbot nicht automatisierter Fahrzeuge erscheint jedoch herausfordernd, da manche Nutzer das manuelle Fahren bewusst nicht abgeben möchten (u.a. Rychel 2018). Eine diskutierte Lösung für den Umgang mit diesen Herausforderungen sind u.a. separate Spuren (Bierstedt et al. 2014; Folsom 2012; Giesler 2017; Rychel 2018). Wichtig scheint auch der gezielte, derzeit in verschiedenen Projekten bereits betriebene Erfahrungsaufbau in eingeschränkten Einsatzgebieten ausserhalb des öffentlichen Strassenverkehrs (Beiker, 2015).

Der zweite wichtige Themenkomplex im Mischverkehr betrifft die Interaktion mit weiteren Verkehrsteilnehmern ausserhalb des MIV - insbesondere Fussgänger und Radfahrende. Mit diesen werden automatisierte Fahrzeuge dauerhaft sicher umgehen müssen (u.a. Fraedrich et al. 2017; Schweizerischer Bundesrat 2016). Unter anderem besteht das Risiko darin, dass durch die Zunahme von Fahrleistungen und Verlagerungen innerhalb des Strassennetzes (z.B. durch automatisches Routing über Nebenstrassen) Konflikte mit Fussgängern und Radfahrern zunehmen könnten (International Transport Forum 2015). Sogar die verbesserte Unfallsicherheit könnte im Falle höherer Verkehrsdichte durch mehr Unfälle kompensiert werden. Dies ist auch abhängig davon, wie automatisierte Fahrzeuge auf Unfallvermeidung hin programmiert werden und wie sich ihre Lernprozesse (*deep learning bzw. machine learning*) den Situationen anpassen (Litman 2018). Derartige Sicherheitseffekte müssen auch in ihren sozioökonomischen Auswirkungen berücksichtigt werden (Szimba and Orschiedt 2017).

Wichtige Voraussetzung für die Interaktion ist die Möglichkeit zur Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern oder auch der Polizei (u.a. Da Lio et al. 2015; Litman 2018; Sivak and Schoettle 2015; Voege and Zhivov 2016). Striktes Regeleinhalten könnte sogar zum Verkehrshindernis werden, eine angemessene Implementierung ist entsprechend anspruchsvoll (Fraedrich, Cyganski and Lenz 2016). Es bestehen also wichtige technologische Hürden, zumal auch mit auftretender Fehlkommunikation umgegangen werden muss (AG Forschung 2015). Maschinen erkennen womöglich nicht einmal zuverlässig die Notwendigkeit von Kommunikation und umgekehrt könnten sie sich sogar unter Ausnutzung ihrer programmierten oder gelernten Routinen 'ausdricksen' und zu bestimmten Fahrmanövern zwingen lassen (Gasser 2015). Es stellt sich daher auch die Frage, ob der Status eines automatisierten Fahrzeuges nach aussen kommuniziert oder die maschinelle Kommunikation jeweils nachvollziehbar dokumentiert werden sollten (AG Forschung 2015; Gasser 2015).

Das Thema Mischverkehr ist ein wesentlicher Grund, weshalb die Einführung des automatisierten Fahrens sehr komplex ist. Das automatisierte Fahren in geschlossenen Systemen bzw. auf abgrenzbaren Teilen der Strasseninfrastruktur ist viel einfacher. Auf Autobahnen ist darüber hinaus die Kommunikation im Normalbetrieb einfacher, da sie aufgrund der gefährlichen Geschwindigkeiten bereits heute stärker an technische Kommunikationsmöglichkeiten gebunden ist (Gasser 2015). Entsprechend der Bedeutung des Mischverkehrs ist dieses Thema auch wichtiger Gegenstand von Überlegungen zu geeigneten Zulassungsverfahren automatisierter Fahrzeuge (U.S. Department of Transportation 2016).

Zu spezifischen Herausforderungen des Mischverkehrs im Güterverkehr sind in der Literatur kaum Informationen zu finden. Aufgrund der oben geschilderten Herausforderungen wird hier u.a. die automatisierte Zustellung auf der letzten Meile als herausfordernd gese-

hen, während im Mikrobereich (z.B. neben einem Zusteller herfahren) bereits früher Fortschritte möglich scheinen (Fraedrich et al. 2017). Gerade bei möglichen Formen der (Zustell-)Robotik können sich neue Konfliktfelder mit dem Fussverkehr ergeben.

Zentrale Fragen/Wissenslücken

- Welche Arten von Wechselwirkungen im Mischverkehr wirken wie stark auf die Funktionsfähigkeit und die Strassenkapazität der verschiedenen Strassenetze?
- Insbesondere welche Auswirkungen haben die Interaktionen zwischen Personen- und Güterverkehrsfahrzeugen sowie zwischen motorisiertem Verkehr und ÖV, Fuss- und Veloverkehr (auf den mit Mischverkehr betroffenen Strassennetzen)?
- Für das Verkehrsmanagement werden dezentrale (peer-to-peer) und zentrale Ansätze diskutiert. Welche Auswirkungen hat der längerfristig anzunehmende Mischverkehr auf die Eignung der jeweiligen Ansätze? Wie soll das Verkehrsmanagement zukünftig erfolgen, um möglichst hohe Kapazitäts- und Sicherheitsgewinne zu ermöglichen (z.B. Digitalisierung bestehender Infrastrukturen vs. direkter und aktiver Steuerung der Fahrzeuge)?
- Welche Kommunikationsformen zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern sind geeignet zur Abwicklung des Mischverkehrs?
- Aus dem Wunsch nach sicherer und effizienter Abwicklung des Mischverkehrs könnten sich verkehrsplanerische und stadtgestalterische Anforderungen ergeben, die aufgrund konkurrierender Zielsetzungen nicht erwünscht sind und z.B. zusätzliche Verlagerungseffekte im Modal Split bewirken. Wie kann damit umgegangen werden?

2.5 Datenbedarf, Betrieb und Organisation

Generell fällt auf, dass das Themenfeld Datenbedarf, Betrieb und Organisation in nur wenigen Studien thematisiert wird. Wird das Thema angesprochen, dann bleibt es oft bei Hinweisen auf mögliche Risiken durch Hacking bzw. Systemfehler, die zu Unfällen führen können, ohne dass weiter darauf eingegangen wird, ob und wie sich diese Risiken reduzieren lassen (vgl. z.B. Litmann 2018). Auch auf Datenschutzfragen wird in Fachdiskussionen in der Regel nur hingewiesen.

Beim automatisierten Fahren werden sehr grosse Datenmengen erzeugt. Je nach Automatisierungsstufe und Umsetzungskonzept können sich diese hinsichtlich Form, Inhalt und Umfang deutlich unterscheiden. Bisher ist offen, welche und wie viele der aus der technischen Ausgestaltung einer Automatisierung der Fahraufgabe im Zuge des automatisierten Fahrens entstehenden Daten bzw. theoretisch gewinnbaren Daten tatsächlich für andere (weitere) Nutzungen zur Verfügung stehen werden. Dabei ist u.a. zu beachten, wie sich die Europäischen Datenschutzgrundverordnung entwickelt, die bestrebt ist „Privacy by Design“ (Datenschutz durch Technikgestaltung) als Entwurfsprinzipien durchzusetzen (siehe hierzu u.a. Baum et al. 2016). Weiter ist auch entscheidend, von welchen Angebotsformen für AF ausgegangen wird. Zudem ist zu berücksichtigen, ob bzw. bis zu welchem Grad eine Vernetzung zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur erfolgt.

Festgehalten werden kann, dass allein die potentielle Verfügbarkeit von Daten aus automatisierten Fahrzeugen bereits zahlreiche Begehrlichkeiten bei unterschiedlichen Stakeholdern geweckt hat und schon vielfältige Ziel- und Interessenskonflikte zu Tage getreten sind (EBP 2017). Inwiefern sich Rolle und Bedeutung der öffentlichen Hand sowie anderer Akteure bei der Verkehrslenkung und -steuerung im Zuge einer Automatisierung ändern, hängt nicht zuletzt damit zusammen, wer über welche Daten verfügt. EBP (2017) zeigen, dass unterschiedliche Stakeholder je nach Entwicklungszustand der Automatisierung an

Bedeutung gewinnen oder verlieren können. Wichtige Anhaltspunkte für mögliche zukünftige Entwicklungslinien, Konfliktfelder und Regelungsbedarfe lassen sich aus Positionierungen und Interessensbekundungen verschiedenen Stakeholder in Fachdebatten ableiten:

Automobilhersteller sind unter anderem am Verkauf von mobilitätsbezogenen Dienstleistungen (z.B. Infotainment oder Navigation) interessiert, um ihr gegenwärtiges Geschäftsmodell zugleich zu stabilisieren wie zu diversifizieren und um die Kundenbindung zu vertiefen. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Fahrzeugdatenanalyse – zum einen, um besser zu verstehen, wie Kunden ihre Autos nutzen, zum anderen, um Reparatur- und Wartungsdienstleistungen kundenspezifischer gestalten zu können.

Automobilhändler und Werkstätten sind insbesondere an (Echtzeit-)Daten aus der Fahrzeugzustandsanalyse interessiert, um individualisierte Wartungsangebote und anlassbezogene bzw. präventive Reparaturen möglich zu machen.

Versicherer wollen Fahrzeugdaten verwenden, um nutzungsabhängige Versicherungsverträge anbieten zu können, deren Policen (stärker) hinsichtlich Parameter wie Fahrverhalten, genutzter Zeit bzw. Fahrgebiet u.a. differenziert sind. Zudem wollen sie sie für die Aufklärung von Unfallursachen verwenden. Deshalb fordert die Allianz-Versicherung bspw., dass diese Daten an einen unabhängigen Treuhänder übertragen werden, damit weder Autohersteller, Versicherer, noch andere beteiligte Interessensgruppen einen exklusiven Zugang erhalten (Czerulla 2018).

Rettungs- und Pannendienste können Notrufe bzw. Störungsmeldungen in Echtzeit sammeln und bearbeiten. Damit kann u.a. die Disposition von Rettungs- und Pannenhilfefahrzeugen verbessert werden. Darüber hinaus wird auch eine tieferegehende, u.a. zeitlich und räumlich aufgelöste Analyse von Unfall- und Ausfalldaten möglich.

Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen verlassen sich bereits heute auf Fahrzeug- und Kundendaten, um ihre Dienste anbieten und optimieren zu können. Dies betrifft in unterschiedlichen Ausprägungen sowohl den Transport von Personen (Unternehmen des öffentlichen Verkehrs, Car-Sharing, Taxidienste, Ridesharing) als auch des Güterverkehrs (Logistik, KEP-Dienste, etc.). Daten aus der Fahrzeugautomatisierung würden die Qualität und Quantität der für sie verfügbaren Daten weiter verbessern sowie zusätzliche Dienste und eine vertiefte Kundenbindung ermöglichen.

Einzelhändler und Anbieter mobilitätsnaher Dienstleistungen (Tankstellen, Raststätten, ...) könnten die Ergebnisse der Fahrzeugdatenanalyse zur Optimierung ihres Vertriebsnetzes (Anzahl, Art und Standort von Filialen), zur Kundenakquisition sowie für die Entwicklung von massgeschneiderten Werbeangeboten, die in das Fahrzeug bzw. mobile Endgeräte kommuniziert werden, nutzen.

Digitale Plattformunternehmen sind vergleichsweise neue Spieler im Mobilitätsbereich. Der Kern ihrer (bisherigen) Aktivitäten liegt in der Errichtung von über Internet zugänglichen IT-Plattformen, die der Vernetzung der Marktteilnehmer auf beiden Seiten dienen. Damit treten sie als neue Intermediäre in die Wirtschaftsbeziehung - zwischen Produzenten und Abnehmern bzw. zwischen Dienstleistern und Kunden - ein, brechen klassische Relationen auf und übernehmen die Rolle eines „gatekeepers“. Im Zuge der Umsetzung dieser Strategie gewinnen Plattformunternehmen umfangreiche Datensätze zum Verhalten ihrer Kunden sowie zu deren persönlichen Präferenzen und Interaktionen in deren jeweiligen sozialen Netzwerken. („Bei den Kfz-Daten besteht das Interesse nicht nur am Kfz selbst, sondern an den das Kfz nutzenden Menschen.“ (Weichert 2017)) Plattformunternehmen haben sich neben den Automobilherstellern als zweite große Gruppe von Unternehmen etabliert, welche die technische Entwicklung des automatisierten Fahrens vorantreiben. Sie haben, zum Teil in Kooperation mit Forschungseinrichtungen und mit Tier-1 Unternehmen, in erheblichem Umfang investiert und verfügen über beträchtliche Testerfahrungen. Sie können nicht nur das IT-Backbone, sondern auch Frontend-Anwendungen, Betriebssysteme, Hard- und Softwareelemente für die Fahrzeugautomatisierung sowie Analysedienstleistungen anbieten. Sie verfügen allerdings in der Regel (noch) nicht über Kompetenzen in der Fertigung von Fahrzeugen und in der Betreuung von Fahrzeugkäufern. An dieser Stelle

sind sie momentan auf Kooperationen mit klassischen Automobilherstellern angewiesen. Man kann davon ausgehen, dass die Möglichkeit des Zuganges zu und der Verwendung und Monetarisierung von Fahrzeug- und Nutzerdaten erheblichen Einfluss auf zukünftige unternehmerische Strategien, Erlöse und Gestaltungsmöglichkeiten haben wird.

Staatliche Einrichtungen können im Rahmen dieser Diskussion ebenfalls nicht als homogene Akteursgruppe betrachtet werden. Im Zuge von Gewaltenteilung, Arbeitsteilung und Ressortzuständigkeit kommen ihnen jeweils spezifische Aufgaben zu, die (bezogen auf die Sphäre staatlichen Handelns) Zielkonflikte bergen sowie interne und externe Interessensausgleiche nötig machen. Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung sind unter anderem und insbesondere für Dienstleistungen des Staates für seine Bürger zuständig. Mit der Verfügbarkeit von Daten aus Fahrzeugautomatisierungen ergeben sich hier neue Möglichkeiten, etwa für das Verkehrsmanagement. Nicht nur, dass individuelle und kollektive Ziele hier auseinanderfallen können, was eine institutionelle Positionierung eines staatlichen Dienstleisters schwierig macht – als Anbieter individualisierter Verkehrsinformationsdienstleistungen träte dieser zudem auch in Wettbewerb mit privaten Anbietern und gefährdet u.U. deren Marktposition, was das Risiko (ordnungs-)politischer Konflikte in sich birgt.

Ein weiteres Konfliktfeld ist das zwischen der Verwendung von Fahrzeugdaten für das Verkehrsmanagement im weiteren Sinne und für die Kontrolle und Verfolgung von z.B. strassenverkehrsrechtlich oder strafrechtlich relevanten Vorgängen. Bei der Datenerhebung wird kaum zwischen beiden zu unterscheiden sein, Nutzungsmöglichkeiten werden wohl über das Management der Zugriffsrechte geklärt werden müssen. Unklar ist, welche rechtlichen Vorgaben politisch durchgesetzt werden können und wie sich die Nutzer, insbesondere im Falle fehlender starker rechtlicher Bindung verhalten, werden. Denkbar wäre, dass Nutzer sich der Nutzung der Daten für die Verfolgung von Verkehrsverstößen entziehen, indem sie sich aus der Datenerhebung so weit wie möglich herausoptieren (eine Option, die vermutlich im Zuge der Umsetzung von Datenschutzvorgaben grundsätzlich möglich sein wird). Dem gegenüber stehen die Vorteile der Nutzung von Verkehrsinformationsdiensten durch eine genauere Datenerhebung. Hier könnten Nutzer das Entdeckungsrisiko bei Verstößen gegenüber dem Informationsgewinn abwägen. Eine solche Positionierung der Nutzer könnte zudem in Betracht ziehen, dass Fahrzeugdaten bzw. -datenträger auch als Beweismittel in Strafverfahren dienen und evtl. durch Strafverfolgungsbehörden beschlagnahmt werden können (VBW 2016).

Zentrale Fragen / Wissenslücken

- Welches Netzwerk von Akteuren, Strategien, Interessen und Konflikten entsteht im Zuge der Einführung von AF und wie sind die Wechselwirkungen mit der Ausprägung unterschiedlicher Angebots- und Nutzungsformen?
- Wem gehören die produzierten Daten bzw. wer darf diese nutzen? Welche Nutzungskonflikte sind zu erwarten?
- Welche Anforderungen stellen sich an AF Daten aus Sicht der öffentlichen Hand (als Infrastrukturbetreiber, Regulator, etc.); insbesondere:
 - Welche Daten der AF benötigt die öffentliche Hand, um das Verkehrsmanagement sicherzustellen?
 - Welche Daten der AF müssen für Haftungsfragen zur Verfügung gestellt werden?
 - Mit dem Austausch von welchen AF-Daten kann die Verkehrssicherheit erhöht werden?
 - Rolle des Staates als Gesetzgeber und benötigte AF-Daten im Zusammenhang mit Zulassungsbedingungen?
 - Wie lassen sich Datenschutzaspekte bei verschiedenen Angebots- und Nutzungsformen berücksichtigen?
- Wie kann der Gefahr durch Cyberangriffen (Hacking) bei verschiedenen Angebots- und Nutzungsformen entgegengewirkt werden?

2.6 Räumliche Wirkungen

Viele Studien weisen auf mögliche Wirkungen von AF Anwendungen auf Entwicklung der Raumstrukturen hin. Zentrales Argument ist dabei, dass eine Neubewertung der Reisezeiten im **Personenverkehr** die Bereitschaft längere Strecken zurück zu legen erhöht (vgl. Abschnitt „Verkehrsnachfrage“). Solche Reisezeitgewinne lassen sich in erster Linie im MIV realisieren, wenn Fahrzeit im automatisierten Modus zum Lesen, Arbeiten oder Netzwerken genutzt werden kann. Eine erhöhte Bereitschaft längere Strecken zu fahren könnte sich auch in längerfristigen Mobilitätsentscheidungen niederschlagen und zu einem Wechsel des Wohn-, Arbeits- oder Ausbildungsorts führen (Freadrich et al 2017). Mögliche Konsequenz wären Suburbanisierungs- und Zersiedlungsprozesse die neben erhöhtem Flächenverbrauch die Verkehrsnachfrage und Fahrleistung besonders im MIV erhöhen könnten. Grundsätzlich könnten sich entsprechende Effekte bereits bei Teilautomatisierung einstellen, wenn z.B. Autobahnen im automatisierten Modus befahren werden dürfen.

Meyer et al. (2016) zeigen, dass gut erschlossene, ländliche Gemeinden grosse Erreichbarkeitsgewinne aufweisen könnten. Effekte in den Agglomerationen und Städten sind dagegen weniger stark oder sogar negativ. Die Ergebnisse der Studie lassen Automatisierung als potentiellen Treiber für Urban Sprawl verstehen. Einige Studien weisen auf Attraktivitätssteigerung von Wohngebieten am Stadtrand hin (Heinrichs 2015; Le Vine and Polack 2014). Heinrichs (2015) argumentiert, dass die Wohnstandortwahl von Berufstätigen durch Faktoren wie Wohn- und Wohnumfeldqualität mehr beeinflusst wird als durch den Wunsch nach Nähe zum Arbeitsplatz (Guth et al. 2012).

Durch automatisiertes Valet-Parking könnte die Parkplatzsuche am Zielort entfallen, was die Nutzung eines eigenen PW zusätzlich erleichtert. Parkflächen lassen sich intensiver nutzen und besser bündeln, würden bei weiterhin vorherrschendem MIV aber keineswegs obsolet werden. Laut Heinrichs (2015) wird bei Einsatz eines Parkroboters von bis zu 60% mehr Parkplätzen auf gleicher Fläche ausgegangen. Weiter wird argumentiert, dass bei Umwidmung von Verkehrsflächen für andere Zwecke die Attraktivität urbaner Räume erhöht werden könnte (Szimba and Orschiedt 2017; Litman 2015) wodurch Potentiale zur Reduktion des Verkehrsvolumens möglich würden.

Die in den Studien identifizierten Wirkungen beziehen sich dabei meist stark auf einen sehr hohen Durchdringungsgrad mit AF. Inwieweit bzw. unter welchen Bedingungen solche Potentiale in den nächsten Jahrzehnten tatsächlich realisierbar sind bleibt zu untersuchen. Entscheidend ist auch die Anzahl der zu parkenden PW und damit inwieweit neue Angebots- und Nutzungsformen den Autobesitz in einem Raum reduzieren. Fraedrich et al. (2017) führen an, dass bei hoher Nachfrage in Innenstädten der Parkdruck auf die Randbereiche verlagert werden könnte; das selbstfahrende Auto setzt den Passagier in der Innenstadt ab und wartet dann am Stadtrand.

Unsicher bleibt, wie stark der MIV tatsächlich an Attraktivität gewinnt, wenn sich der Fahrer auf andere Dinge konzentrieren kann und ob bzw. vor allem auch in welchem Ausmass längere Fahrzeiten in Kauf genommen würden. Ebenso unklar bleibt die raumplanerisch sehr wichtige Frage ob und in welchem Ausmass langfristige Mobilitätsentscheidungen tatsächlich von einer erhöhten Bereitschaft zu längeren Wegen betroffen wären. Unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen könnten hier unterschiedliche Präferenzmuster zeigen, so möchten manche Menschen aus mehreren Gründen gerne im urbanen Umfeld wohnen. Zudem ist zu vermuten, dass es hinsichtlich des Zersiedlungsdrucks starke regionale Differenzen gibt, z.B. je nach Preisgefälle zwischen Stadt und Umland im Immobiliensektor. Möglicherweise können hier bisherige Entwicklungen bei den Pendlerbewegungen Anhaltspunkte liefern. Heinrichs (2015) regt an, die Entscheidungszusammenhänge zwischen längerfristigen (Standortwahl) und alltäglichen Mobilitätsentscheidungen (Wahl von Zielen und Verkehrsmitteln) mehr zu berücksichtigen. Zudem wäre zu prüfen inwieweit neue Nutzungs- und Angebotsformen zwischen MIV und ÖV, wie sie oft vornehmlich für Grosstädte diskutiert werden, auch in Klein- und Mittelstädten zu einer Angebotsverbesserung und in Folge zu einer Steigerung der Standortattraktivität beitragen könnten.

Sehr wenig veröffentlichtes Wissen findet sich zu möglichen Raumwirkungen eines **automatisierten Güterverkehrs**. Neubewertung der Reisezeiten wird hier insofern diskutiert, dass der Fahrer, falls noch vorhanden, z.B. auf Autobahnen anderen Tätigkeiten nachgeht (z.B. Routenplanung, Fuhrparkmanagement, Erholung; Flämig 2015). Fällt der Fahrer ganz weg steigt die Wettbewerbsfähigkeit des Strassengüterverkehrs entscheidend. Kosten sinken, Lenk- und Ruhezeiten entfallen. Inwieweit sich das auf Raumstrukturen auswirken könnte ist unklar und nicht in der Literatur behandelt. Sollten Suburbanisierungsprozesse einsetzen könnte das auch bedeuten, dass Güter verstärkt online bestellt werden, wegen der schlechteren Versorgungslage vor Ort. Durch Automatisierung sinkende Transportkosten könnten solch eine Tendenz zum Online-Handel verstärken und den Einzelhandel vor Ort schwächen. Die Automatisierung von PV und GV könnte somit zusammenwirken und Zersiedlungsprozesse verstärken.

Zentrale Fragen / Wissenslücken

- Wie wirken sich insbesondere Reisezeitgewinne, aber auch andere Effekte des AF auf mittel- und langfristig mobilitätsrelevante Entscheidungen wie die Wahl des Wohn- Arbeits- oder Ausbildungsorts aus (räumlich Makrosicht)?
- Welche geographischen Regionen könnten besonders betroffen sein, z.B. vor allem Mittelzentren im Einzugsbereich grösserer Städte? Oder auch kleinere Dörfer in der weiteren Umgebung?
- Welche siedlungsstrukturellen Effekte sind zu erwarten (räumliche Mikrosicht), z.B. bezüglich Gestaltung öffentlicher Strassenräume, neue Raumbedürfnisse wie Sharing-/Ridingstandorte, Zugänglichkeiten, etc.?
- Sind die bestehenden raumplanerischen Instrumente zu Standortentscheidungen in der Wirtschaft und Logistik genügend, um den raumwirksamen Risiken von AF entgegenzuwirken?

3 Nutzungsszenarien

3.1 Allgemeines und Wirkungsmodelle

Szenarien sind Bilder einer vorstellbaren zukünftigen Entwicklung. Sie bestehen aus einem Gerüst von Annahmen, aus denen mit geeigneten Methoden mögliche Entwicklungspfade bzw. -perspektiven abgeleitet werden. Entscheidend ist, dass die Annahmen in sich widerspruchsfrei sind. Hingegen haben verschiedene Szenarien a priori keine unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Grundsätzlich werden in der Szenariotechnik die relevantesten Einflussfaktoren (Treiber) eruiert und zu einem konsistenten Gesamtbild zusammengefügt. Die Gewichtung der Einflussfaktoren ist letztlich aber von der Zielsetzung der entsprechenden Studie abhängig. So kann bewusst auch nur eine Gruppe von Einflussfaktoren als szenariobestimmende Stellgrösse definiert werden, unabhängig davon, ob in der realen Welt diese Stellgrösse die hauptbestimmende Grösse ist.

Die Auswertung der Literatur zur Szenarienbildung, im allgemeinen Kontext zukünftiger Mobilität und automatisierten Fahrens im Speziellen, führt zu folgenden allgemeinen Erkenntnissen:

- Grundsätzlich arbeiten sehr viele Studien mit Szenarien, gerade auch Studien welche Wirkungsanalysen zum zentralen Inhalt haben (u.a. EBP 2017, Ecoplan 2018, INFRAS und YouMeo 2018).
- Die Einflussfaktoren (Treiber) und deren Wirkungszusammenhänge sind äusserst vielschichtig. Die meisten Studien unterscheiden zunächst zwischen übergeordneten Umfeld- oder Kontextfaktoren (allgemeine Wirtschaftsentwicklung, Bevölkerung, Energiepreise, etc.) und mobilitätsspezifischen Einflussfaktoren (Kosten, Reisezeiten, Komfort, etc.).
- Die übergeordneten Umfeldfaktoren werden häufig in Form von Sensitivitätsanalysen abgehandelt; typischerweise wird zwischen hoher und tiefer Strukturentwicklung unterschieden.
- Bei der Herleitung von szenariobestimmenden Treibern wird i.d.R. eine Relevanzanalyse durchgeführt. Neben der Relevanz wird häufig auch die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung hinzugezogen. Treiber mit hoher Relevanz bei gleichzeitig grosser Unsicherheit sind als Szenario-Stellschrauben am interessantesten.
- Bei den breit angelegten Studien zur zukünftigen Mobilität (z.B. SVI 2016/002, Ifmo 2015) haben die mit der Digitalisierung ermöglichten Vernetzungsmöglichkeiten einen hohen Stellenwert. Mit der Vernetzung verbunden sind insbesondere neue kollektiv genutzte Mobilitätsangebote. Insofern ist der Themenkomplex der Sharing oder Collaborative Economy eine häufig benutzte Szenario-Stellschraube.
- Letzteres betrifft auch Studien, welche das automatisierte Fahren zum zentralen Inhalt haben. D.h. es wird häufig zwischen privater/individueller und öffentlicher/kollektiver Nutzung von automatisierten Fahrzeugen bzw. Fahrten in AF unterschieden (sei dies in Form von Sharing, Pooling, o.a.). Der Fahrzeugbesitz (privat/individuell bzw. kommerziell/zentral/kollektiv) spielt dabei auch eine Rolle.
- Studien unterscheiden bei den Einsatz-/ Nutzungsformen häufig auch hinsichtlich des Einsatzgebietes (urban, suburban, ländlich bzw. offene oder geschlossene Systeme). In einzelnen Studien – insbesondere in solchen, die sich auf den Stadtverkehr beziehen – wird zudem der fließende als auch der ruhende Verkehr (Parking) berücksichtigt.
- Auch ein wichtiger Aspekt in Studien zu automatisierten, geteilten Fahrzeugen ist die Unterscheidung von Geschäftsmodellen. Dabei wird beispielsweise zwischen Business-to-Consumer (B2C), Peer-to-Peer (P2P) und For-Hire-Servicemodellen (z.B. Stocker und Shaheen 2017) oder zwischen produktbasierten und dienstleistungsbasierten Modellen (BMW 2016) unterschieden.

- Neben der Nutzung ist die technologische Entwicklung eine häufig verwendete Stell-schraube. Es wird zwischen High-Tec und Low-Tec Entwicklung unterschieden. Davon werden Durchdringungspfade von AF abgeleitet.
- Die Marktdurchdringung von AF ist aber neben der technologischen Entwicklung von zahlreichen weiteren Einflüssen abhängig, insbesondere von Regulierungen, rechtlichen Fragen und Akzeptanz seitens der Nutzenden. Insofern muss man sich bei der Szenarienbildung entscheiden, ob der Durchdringungsgrad als solcher in einem Zeitpunkt X das zentrale Ergebnis der Szenariobildung ist oder ob ein solcher gesetzt wird (und die unterschiedlich möglichen Nutzungsformen mit Durchdringungsgrad x variiert werden sollen).

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen vereinfachte Wirkungsmodelle für den automatisierten Personen- und Güterverkehr:

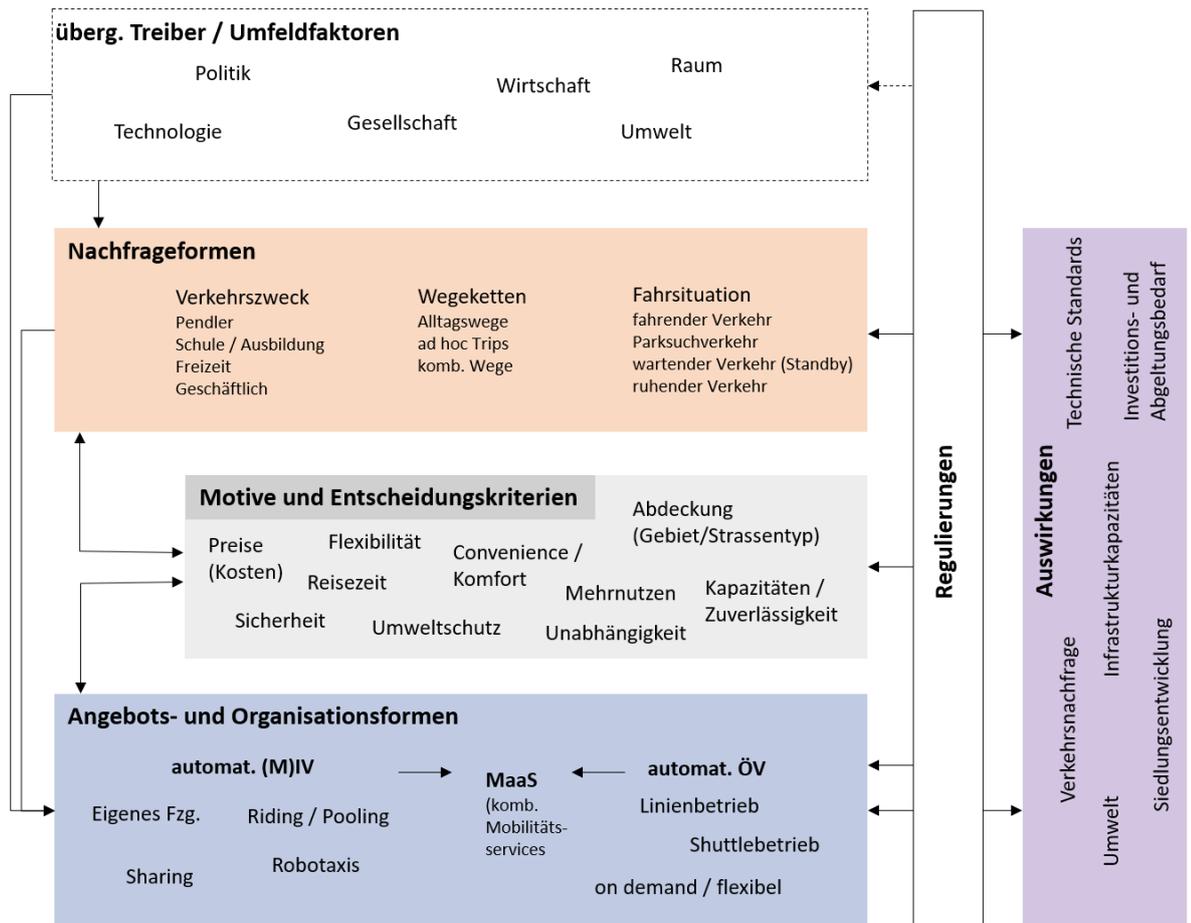


Abb.3 Systemmodell automatisiertes Fahren Personenverkehr

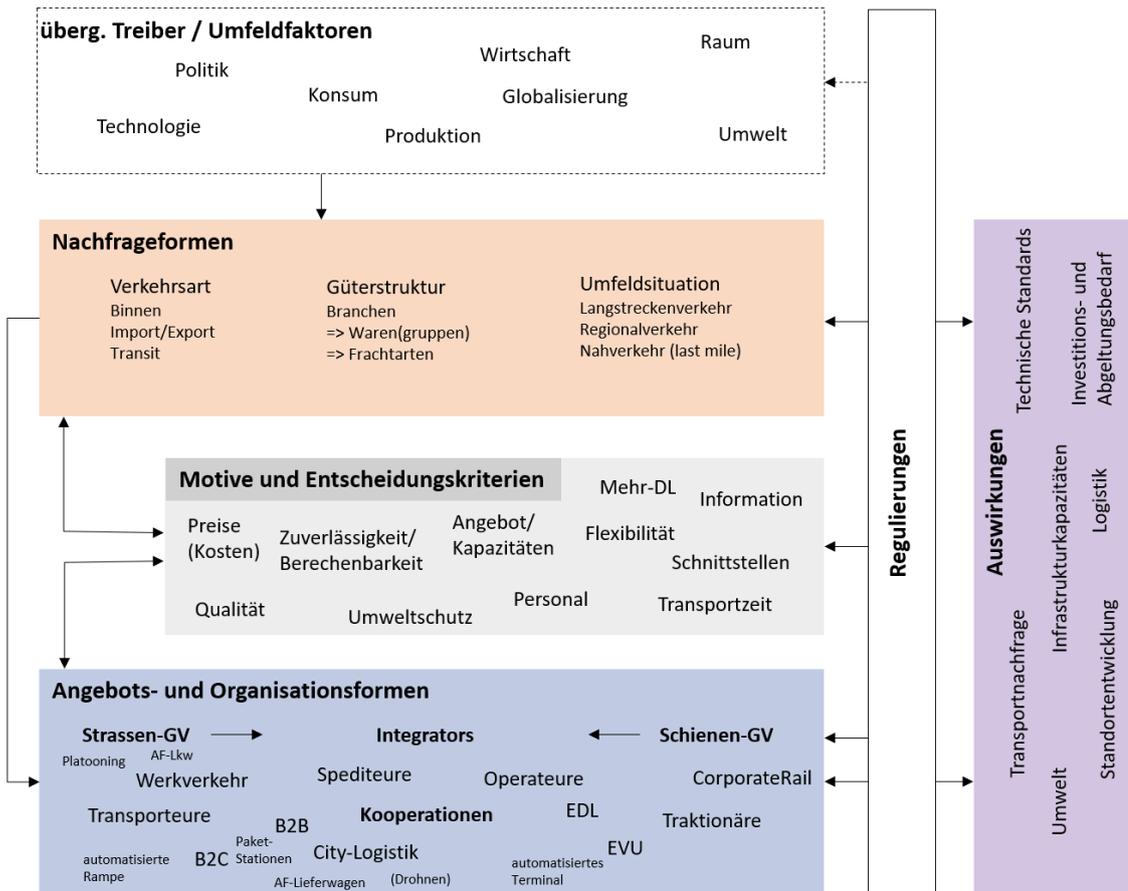


Abb.4 Systemmodell automatisiertes Fahren Güterverkehr

Basierend auf den bisherigen Ausführungen geben die nachfolgenden Kapitel einen Überblick über die für das Forschungspaket relevanten Eingrenzungen der Einflussfaktoren, die in der Szenariobildung Berücksichtigung finden.

3.2 Szenariobildung

Ziel des TP1 ist es, den weiteren Teilprojekten abgrenzbare Nutzungsszenarien vorzugeben innerhalb deren sektorale Wirkungen aufgezeigt werden sollen. Die Szenariobildung hat nicht den Anspruch das Mobilitätsverhalten als Ganzes zu erklären, sondern die Bandbreite möglicher Nutzungsformen aufzuzeigen. Die Relevanz von Einflussfaktoren muss im Hinblick auf die Ziele des Forschungspakets eingegrenzt werden. Folgende Überlegungen führen zu einer Eingrenzung in drei Schritten:

1. Strukturelle Umfeldfaktoren

Wie die meisten Entwicklungen im Verkehr ist auch das automatisierte Fahren von verschiedenen übergeordneten Umfeldfaktoren abhängig. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen Umfeldfaktoren, die das generelle Verkehrsvolumen bestimmen (unabhängig ob mit oder ohne AF gefahren wird) und solche, welche die technologische Entwicklung und Marktdurchdringung des automatisierten Fahrens und dessen Verteilung im Schweizer Verkehrssystem bestimmen. Zu ersteren gehören insbesondere die zukünftige Bevölkerungs-, Siedlungs-, Wirtschafts- und Arbeitsplatzentwicklung. Die AF-Szenarien orientieren sich diesbezüglich an den aktuellsten Referenzszenarien des Bundes (BFS, SECO, ARE). Die Eckwerte dazu sind im Kapitel 3.3 zusammengefasst. In der vorliegenden Szenariobildung werden die strukturellen Entwicklungen nicht variiert.

2. Technologie und regulatorische Umfeldfaktoren für die zeitliche Diffusion

Verschiedene Umfeldfaktoren bestimmen die weitere technologische Entwicklung sowie die Marktakzeptanz und somit die Marktdurchdringung von AF. Für die vorliegenden Nutzungsszenarien wird zwischen technischer Reife / Zulassung und effektiver Marktdurchdringung unterschieden. Die Marktdurchdringung und die damit zusammenhängenden realen Wirkungen im Verkehr sind Gegenstand der von den Teilprojekten zu erarbeitenden Wirkungsanalysen (v.a. TP5). Die Nutzungsszenarien definieren dazu qualitative Annahmen mit Fokus auf Angebots- und Nutzungsformen. Hinsichtlich technischer Reife i.e.S. und Zulassungsbedingungen werden für die vorliegenden Nutzungsszenarien folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Technologische Entwicklung als solche: D.h. Ausgereiftheit und Zuverlässigkeit der Technologie. In Anbetracht, dass bereits heute verschiedene Pilotversuche mit Level 5-Fahrzeugen durchgeführt werden und in Anlehnung an die Mehrheit der vorliegenden Studien wird sowohl für den Personen- als auch den Güterverkehr von einer grundsätzlich raschen technischen Reife ausgegangen. D.h. im Verlauf der 2020er-Jahre werden Level 3 Fahrzeuge technisch reif und bis 2030 grundsätzlich auch Level 4- und Level 5 Fahrzeug in Testphasen eingesetzt sein. Das heisst aber nicht, dass die Fahrzeuge dann bereits gekauft und frei eingesetzt werden. Hier setzen die weiteren Schritte der Szenariobildung an.
- Anwendbarkeit der Technik und Regulierung: Abhängig von der technischen Reife und vielen weiteren Faktoren im In- und Ausland, wird die Zulassung von Fahrzeugtypen unterschiedlich rasch voranschreiten. D.h. wenn Annahmen zu den Diffusionspfaden von AF definiert werden, sind auch Mindestannahmen zu formulieren, wie stark der Regulator die Diffusion unterstützt oder hemmt. In der vorliegenden Szenariobildung wird die Regulierung bewusst zurückhaltend als Treiber eingesetzt. D.h. die Zulassungen werden eher reaktiv vorgenommen, wenn die Technik reif ist (Fahrzeuge und Infrastrukturen), die Verkehrssicherheit gewährleistet ist und die Nachfrage und Akzeptanz vorhanden ist. Die Diskussion der notwendigen Regulierung um ein anzustrebendes «Zielszenario» zu erreichen, wird zentraler Gegenstand der Synthesarbeiten sein (Kapitel 5). Quantitative Eckwerte zu denkbaren Durchdringungsgraden bei den Fahrzeugbeständen wurden im Forschungsprojekt erarbeitet («Migrationsszenarien»).

3. Angebots- und Nutzungsformen als Schlüsselfaktoren

Kerninteresse des vorliegenden Forschungsprojektes ist die Frage, wie die Nutzung des automatisierten Fahrens das Schweizer Verkehrssystem verändert und wo der Infrastrukturbetreiber (und sonstige Bereiche der öffentlichen Regulierung) mit speziellem Handlungsbedarf konfrontiert sein wird. Dies wie oben erwähnt unter der Prämisse, dass die Technologie als solche reif ist und (zumindest im Endzustand 2050) auch vollständige zugelassen ist, d.h. dass das Regulativ keine wesentliche Hürde darstellt (sondern primär lenkend wirkt). Letztlich geht es somit um die Frage der Akzeptanz der neuen Systeme und damit der Marktdurchdringung.

Die Akzeptanz wiederum ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig und Gegenstand von jahrzehntelanger Forschung im Bereich des Mobilitätsverhaltens und der Verkehrsmittelwahl im Speziellen. Der wissenschaftliche Diskurs im Personenverkehr wird u.a. dahingehend geführt, wie stark der Mensch sich im Verkehrsverhalten als «Homo oeconomicus» verhält oder sich an kontextuellen, individuell-psychologischen und gesellschaftlich-normativen Faktoren orientiert (u.a. FehrAdvice 2018). Im Güterverkehr herrscht demgegenüber grosser Konsens, dass die Durchsetzung neuer Technologien weit stärker marktwirtschaftlich getrieben ist.

Die Szenariobildung im vorliegenden Kontext hat nicht den Anspruch das Mobilitätsverhalten als Ganzes zu erklären, sondern die Bandbreite möglicher Nutzungsformen aufzuzeigen.

- Im Personenverkehr stehen unterschiedliche Angebotsformen im Fokus. Es ist zu erörtern welche Motive der verschiedenen Nachfrageformen angesprochen werden, d.h.

wie stark diese nachgefragt (unter der Prämisse, dass sie technisch einwandfrei funktionieren und zugelassen sind) werden und letztlich welcher Wirkung dies auf die Marktdurchdringung von AF hat.

- Im Güterverkehr ist diese Logik nur bedingt übertragbar. Zwar sind auch hier unterschiedlich verteilte Angebotsformen denkbar. Sie sind aber weit weniger steuerbar, weil sie stärker als der PV den marktwirtschaftlichen Gesetzen gehorchen. Dennoch wird auch im GV eine gewisse angebots-/ nutzungsorientierte Differenzierung der Szenarien vorgenommen.

Im folgenden Kapitel werden die Kernannahmen zu unterschiedlichen Angebots- und Nutzungsformen im Personen- und Güterverkehr aufgezeigt mit Schwerpunkt auf die Eckszenarien im Jahr 2050 sowie qualitativen Ergänzungen zu den Diffusionspfaden.

3.3 Nutzungsszenarien

In der Konsequenz der oben angenommenen Eingrenzungen fokussieren die Nutzungsszenarien auf die Variation der Angebots- und Nutzungsformen. Die in den Systemmodellen ebenfalls aufgezeigten «Nachfrageformen» werden nicht variiert. Deren Motive prägen aber die Marktdurchdringung unterschiedlicher Angebotsformen. So sind Annahmen zur Relevanz der Hauptmotive (Preise, Komfort, Effizienz, etc.) letztlich auch Bestandteil der Szenariobildung. Die Szenarien decken dazu die «Grenzen» der denkbaren Spannweite zwischen individueller und kollektiver Mobilität ab:

- Szenario A: Stark individuelle, vorwiegend monomodale Mobilität mit wenig differenzierten Angebots-/Organisationsformen. Das Szenario A setzt v.a. auf die Vorteile des AF aus Sicht des Individualverkehrs (resp. im GV aus Sicht eines Einzelanbieters): Kapazitäts- und Reise-/Transportzeitgewinne bei höchstmöglicher Flexibilität und individuellem Mehrnutzen der Fahrt.
- Szenario B: Kollektive (resp. im GV kooperative), vielfach multimodale Mobilität mit differenzierten Angebots-/Organisationsformen. Das Szenario B stellt das systemische Optimierungspotential der Technologie zur Vernetzung und Effizienzsteigerung in den Vordergrund.

Die zwei Szenarien sind gut vergleichbar mit den Szenarien 2 («Revolution der individuellen Mobilitätsservices») und 3 («Revolution der kollektiven Mobilitätsservices») des Forschungspaketes VdZ Verkehr der Zukunft³. Sie fokussieren jedoch im Vergleich zu VdZ technologisch auf das automatisierte Fahren und betonen stärker die Angebots- und Nutzungsformen als Szenario-Stellgrößen. Im Folgenden werden die zwei Szenarien für den Personen- und Güterverkehr getrennt beschrieben.

3.3.1 Personenverkehr

Die Szenarioabgrenzung im Personenverkehr basiert auf folgenden Überlegungen:

- Die Nutzung dürfte sich mit automatisierten Fahrzeugen noch mehr als heute zwischen den Polen Eigenbesitz und kollektiv nutzbaren Angeboten bewegen. Diese zwei Grundformen sind durch gänzlich unterschiedliche Motive der Verkehrsteilnehmenden bestimmt: Beim Eigenbesitz dominieren die Motive Flexibilität und Unabhängigkeit. Raumbedarf und Kosten sind weniger vordringlich. Bei den Nutzungsformen auf Basis der Sharing Economy spielen Convenience-, Reisezeit- und Kostenargumente eine grössere Rolle. Man möchte die Verantwortung abgeben und ist bereit, einen organisatorischen Initialaufwand in Kauf zu nehmen.

³ siehe SVI 2016/002 und entsprechende Teilprojekte

- Neue Angebots- und Organisationsformen sind vor allem im Bereich des Sharing-/ Riding-Angebots zu erwarten. D.h. automatisierte Fahrzeuge dürften gegenüber konventionell betriebenen wartungsintensiver sein. Dies führt zu vermehrtem Kostenbewusstsein bei bisher auf Eigenbesitz fokussierten Personen.
- Bei den Organisationsformen (Business-Modellen) sind die Entwicklungen nur schwierig vorherzusagen. Viele Rahmenbedingungen prägen die Wirtschaftlichkeit spezifischer Modelle. Die Differenzierungen konzentrieren sich jedoch vor allem auf die Frage der Grösse der Marktplayer sowie auf den Öffentlichkeitscharakter. Die Grösse der Marktplayer hängt auch vom räumlichen Bezugssystem ab. Je städtischer die Gegend, umso grösser das Nachfragepotential und umso interessanter ist ein Markteinstieg für grosse Anbieter. Die Regulierung spielt vor diesem Hintergrund eine relevante, aber nicht zwingend dominante Rolle. Denkbar ist namentlich ein Szenario, wo infolge sehr hoher Fahrzeugkosten nur grosse Player, vorab die Automobilproduzenten selber, Flotten von AF im Angebot bereitstellen können, diese jedoch vermehrt Kooperationen suchen mit Firmen, die auf Verleih und Betrieb von AF spezialisiert sind (Tab. 1).

Vor dem Hintergrund der bisherigen Ausführungen werden zwei «Eckszenarien» im Fernzustand 2050 definiert: ein wenig differenziertes und ein differenziertes Nutzungsszenario.

Hinweise zum Diffusionspfad 2020 - 2050:

Für das vorliegende Forschungspaket werden von TP1 keine quantitativen Vorgaben zu Marktdurchdringung von AF auf dem Hintergrund der äusserst unsicheren Ausgangslage gemacht. Es ist auch nicht a priori klar, ob bzw. wie stark sich die zwei Szenarien punkto Gesamtdurchdringung von automatisierten Fahrzeugen auswirken. TP5 hat als Grundlage für die quantitativen Modelldurchläufe Eckwerte zu Fahrzeug-Durchdringungsgraden erarbeitet, in Iteration mit den anderen TPs («Migrationsszenarien»). Die Teilprojekte haben aufgrund dieser Annahmen die Wirkungen auf das Verkehrsaufkommen, die Verkehrsleistungen, deren zeitliche und räumliche Verteilungen, etc. in den zwei Nutzungsszenarien A und B analysiert.

Tab. 1 «AF-Nutzungsszenarien» im Personenverkehr im Jahr 2050

	Individuelle und monomodale Nutzungsformen (Szenario A)	Kollektive und multimodale Nutzungsformen (Szenario B)
Umfeldfaktoren (Struktur)	Bevölkerung: BFS-Szenario A-2016 (10 Mio. Schweiz 2040) Wirtschaft: anhaltendes Wachstum von 0.5 – 1.0 % pro Jahr Siedlungsentwicklung: Umsetzung RPG-1, d.h. anhaltende Urbanisierung und Siedlungsentwicklung nach innen. Zersiedelungstrend aber anhaltend bis die (noch bedeutenden) Bauzonenreserven aufgebraucht sind.	
Umfeldfaktoren (Technik)	technisch funktioniert alles, d.h. höchste, heute denkbare Automatisierung (jedoch differenziertere Annahmen zur Marktdurchdringung)	
Umfeldfaktoren (Regulierung)	vorerst keine substanziellen Eingriffe, d.h. allfällige regulative Reaktionen sollen aus den Folgen der Szenarien abgeleitet und im Zielszenario appliziert werden	
Nutzungsmotive und Nachfrageformen	<ul style="list-style-type: none"> • Getrieben wird das Szenario durch die Motive Flexibilität und Unabhängigkeit, welche die individuelle Mobilität bestimmen. • Nur ein Teil der Bevölkerung orientiert sich stärker an preisorientierten Kriterien und organisiert die Mobilität ohne Verkehrsmittelbesitz. • Letzteres betrifft v.a. den Freizeit- und Einkaufsverkehr, im Pendlerverkehr kann v.a. der MIV von der Automatisierung profitieren (produktivere Reisezeit). 	<ul style="list-style-type: none"> • Getrieben wird das Szenario von vermehrtem Convenience-Denken und Kostenkalkulation. Der Eigenbesitz (mit hohen Opportunitätskosten) verliert an Bedeutung). • Zu Beginn wird v.a. der Freizeit- und Einkaufsverkehr automatisiert über Drittangebote genutzt (ad hoc Wege). • Mit zunehmenden Erfahrungen werden die Angebote aber auch für den Pendlerverkehr genutzt. Dabei muss der ÖV nicht Verlierer sein, denn attraktive MaaS-Angebote fangen potentielle Marktverluste teilweise ab.
Angebotsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Schwerpunkt bleibt Eigenbesitz • Sharing/Pooling -Angebote nehmen ggü. heute zu, ohne jedoch den Markt zu beherrschen • ÖV-Angebote differenzieren sich, d.h. nutzen die Automatisierung, insb. für Kostenoptimierungen • Neue Komb. Systeme (Maas) entwickeln sich nur langsam 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenbesitz nimmt deutlich ab • Sharing/Riding-Angebote nehmen stark zu und neue (Flottenbasierte) Anbieter treten im Markt auf • ÖV-Angebote differenzieren sich stark in Richtung komb. Systeme (Maas). • Damit verbunden sind neue kooperative Organisationsformen zwischen bisherigen Transportunternehmen und privaten (Fahrzeug-)Anbietern.
Organisationsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Es dominiert weiterhin der Eigenbesitz • Die kommerziellen Sharing- und Pooling-Angebote nehmen leicht zu. Die Anbieterstruktur bleiben hier aber eher kleingewerblich organisiert (neue Taxisysteme) • Kooperationen zwischen ÖV-Unternehmen und privaten Flottenbetreibern nehmen zu, wenn auch in überschaubarem Umfang 	<ul style="list-style-type: none"> • Neben kleingewerblichen Taxisystemen (Robotaxis) treten neue Flottenbetreiber von AF auf den Markt. Die grossen Autohersteller entwickeln neue Business-Modelle, in Kooperation mit Vermietungs-/Sharing-Firmen. • Die ÖV-Unternehmen entwickeln in diesem Szenario komplett neue Business-Modelle. Neben der Automatisierung des klassischen ÖV (Personenbeförderungsregal) werden vermehrt Kooperationen für MaaS-Systeme eingegangen, um die Bedürfnisse des Individualverkehrs zu integrieren.
Räumliche Verbreitung	<ul style="list-style-type: none"> • Der automatisierte MIV wird sich rasch flächig ausbreiten, regulatorische Restriktionen sind am ehesten in den städtischen Kernzonen zu erwarten. • Räumlich wird sich die Automatisierung im ÖV zuerst in ländlichen Regionen und in Randzeiten durchsetzen (Kostendruck, hohe Anforderungen im komplexen städtischen Raum) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Automatisierung wird rasch alle Raumkategorien umfassen. • Mit attraktiven MaaS-Angeboten werden auch kurze Wege in städtischen Räumen vermehrt automatisiert abgewickelt.

3.3.2 Güterverkehr

Mehr als im Personenverkehr sind die Szenarien zur Nutzung automatisierten Fahrens im Güterverkehr implizite Zustände der Wahl von Angebotsformen (Modalsplit resp. Grad der intermodalen Verzahnung). Hier jedoch spielen die mit der Automatisierung verbundenen Ausprägungen der Entscheidungskriterien eine grosse Rolle.

- Scheidepunkt zwischen den Szenarien ist die Frage der modalen Produktivität: Gelingt es der Bahn, in heute unproduktiven resp. wenig ertragreichen Bereichen mittels Automatisierung die Effizienz so zu steigern, dass sie stärker intermodal in den Güterverkehr integriert werden kann resp. zum Vorteil aus Energie- und Umweltsicht Marktanteile im nationalen Güterverkehr vom Strassenverkehr übernimmt?
- Kann die Automatisierung des Strassenverkehrs die heute an Optimierungsgrenzen stossende Kostenstruktur sowie strukturelle Engpässe beim Fahrpersonal abfedern? Lässt sich ein intermodaler Verkehr unter den Veränderungen in der Güterstruktur effizient bereitstellen?
- Die Automatisierung bietet insbesondere in drei Bereichen grosses Potential (vgl. Systemmodell):
 - Im «klassischen» Strassengüterverkehr mit dem Fokus auf den Ersatz des Fahrpersonals durch entsprechende Technologie.
 - An der Schnittstelle intermodaler Transporte zur Automatisierung der heute kosten-treibenden Umschlagsvorgänge.
 - Auf der sogenannten letzten Meile insb. im städtischen Lieferverkehr – sowohl im direkten Kontakt zum Endkunden (insb. KEP, aber auch neuartige Online-Angebote des stationären Handels) wie auch bei der Intralogistik des stationären Handels zur Filialbelieferung und -entsorgung.
- Der erste und der letzte Punkt kann (und muss) Bestandteil beider Szenarien sein, jedoch in unterschiedlicher Fokussierung einzelner Einsatzbereiche. Bei höherer Intermodalität konzentriert sich die Automatisierung auf die Bereiche, welche in einem solchen Szenario stärker strassenaffin sind (Vor-/Nachlauf, Feinverteilung, etc.). Die letzte Meile organisiert sich allenfalls in einem Szenario höherer Intermodalität etwas anders als in einem eher strassenorientierten monomodalen Szenario – Aufkommen und Relationen sind jedoch durchaus vergleichbar. Und: die letzte Meile wird in einem solchen Szenario kooperativer als in einem monomodalen Szenario mit starken Einzelplayern am Markt.

Vor diesem Hintergrund werden zwei Szenarien im Fernzustand 2050 definiert, die sich auch in die beiden Szenarien zum Personenverkehr einpassen: ein Szenario mit wenig Multimodalität infolge hoch automatisiertem Strassengüterverkehr sowie ein Szenario mit hoher Multimodalität und intramodaler Kooperation infolge aufeinander abgestimmter automatisierter Schnittstellen beider Landverkehrsträger.

Hinweise zum Diffusionspfad 2020 -2050:

Auch zur Entwicklung im Güterverkehr ist die Literatur nicht eindeutig. Einerseits kann davon ausgegangen werden, dass infolge Wettbewerbsdruck kostenorientierte Vorteile von automatisierten Fahrzeugen im Güterverkehr einen grösseren Einfluss haben (v.a. Einsparung von Chauffeuren). Auf der anderen Seite muss beachtet werden, dass sehr hohe We-ganteile auf Warengruppen und Verkehrsarten entfallen, die deutlich schwieriger voll-automatisierbar sind (v.a. Bauwirtschaft, kleinräumiger Binnenverkehr). Zudem sind die Zyk-len der Flottenerneuerung je nach Branche länger als im Personenverkehr.

Tab. 2 «AF-Nutzungsszenarien» im Güterverkehr im Jahr 2050

	Individuelle und monomodale Nutzungsformen (Szenario A)	Kollektive und multimodale Nutzungsformen (Szenario B)
Umfeldfaktoren (Struktur)	Bevölkerung: BFS-Szenario A-2016 (10 Mio. Schweiz 2040) Wirtschaft: anhaltendes Wachstum von 0.5 – 1.0 % pro Jahr Siedlungsentwicklung: Umsetzung RPG-1, d.h. anhaltende Urbanisierung und Siedlungsentwicklung nach innen. Zersiedelungstrend aber anhaltend bis die (noch bedeutenden) Bauzonenreserven aufgebraucht sind.	
Umfeldfaktoren (Technik)	alles geht, d.h. höchste, heute denkbare Automatisierung (punktuelle Details weiter unten)	
Umfeldfaktoren (Regulativ)	vorerst keine Eingriffe, d.h. allfällige regulative Reaktionen sollen aus den Folgen der Szenarien abgeleitet und im Zielszenario appliziert werden	
Nutzungsmotive und Nachfrageformen	<ul style="list-style-type: none"> • jeglicher Flächenverkehr (im Binnenverkehr) wird via Strasse abgewickelt (da WLW in der Fläche nicht konkurrenzfähig) • ebenso auf der Strasse sind die Langdistanzen im Binnenverkehr beim Stückgut (mit der Ausnahme AQQV sowie Massengut in Ganzzügen auf der Bahn) • bei Import/Export und insb. Transit sind die Stückgutsegmente im KV auf der Bahn, d.h. bei Import/Export hat es noch Vor-/Nachlauf auf der Strasse • Regional- und Nahverkehr läuft (wie schon heute) nur auf der Strasse inkl. neuer Nutzungsformen auf der letzten Meile... • ...die wie folgt umrissen werden kann: KEP-Auslieferung bleibt das Rückgrat, wird aber ergänzt um anbieterspezifische stationäre Abholpunkte und in Abhängigkeit der gewünschten Lieferzeit um weitere autonom agierende Ausliefersysteme (Drohnen, Zustellroboter – jedoch mit begrenztem Mengenanteil) • weiterhin wird es also Detailhandelsstandorte (mit ausgewähltem unabhängigem Angebot resp. als Showroom für eine zeitnahe Lieferung/Abholung) geben • Spezialbranchen (insb. Bau und Land-/Forstwirtschaft) arbeiten nur begrenzt mit AF (50% ihrer Fz-km) 	<ul style="list-style-type: none"> • jeglicher Flächenverkehr (im Binnenverkehr) wird via Strasse abgewickelt (da WLW in der Fläche nicht konkurrenzfähig) • Langdistanzen (auch im Binnenverkehr ab ca. 100km) werden zu 90% von der Bahn abgewickelt • Import/Export zu 50% auf der Bahn • Transit zu 100% auf der Bahn • Regional- und Nahverkehr läuft (wie schon heute) nur auf der Strasse inkl. neuer Nutzungsformen auf der letzten Meile... ...die wie folgt umrissen werden kann: KEP-Auslieferung bleibt das Rückgrat, wird aber ergänzt um anbieterübergreifende stationäre Abholpunkte und in Abhängigkeit der gewünschten Lieferzeit um weitere autonom agierende Ausliefersysteme (Drohnen, Zustellroboter – jedoch mit begrenztem Mengenanteil) • weiterhin wird es also Detailhandelsstandorte (mit ausgewähltem unabhängigem Angebot resp. als Showroom für eine zeitnahe Lieferung/Abholung) geben, die jedoch segmentübergreifende Angebote besitzen • Spezialbranchen (insb. Bau und Land-/Forstwirtschaft) arbeiten soweit es geht mit AF (75% ihrer Fz-km)
Angebots- und Organisationsformen	<ul style="list-style-type: none"> • Punkt-zu-Punkt- sowie Hub-zu-Hub-Verkehr laufen vollautomatisiert mit entsprechenden SNF (Werkverkehr, Kontraktlogistik, Transporteure) • keine Kooperationen in der City-Logistik: jeder verteilt selbst (Level 4 resp. Level 5, aber mit Personal) und entwickelt entsprechende Verteilsysteme • Annahme: 3 (grosse) KEP-Anbieter, 5 (grosse) nationale Transporteure/ Spediteure mit Schwerpunkt Strassengüterverkehr • SNF Level 5 • leichtere SNF (Verteiler, KEP) und LI Level 5 • automatisierte Rampen • Platooning nur temporär auf dem Diffusionspfad bei Level 3 & 4 • für wenige Teilmärkte: Zustellroboter o.ä. im Strassenraum agierende Fahrzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-/Nachlauf und Touren im Regionalverkehr laufen vollautomatisiert • Kooperationen in der City-Logistik: gebündelte Verteilung (Level 4 resp. Level 5, aber mit Personal) mit segmentspezifischen Systemen • Annahme: 1 (grosses) KEP-System in den Agglos, 3 (grosse) nationale Integrators, dazu Nischenanbieter • SNF Level 5 • leichtere SNF (Verteiler, KEP) und LI Level 5 • automatisierte Rampen • Platooning nur temporär auf dem Diffusionspfad bei Level 3 & 4 • für wenige Teilmärkte: Zustellroboter o.ä. im Strassenraum agierende Fahrzeuge • automatisierter Umschlag • integrierte IUK-Systeme
Räumliche Verbreitung	<ul style="list-style-type: none"> • der Fokus liegt zuerst auf den HLS • später kommen die Agglomerationen mit ihren anbieterspezifischen Liefer-/ Verteilerverkehr hinzu 	<ul style="list-style-type: none"> • hier liegt der Fokus in den Agglomerationen mit ihren kooperativen Liefer-/ Verteilerverkehr • dazu kommen die automatisierten Schnittstellen zwischen den Modi

4 Übersicht Ergebnisse aus den Teilprojekten

Aus den Teilprojekten des Forschungsprojekts gehen die sektoralen Wirkungen der Automatisierung im Strassenverkehr hervor. Die detaillierten Ergebnisse sind in den jeweiligen Schlussberichten erläutert. Für das TP1 steht die Synthese der Wirkungen im Vordergrund, die in den Nutzungsszenarien und als allgemeine Folgen der Automatisierung identifiziert wurden.

Um einen Überblick zu den wichtigsten Auswirkungen zu geben, sind in den folgenden Kapiteln die Teilprojekte vorgestellt und die Wirkungen der Teilbereiche zusammengefasst.

4.1 TP2 Verkehrliche Auswirkungen und Bedarf an Infrastrukturen

Überblick

Das TP2 untersuchte die möglichen positiven und negativen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das schweizerische Verkehrssystem.

Mit dem agenten-basierten Verkehrsmodell MATSim wurden die Routenwahl, die Verkehrsmittelwahl, und die Umlegung auf das Schweizer Verkehrsnetz für die Szenarien A und B simuliert. Zielwahländerungen und induzierter Verkehr durch AF sind dabei nicht abgebildet. Es wurden auch drei regionale Szenarien auf Basis der simulierten nationalen Szenarien erstellt, um die Wirkungen räumlich besser einordnen zu können. Zudem wurden in den abgrenzbaren Räumen die Wirkung von AF-Taxis (Sharing-basiert) genauer beleuchtet. Hingegen wurden keine gepoolten Taxisysteme integriert, weil mit den vorliegenden Modellparametern keine eigenwirtschaftliche Geschäftstätigkeit möglich war.

Als zweiter Teil der Analysen im TP2 wurden die Wirkungen des automatisierten Fahrens an den Engpässen auf den Nationalstrassen untersucht. Die Veränderungen an den Engpässen wurden gemäss dem Verfahren der Engpassanalyse des Strategischen Entwicklungsprogramms Nationalstrassen geprüft.

Identifizierte Wirkungen

Die Ergebnisse der Modellierung für den Referenzzustand sowie die Szenarien A und B zeigen die Wirkungen in den drei unterschiedlichen Räumen (Agglomeration, ländlich auf ein Zentrum ausgerichtet (gerichtet) und ländlich nicht auf ein Zentrum ausgerichtet (ungerichtet)) auf. Im Unterschied zu den weiteren Teilprojekten sind die Annahmen zur Nutzung von AF jedoch leicht verändert. Die verkehrlichen Wirkungen des TP2 unterstellen eine auf Automatisierung beruhende Preissenkung im ÖV für alle Szenarien im Jahre 2050 (Senkung der ÖV-Fahrpreise von 20% auf der Schiene und 40% auf der Strasse). Im Szenario B werden die Ergebnisse der Fahrleistung für den Zustand 2050 zudem von einer Modellannahme, die die Nutzung des privaten MIV verunmöglicht beeinflusst. Zudem ist die Funktionalität von automatisierten Taxis in der Modellierung eingeschränkt. Die AF-Taxis stellen kein flexibles Substitut des Privatfahrzeugs oder eines multimodalen ÖV dar. Daher ist ihr Nutzungspotential enger und die analysierte Wirkung dieser Angebotsform nur begrenzt mit der in anderen Teilprojekten identifizierten Wirkung vergleichbar. In der Wirkung wurden die AF-Taxis mit dem MIV zusammengefasst. Die Fahrzeugkilometer können somit auch Leerfahrten (von AF-Taxis) beinhalten.

Da Zielwahländerungen, Leerfahrten von privaten AF und induzierter Verkehr durch die Einführung von AF nicht simuliert werden konnten, verändern sich in den Ergebnissen die Personenkilometer je Szenario nur geringfügig. Der induzierte Verkehr durch AF fällt auch in allen Sensitivitätsbetrachtungen mit einer Zunahme von nur 0.01% sehr gering aus.

Die zurückgelegten **Personenkilometer** in der Schweiz steigen über die nächsten Jahrzehnte (Abb.5). Die Verkehrsleistung in der Schweiz nimmt vorwiegend durch das Bevölkerungswachstum zu. Die Nachfrage hängt dabei räumlich mit der Bevölkerungsentwicklung, Alterung und Ausrichtung der Räume zusammen. Es zeigt sich, dass im Referenzszenario (Grundzustand) die mit dem MIV zurückgelegten Personenkilometer (private AF, AF-Taxis, konventioneller MIV) bis 2040 steigen und danach zurückgehen. Im Szenario A steigen sie auch bis 2050. Im Szenario B sinken die mit dem MIV zurückgelegten Personenkilometer bis 2050 stark und diejenigen im ÖV nehmen deutlich zu. Dies geht auf die modellseitige Einschränkung des privaten MIV sowie mit den durch Automatisierung veränderten ÖV-Fahrpreisen zurück. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass unter den gemachten Annahmen, die Bedeutung des konventionellen MIV zugunsten anderer Angebote zurückgeht.

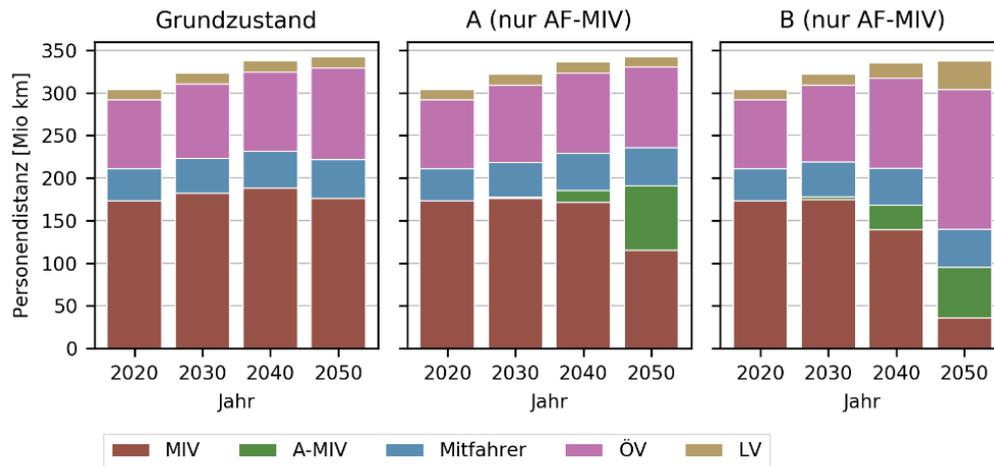


Abb.5 Entwicklung der Personenkilometer nach Jahr und Szenario für die Schweiz

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass in allen Räumen im Vergleich mit dem Referenzszenario 2050 die **Fahrzeugkilometer** 2050 mit AF-Taxis im Szenario B stark (in der städtischen Agglomeration +31%) und im Szenario A sehr stark (in der städtischen Agglomeration +43%) ansteigen. Im Güterverkehr nimmt die Fahrleistung (Fahrzeugkilometer) in allen Räumen zu. Wie in Abb.6 zu sehen ist, nimmt selbst im Grundzustand die Fahrleistung des konventionellen MIV nach 2040 für die Gesamtschweiz ab. In Szenario A wächst die Gesamtfahrleistung leicht, die Leistung MIV auf der Strasse wird durch AF übernommen. Der Fahrzeugbestand zeigt, dass die Flotte nicht schrumpft. Im Szenario B hingegen gehen die Fahrzeugkilometer sowie der PW-Bestand insgesamt stark zurück. AF verkehren hier als kollektive Verkehrsmittel mit höherem Besetzungsgrad. Die Infrastruktur wird weniger beansprucht. Der Anteil der AF-Fahrleistung übersteigt ihren Anteil an der Flotte.

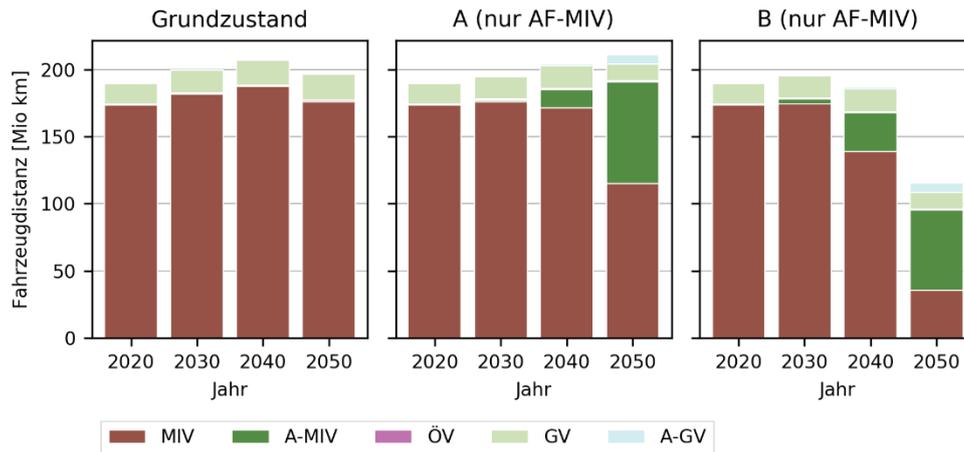


Abb.6 Entwicklung der Fahrzeugkilometer auf der Strasse nach Jahr und Szenario in der Schweiz

Die Engpässe auf den Nationalstrassen bleiben weitestgehend bestehen, d.h. es sind gemäss der Ergebnisse im Mischverkehr nur in geringem Umfang Effizienzsteigerungseffekte durch die Automatisierung zu erwarten. Im untergeordneten Strassennetz steigen die Knotenbelastungen im Szenario A an, hier ist auch von höheren Wartezeiten auszugehen. Im Szenario B gehen die Belastungen leicht zurück. Dies wird auf eine höhere Durchdringung der Flotte zurückgeführt (für 2050: Szenario B 62% AF und Szenario A 32% AF). Bei noch höheren Durchdringungsraten (ab ca. 75%) könnten viele Knoten auf Hauptstrassen optimiert werden oder auch ohne Lichtsignale gestaltet werden, was den Verkehrsfluss fördert.

Insgesamt werden die durch AF möglichen Kapazitätsgewinne durch die Entwicklungen des Bevölkerungswachstums, der Verkehrsmittelverlagerungen, Routenwahlentscheidungen sowie zusätzliche Leerkilometer von AF kompensiert, solange der Betrieb im Mischverkehr stattfindet. Erst mit einer sehr hohen Durchdringung der schweizerischen Fahrzeugflotte mit AF und verstärkter Nutzung von kollektiven Verkehren können Kapazitätsgewinne realisiert werden.

Die Untersuchung von fünf Sensitivitäten der Grundergebnisse zeigen (vgl. Tab. 3), dass in der Modellierung unterstellte Annahmen einen starken Einfluss auf die Wirkungen haben können und eine Steuerung der Entwicklung durch Massnahme beeinflussbar ist.

Wird beispielsweise keine ÖV-Preisreduktion für 2050 unterstellt, nimmt die Gesamtfahrleistung auf der Strasse stärker zu. Die Entlastung der Infrastruktur durch kollektive Verkehre im Szenario B fällt aus. Es wird geschätzt, dass die angenommene ÖV-Preisreduktion (Senkung der ÖV-Fahrpreise von 20% auf der Schiene und 40% auf der Strasse) das Wachstum der ÖV-Personenkilometer verfünffacht.

Tab. 3 Qualitative Einordnung der Sensitivitätsbetrachtungen zu den Engpässen auf dem Nationalstrassennetz im Agglomerationsraum und im Vergleich zum Zustand «ohne Sensitivitäten»

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) → Erhöhter Druck auf Engpässe infolge Mehrnachfrage auf der Strasse, aber keine bedeutenden «Stufensprünge» ⁴ bei den Engpässen	+8% Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) → 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 → Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufen-abstiege» bei den Engpässen sind möglich	-8% Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) bei unveränderten Gesamtreisezeiten → Sinkender Druck auf Engpässe durch reduzierte Nachfrage auf der Strasse, einzelne «Stufen-abstiege» 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 (ca. 20% Kapazitätsverlust).	-10% Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) +20-25% Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen) → Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die Belastung der Engpässe nimmt deutlich zu, es treten bedeutende «Stufensprünge» bei den Engpässen auf	-9% Gesamtfahrleistung auf der Strasse (Anzahl Fahrzeugkilometer) +20-25% Belastung auf Beispielabschnitt (N1 Zürich Ost – Wallisellen) → Mehr Überlastsituationen, dadurch reduzierte Nachfrage auf der Strasse. Die 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) → 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.	+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 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.

⁴ Stufensprünge bezeichnen den Wechsel der Engpassstufen gemäss dem Entwicklungsprogramm Nationalstrassen

4.2 TP3 Umgang mit Daten

Überblick

Die Digitalisierung des Verkehrs umfasst über die Fahrzeugentwicklung und die Anpassungen in der Infrastruktur hinaus insbesondere eine vollständige Vernetzung, Kommunikationsmöglichkeiten und den Austausch von Daten zwischen allen beteiligten Instanzen.

Um den Umfang der Veränderungen und die Einordnung der einhergehenden Herausforderungen einzugrenzen, wurden im TP3 Auswirkungen der Digitalisierung und Automatisierung im Verkehr untersucht. Es wurde eine Analyse der technischen, rechtlichen, ökonomischen und regulatorischen Auswirkungen der Automatisierung vorgenommen. Dabei standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Welche Anforderungen bestehen an Systemkomponenten beim automatisierten Fahren?
- Welche regulatorischen Aspekte müssen in der Entwicklung berücksichtigt werden?
- Welche Entwicklungspfade sind für AF denkbar?
- Welche Arten von Daten fallen im Verkehr mit AF an?

Identifizierte Wirkungen

Die Untersuchung zeigt, dass unabhängig von der Entwicklung hin zum individuellen oder kollektiven Szenario, die Bedeutung von Daten im Verkehr mit einer fortschreitenden Automatisierung stark steigt.

Unter den Bedingungen des Szenario B wird eine grössere Datenmenge erzeugt als im Szenario A. Dies hängt damit zusammen, dass im kollektiven Verkehr Daten wesentlich vernetzter verwendet werden. Ein Austausch erfolgt zwischen verschiedenen Betreibern, verschiedenen Infrastrukturen und unter stärkerer Berücksichtigung von Nutzerprofilen auf allen Verkehrsträgern. Im Szenario B findet zudem ein erheblicher kundendienstlicher Datenaustausch statt und alle Übergabeprozesse, wie die Abstimmung von Anschlussverbindungen, zwischen Modi müssen dynamisch aktualisiert werden. Dies ist nötig, um eine effiziente multimodale Mobilität sicherzustellen. Im Szenario A werden Daten hauptsächlich zur Optimierung des Fahrzeugflusses, also zur Abstimmung der Fahrzeugdaten mit der Infrastruktur oder anderen Fahrzeugen verwendet.

Die Wirkung der Automatisierung und der Zunahme an verfügbaren Daten auf die Verkehrssicherheit wird als positiv bewertet. Im Übergangszeitraum mit Mischverkehr ist die Sicherheit jedoch vermindert, die über geeignete Massnahmen erhöht werden muss. Der Zugriff auf weitere Infrastrukturdaten und deren Vernetzung kann die Information zum Systemzustand verbessern und so die Sicherheit im Verkehr erhöhen. Unklar bleibt, welche Folgen Fehler oder Ausfälle bei den verschiedenen Arten von Datenquellen (z.B. Sensoren) oder verarbeitenden Instanzen haben. Das Risiko der Störungsanfälligkeit steigt mit dem Grad der Vernetzung an. Damit sind bei hoher Komplexität im technologischen Bereich Redundanzen vorzusehen.

Gleichzeitig wird der Zugang zur Mobilität vereinfacht. Durch die Automatisierung von Fahrzeugen im Rahmen von multimodalen Verkehrsketten steht vielen Nutzern ein leicht zugängliches Verkehrsangebot zur Verfügung. Persönliche Angebote können auf Nutzer abgestimmt werden, Präferenzen berücksichtigt werden und Ticketing mit Zahlungsprozessen und Tarifberechnungen können automatisiert erfolgen.

Die Erfordernisse in Bezug auf den Datenschutz werden steigen. Die Erfassung von Infrastrukturdaten, Kundendaten oder Fahrzeugdaten können zur Erstellung von Bewegungsprofilen verwendet werden und weisen somit ein hohes Konfliktpotential mit Persönlichkeitsrechten und dem Datenschutz auf. Zudem müssen Daten vor unbefugtem Zugriff geschützt sein. Somit wird die Komplexität im regulatorischen und rechtlichen Umfeld im Verkehrssektor erhöht.

4.3 TP4 Neue Angebotsformen

Überblick

Der Verkehr sowie die Fahrzeugnutzung auf den Strassen werden sich mit der fortschreitenden Automatisierung des Strassenverkehrs stark wandeln. Durch die Automatisierung von Verkehrsmitteln prägen sich vermehrt auch neue Angebotsformen aus, die die Nachfrage nach Mobilität mit unterschiedlichen Konzepten bedienen.

Das TP4 erarbeitete 26 Kategorien verschiedener automatisierter Strassenfahrzeuge, welche als Angebotsformen definiert wurden, die über die nächsten Jahrzehnte in der Schweiz zur Umsetzung kommen könnten. 15 dieser Angebotsformen im Personenverkehr und 11 Angebotsformen für den Güterverkehr wurden hergeleitet und im Hinblick auf die Reaktionen verschiedener Nutzergruppen untersucht.

Im Personenverkehr wurde eine breite Palette an Angebotsformen untersucht, die auch zwei neue Fahrzeugformen (Ein-Personen-Mobile und zimmergrosse Fahrzeuge mit intensiver Innenraumnutzung durch einzelne Fahrgäste) begründen. Die Angebotsspanne reicht von sehr individuellen Nutzungen zu spezifischen Angeboten die raum- oder zeitgebunden kollektive Verkehre ermöglichen.

Die 11 Angebotsformen für den Güterverkehr orientieren sich stark an der Fahrzeugform, die eng mit ihrem Einsatzzweck abgestimmt ist. Die konzipierten Angebote sollen einen möglichst effizienten und wesensgerechten Einsatz unterstützen.

Alle Angebotsformen wurden aus der Nutzerperspektive betrachtet. Dabei stand im Zentrum, die Potentiale der Angebote für eine spezifische Nutzung im Zeitverlauf mit den Anforderungen der Nutzer zu vergleichen und dadurch ein Nutzungspotential zu ermitteln. Für den Personenverkehr wurde die Ausschöpfung der Nutzungspotentiale je Angebotsform untersucht. Es wurde als Ergebnis festgestellt, dass die Nutzerpotentiale zwischen den beiden Szenarien nicht wesentlich variieren.

Identifizierte Wirkungen

Das grosse Angebot an verschiedenen Verkehrsangeboten führt zu einer hohen Durchdringung des automatisierbaren Teils der Gesamtflotte. Das dortige Potential ist zu 100% ausgeschöpft im Jahr 2050⁵. Dies bedeutet, dass die verschiedenen automatisierten Angebotsformen die nicht-automatisierten Formen verdrängt haben. Es wird angenommen, dass durch den automatisierten Betrieb der Angebotsformen das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung ansteigen werden.

Die Aufteilung je nach Angebotsform ist in der folgenden Darstellung (vgl. Abb.7) für das Szenario B dargestellt. Einen Überblick über die Eigenschaften und Charakteristiken der einzelnen Angebotsformen gibt der Anhang 3 im Bericht des TP4.

⁵ Dabei stellen 100% die Gesamtheit der automatisierbaren Verkehre – also der aufgezeigten Angebotsformen – dar. Der aufgeführte Wert gibt Auskunft über die möglichen Nutzungspotentiale bezogen auf die Gesamtheit der automatisierbaren Verkehre, aber nicht auf den Gesamtverkehr (inkl. dem nicht-automatisierten Verkehr).

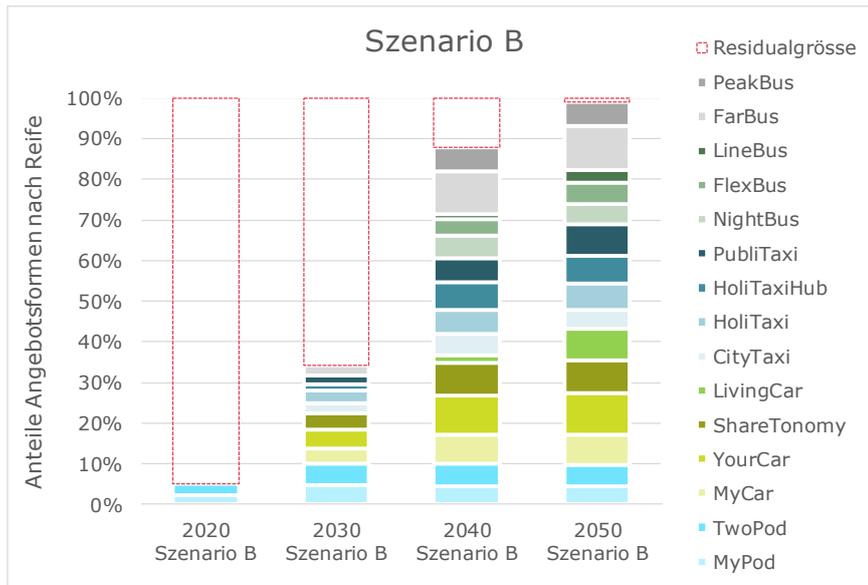


Abb.7 Nutzerpotentiale je Angebotsform im Szenario B (je Zeitschritt)

Die erfolgreichsten automatisierten Angebotsformen 2050 sind vergleichbar mit automatisiertem Car-Sharing (ca. 10% alleiniger Nutzeranteil, YourCar) sowie automatisierten Taxi-Diensten, welche die Fahrten zwischen Fahrgästen bündeln und zwischen Personenwagen- und Kleinbusgrösse liegen (die verschiedenen Angebotsformen haben zusammen einen Nutzeranteil von ca. 25%, u.a. PubliTaxi, HoliTaxi, Sharetonomy). Es wird auch gezeigt, dass weiterhin Privatfahrzeuge in der Flotte vorhanden sind (mit ca. 7% Nutzeranteil) und Nutzer die eigene Verfügbarkeit über ein Fahrzeug weiterhin wertschätzen. Dies ist auch im Szenario B, in dem kollektive Angebotsformen dominieren der Fall.

Der ÖV erlebt durch die Automatisierung einen Zuwachs im Modal Split und erreicht einen Anteil von ca. 30% ('Bus'-Angebotsformen). Auch die grösseren Gefässe und die stärkere Bündelung der Nachfrage können somit von der Automatisierung profitieren.

Im zeitlichen Verlauf werden gemäss den Annahmen von TP4 zuerst die Angebotsformen im Individualverkehr auf entsprechende Nutzerpotentiale stossen (Two-/MyPod, MyCar, YourCar), danach die automatisierten Taxiformen und etwas später die automatisierten und flexiblen ÖV-Formen.⁶

Die deutlichste Auswirkung der hohen Automatisierung ist vordergründig ein Wandel vom vorherrschenden MIV zu einem öffentlichen, kollektiv genutzten Verkehrssystem. Allein diese Veränderung könnte zudem eine Neuklassierung der Segmentierung und Trennung in öffentlichen und individuellen Verkehr begründen.

Das vielfältige Angebot an verschiedenen Fahrzeugformen führt zu einer hohen, flächendeckenden Erreichbarkeit. Zudem ist für fast alle Bevölkerungsgruppen und unabhängig von sonstigen Einschränkungen der eigenen Mobilität die Zugänglichkeit der Dienstleistungen gegeben.

Der hohe Komfort birgt aber auch die Gefahr, dass der Langsamverkehr in den Zentren zu Gunsten von motorisierten Verkehren verdrängt wird. Dies würde sich direkt auf eine Zunahme der Verkehrsleistung auf den Strassen auswirken.

⁶ Die Entwicklung der Angebotsformen über die Zeit wurde unabhängig von Einflussfaktoren der Simulationen in TP2 analysiert. Daher stehen die Entwicklungspfade der automatisierten kollektiven Verkehre in TP2 und TP4 teilweise im Widerspruch. Die Aussagen des TP4 zur Automatisierung der Angebotsformen korrespondieren mit den Aussagen des TP5, dass sich AF zunächst auf den Autobahnen und folgend auf den Kantonsstrassen und in den Städten durchsetzen.

Damit sich der Wandel wie angenommen durchsetzt, sind weitere Auswirkungen im Umfeld unterstellt. Auf der Infrastruktur setzen sich einheitliche Orientierungsstandards durch und eine Vernetzung zwischen Fahrzeugen und mit der Infrastruktur ist ohne grössere Einschränkungen möglich. Zudem werden für die Nutzung der kollektiven Verkehre Haltezo- nen und Abholplätze geschaffen.

Für die Regulation sind Anpassungen in den Zulassungsregeln für Fahrzeuge (abwei- chende Fahrzeugformen), in der Bewirtschaftung des Raumes (Park- und Halteflächen) sowie in der Kategorisierung von ÖV-Formen und -Bewilligungen unterstellt.

4.4 TP5 Mischverkehr

Überblick

Das TP5 klärt die wichtigen Forschungsfragen zur zeitlichen und räumlichen Durchdrin- gung automatisierter Fahrzeuge und den Einfluss eines Mischbetriebs auf die Sicherheit und Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems.

In Anbetracht der fortschreitenden Automatisierung des Strassenverkehrs ist eine Über- gangsphase von der heutigen Verkehrssituation zur vollständigen Automatisierung unum- gänglich. Die Dauer der Übergangsphase, mit einem Nebeneinander verschiedener Fahr- zeugtypen, ist zeitlich bisher nur schwer einzugrenzen. Um abzuschätzen bis wann ein fast vollständig automatisierter Strassenverkehr, ohne konventionelle Fahrzeuge, Realität ist, muss auch die Dauer des Austauschs der Flotte berücksichtigt werden.

Das TP5 untersucht verschiedene Migrationsszenarien über Zeitschnitte in einer Simula- tion. Dabei werden für die resultierenden Mischverkehrssituationen die Probleme analy- siert. Das Teilprojekt legte bei der Untersuchung der Wirkungen einen Fokus auf die ge- staffelte Freigabe von Strassen sowie die Funktion des Systems im Mischverkehr.

Identifizierte Wirkungen

Zwischen den beiden Szenarien wurden unterschiedliche Entwicklungspfade beim Be- stand der automatisierten und konventionellen Fahrzeuge prognostiziert. Es wird erwartet, dass ab 2025 die Technologie für AF auf Level 4 verfügbar sein wird.

Als Ergebnis der Berechnungen werden im Szenario A 2050 noch 68% der Fahrzeuge konventionell gesteuert (vgl. Abb.8). 32% der Flotte sind automatisiert und nur 0.9% der Gesamtflotte kommen für automatisierte, kollektive Verkehre zum Einsatz (vorwiegend

Sharing). Die vorwiegend private Nutzung der AF führt zu einem Rückgang der ÖV-Nutzung und im Langsamverkehr. Die Reisezeiten auf einzelnen Relationen nehmen zu und die Zuverlässigkeit nimmt ab.

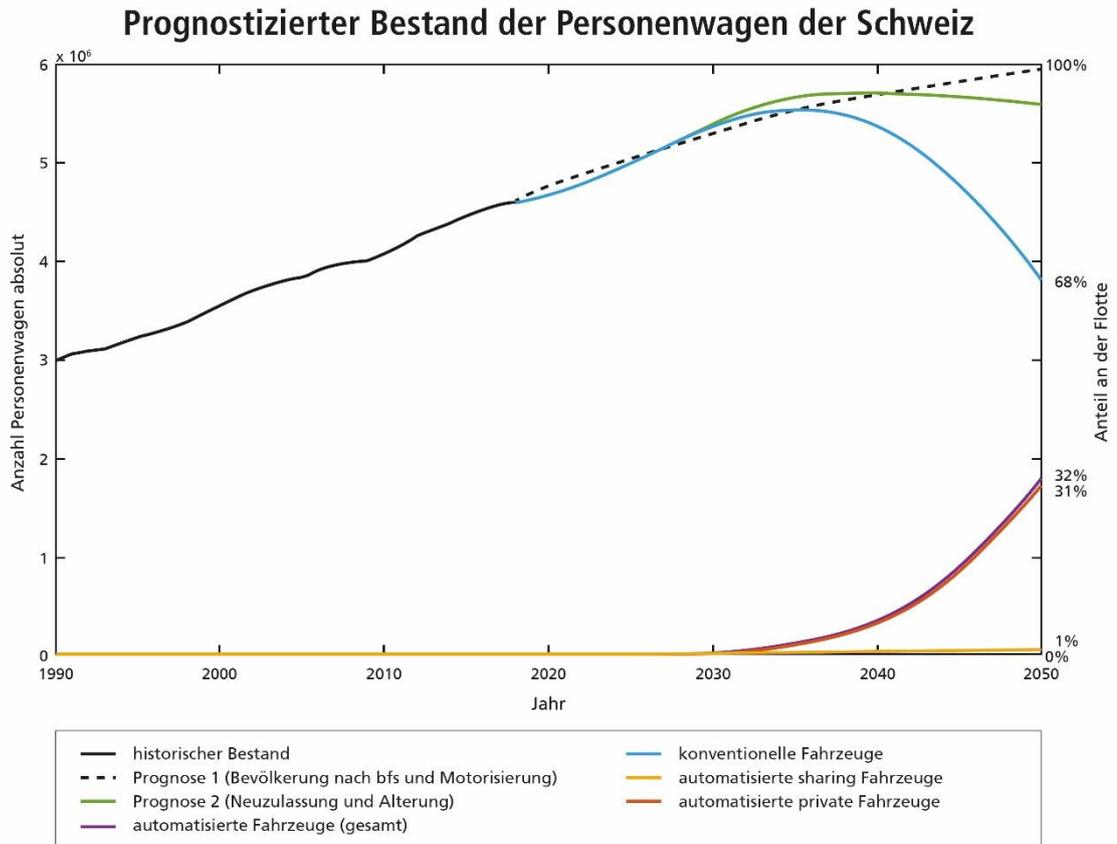


Abb.8 Prognostizierter Bestand der Personenwagen der Schweiz nach den Annahmen des Flottenmodells im Szenario A bis 2050

Im Szenario B⁷ sind 62% der Fahrzeuge automatisiert (vgl. Abb.9). 15% der Fahrzeuge werden für automatisierte Sharing-Angebote eingesetzt. Dies führt zu einer Zunahme an Ein- und Aussteigern an innerstädtischen Strassen, was in der Infrastrukturgestaltung berücksichtigt werden sollte. Die Reisezeiten auf einzelnen Relationen nehmen ab und die Zuverlässigkeit eher zu.

⁷ Das Szenario B entspricht dem im TP5 Bericht als Extremszenario Pro Sharing bezeichneten Prognosezustand

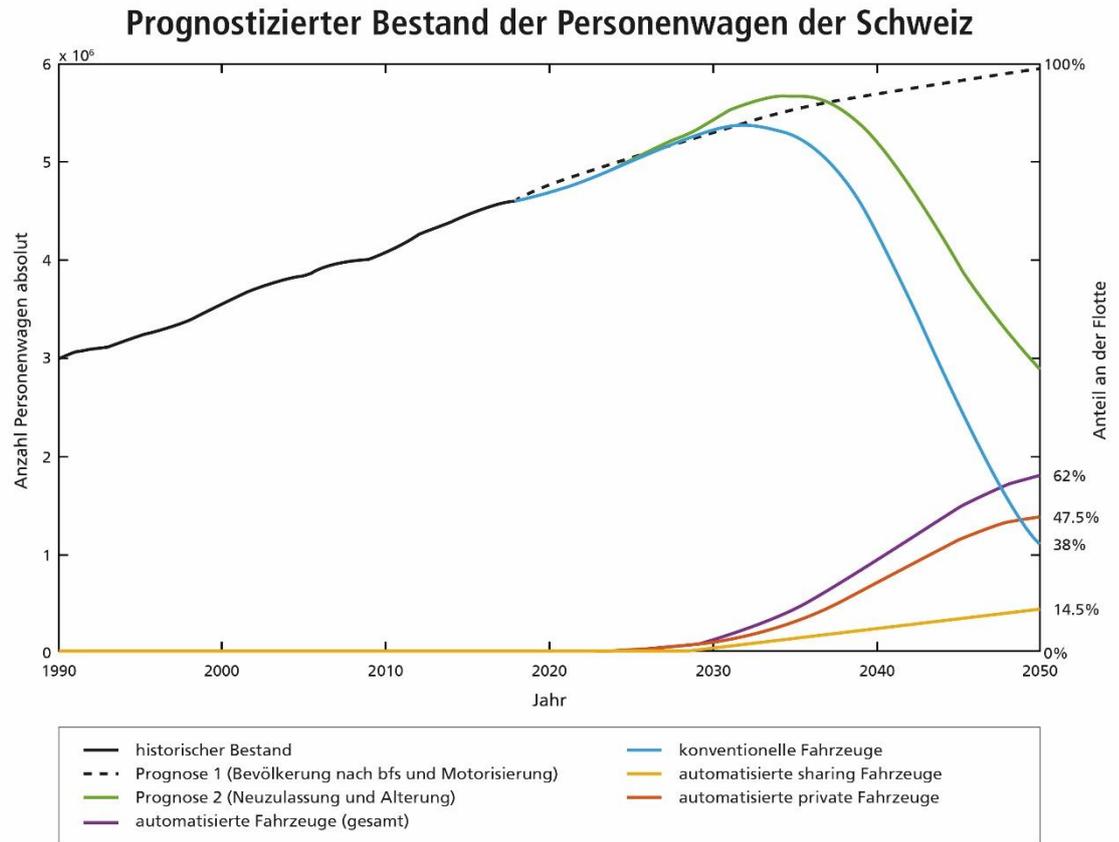


Abb.9 Prognostizierter Bestand der Personenwagen der Schweiz nach den Annahmen des Flottenmodells im Szenario B bis 2050

Aus beiden Szenarien wird deutlich, dass die Behandlung des Mischverkehrs ein zentraler Faktor im Verkehr über die nächsten 30 Jahre hinaus sein wird. Es sind somit vertiefte Abklärungen zu treffen. Die hierfür wichtigsten identifizierten Bereiche sind:

- Die Übergabe eines Fahrzeuges vom automatisierten in den konventionell zu befahrenden Verkehrsraum.
- Das gegenseitige Erkennen und die Kommunikation von automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern (insbesondere auch Langsamverkehr).

Im Vergleich der Berechnungen des Flottenmodells mit der Fahrleistung wird deutlich, dass die Fahrleistung der AF im Netz höher ist als ihr Anteil an der Gesamtflotte. Dies weist auf eine vermehrte Nutzung der AF hin. Die Reduktion der Gesamtflotte wird als Bedingung für eine höhere Zuverlässigkeit der Reisezeiten gesehen. Kapazitätserhöhungen auf der Strasseninfrastruktur sind bei unveränderter Flottengrösse im Mischverkehr nicht zu erwarten, hierzu wird eine vollständige Durchdringung mit AF benötigt.

Als weitere Wirkung der Automatisierung wird ein Unfallvermeidungspotential identifiziert. Dieses basiert auf den bestehenden Unfallarten im Strassenverkehr, die durch automatisierte Fahrzeuge reduziert oder ausgeschlossen werden können. So kann bei der fortschreitenden Durchdringung der AF in der Flotte bis 2050 mit einem Reduktionspotential von ca. 60-80% gerechnet werden. Dabei ist jedoch die Wirkung im Mischverkehr in komplexen, urbanen Verkehrsräumen nicht abschätzbar. Hier sind die Herausforderungen in der Kommunikation zwischen Menschen als Verkehrsteilnehmer und den automatisierten Fahrzeugen nicht abschliessend geklärt; sie stellen ein Risiko dar.

Insgesamt wird erwartet, dass die Infrastruktur für die Freigabe des Betriebs mit automatisierten Fahrzeugen ertüchtigt und nachgerüstet werden muss. Dies spricht auch für eine

gestaffelte Freigabe verschiedener Strassenkategorien. Zusätzliche Kommunikations- und Verkehrsmanagementeinrichtungen werden erforderlich, was die Betriebskosten steigen lassen kann.

4.5 TP6 Räumliche Auswirkungen

Überblick

Das TP6 untersuchte die räumlichen Auswirkungen, die durch das automatisierte Fahren in der Schweiz auftreten können. Insbesondere wurde analysiert, welche Auswirkungen auf die Zersiedlung zu erwarten sind. Die Untersuchung basierte auf der Hypothese, dass die Zeit in automatisierten Fahrzeugen effizienter genutzt werden kann und sich dadurch der Nutzen der Reisezeit verändert.

Identifizierte Wirkungen

Um eine Veränderung in der Zeitwahrnehmung im Strassenverkehr zu erreichen, wären längere Fahrtabschnitte mit durchgehendem und ruhigem (Übelkeit) Fahren, wie z.B. auf der Autobahn, nötig. Die Analyse zeigt, dass die Pendlerwege dieses Profil nicht erfüllen und dass durch den Einsatz von AF die Fahrtlänge nicht signifikant zunimmt. Zudem wird davon ausgegangen, dass der Komfort der Fahrten auf den sonstigen Strassenkategorien für die Mehrheit der Berufspendler nicht zum effizienten Arbeiten ausreicht.

Bei der Untersuchung der Pendlerprofile zeigte sich, dass ein Drittel der Pendler nicht von einer aktiveren Zeitnutzung im Fahrzeug profitieren würde (vgl. Abb.10). Die Vorteile der Nutzung von AF sind dabei unabhängig vom Wohnort, hängen aber von der beruflichen Branche ab und somit indirekt auch mit dem Arbeitsort zusammen. Pendler mit Stellen in der Stadt profitieren stärker von einer aktiveren Zeitnutzung. Die Pendler mit einem Arbeitsort auf dem Land profitieren in geringerem Masse von einer aktiven Zeitnutzung.

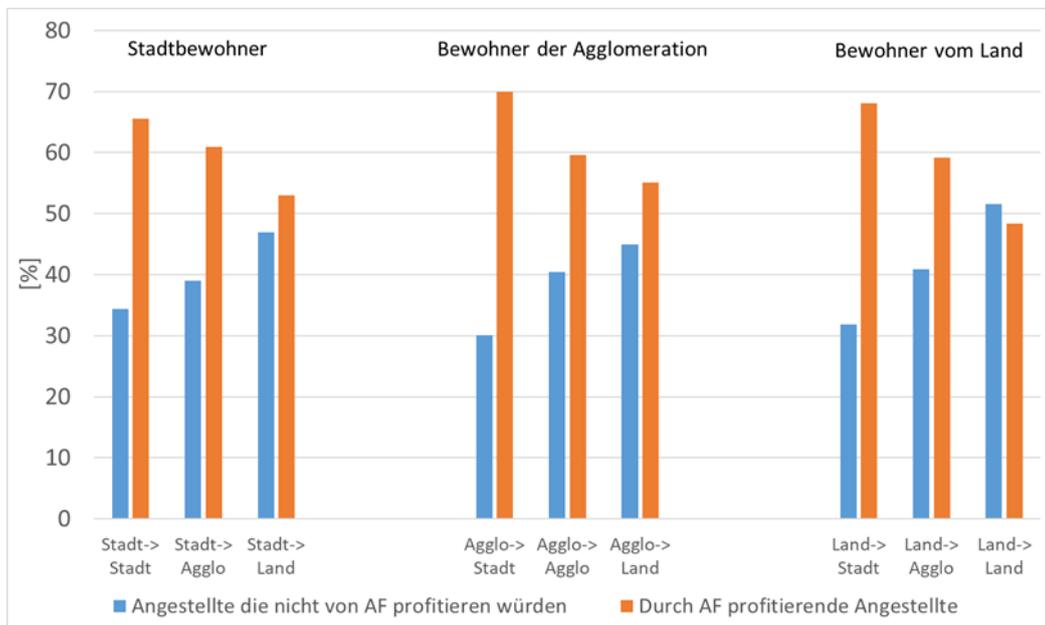


Abb.10 Räumliche Verteilung von Angestellten (Pendler), die aus beruflicher Perspektive von einer aktiven Zeitnutzung beim automatisierten Fahren profitieren würden

Insgesamt wird aber ein höherer Komfort auf Fahrten in AF angenommen. Da dies sich auch im Freizeitverkehr niederschlägt (neue mögliche Nutzungsformen) und die Verkehrsmittelwahl beeinflusst, wird davon ausgegangen, dass die Automatisierung der Flotte zu einem höheren Verkehrsaufkommen führen wird.

In Szenario A wird der Individualverkehr stärker attraktiviert und es besteht das Risiko, dass es zu einer Verkehrsverlagerung entgegen den verkehrspolitischen Zielen des Bundes kommt. In den Städten wird es bei einer Zunahme der privaten Nutzung von AF zu mehr Staus und einer höheren Verkehrsbelastung kommen. Dies könnte einen Einfluss auf Lebensqualität und somit die Wohnortwahl der Einwohner haben. Wenn Stadtbewohner wegziehen, würde es verstärkten Druck auf die Agglomerationen erzeugen und Zersiedlung begünstigen.

Die vermehrte Nutzung von kollektiven Angeboten, die im Szenario B unterstellt ist, kann zur Reduktion der Fahrzeuge auf den Strassen führen. Da dies insbesondere für die Städte unterstellt wird, werden hier neue Räume frei, die für die Förderung des Langsamverkehrs oder zur Aufwertung der Stadträume zur Verfügung stehen und somit eine Verdichtung begünstigen können. Für die Entwicklung hin zum Zustand in Szenario B wird aber eine Verhaltensänderung der Bevölkerung vorausgesetzt.

Die schrittweise Einführung von automatisierten Fahrzeugen in der Gesamtflotte ist kein direkter Treiber der Zersiedlung, die bisherigen Zersiedlungstreiber bleiben jedoch bestehen. Standortentscheidungen von Verladern und Logistikern werden durch automatisierte Fahrzeuge ebenso wenig beeinflusst, da sie bereits heute an ihrer Verkehrslage ausgerichtet und optimiert werden. In den Prozessen wird durch neue Fahrzeugtypen eine Anpassung erwartet, die Effekte deren Einsatzes werden die Zersiedlung aber nicht fördern.

4.6 Einordnung der Ergebnisse in den internationalen Kontext

Im vorliegenden Bericht sind entsprechend der Aufgabenstellung der Aufbau und die Ergebnisse auf den Schweizer Kontext ausgerichtet. Gleichzeitig wird betont, dass viele Entwicklungen nicht von der Schweiz direkt beeinflusst werden können bzw. dass viele für die Schweiz relevante Entscheidungen in internationalen Institutionen getroffen werden. Einige davon sollen im Folgenden kursorisch dargestellt werden.

Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens (AF) werden zunächst durch zwei grosse Industriebranchen in besonderer Weise vorangetrieben: der Fahrzeugindustrie sowie der IT-Industrie einschliesslich sogenannter Plattformanbieter wie Waymo (eine Tochter von Googles Muttergesellschaft Alphabet Inc.), Uber oder Baidu (Fleischer, Schippl 2018). In den Ländern, in denen die global wichtigen Player dieser Branchen ansässig sind, gelten diese als jeweils volkswirtschaftlich relevante Industrien und erfreuen sich mithin unmittelbarer und mittelbarer politischer Unterstützung. Dies ist auch für die Gestaltung des zukünftigen Verkehrssystems, die Diffusion von automatisierten Fahrzeugen bzw. sie nutzender Dienste von Bedeutung: Strassenverkehr ist ein bereits lange bestehendes und hoch reguliertes soziotechnisches System, das für automatisiertes Fahren zu modifizieren ist. Eine solche Transformation wird nicht durch einen einzelnen (wirtschaftlichen) Akteur oder eine kleine Gruppe von interessierten Akteuren durchgesetzt werden können, vielmehr bedarf es dafür des koordinierten Vorgehens öffentlicher und privater Akteure innerhalb und zwischen Nationalstaaten.

Eine solche Konstellation bringt es mit sich, dass einerseits in einer Reihe von Ländern Forschung, Entwicklung, Erprobung und Deployment des Automatisierten Fahrens von staatlicher Seite umfangreich unterstützt werden und versucht wird, kompetitive Vorteile für nationale Schlüsselindustrien zu erlangen bzw. zu erhalten. Andererseits besteht sowohl ein Interesse darin, derartige Fahrzeuge möglichst international vermarkten zu können als auch ein (regulatives wie aus vielerlei Perspektiven praktisches, allerdings je nach

geografischer Lage und Grösse des Binnenmarktes durchaus unterschiedlich ausgeprägtes) Erfordernis nach internationaler Harmonisierung entsprechender Fahrzeuge und Systemkonzepte. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden ausgewählte internationale Entwicklungen kurz beleuchtet und im Hinblick auf die Szenarien und die Ergebnisse aus den Teilprojekten diskutiert. Im Mittelpunkt steht dabei der Personenverkehr, einige Aussagen lassen sich aber auch auf den Güterverkehr übertragen.

Einschätzungen von Handlungsspielräumen auf nationaler Ebene

In der oben skizzierten Gemengelage wird kein Einzelakteur – weder Nationalstaat noch Unternehmen – uneingeschränkte Gestaltungsmacht behalten. Dies gilt auch für die Schweiz. Ihre spezifische Situation – zentral in Europa gelegen, umgeben von Mitgliedsstaaten der EU mit ihrem einheitlichen Binnenmarkt und mit diesen ökonomisch, sozial und kulturell eng verbunden, ohne wirklich grössere Rolle oder Kapazitäten in der Fahrzeug- und IT-Industrie – fordert sie zu einer eigenen Positionsbestimmung allerdings in besonderer Weise heraus.

Zwar ist im Moment nicht belastbar zu bestimmen, wann, in welcher Form und mit welcher Leistungsfähigkeit Fahrzeugautomatisierungen tatsächlich marktreif sein werden. Es ist aber kaum vorstellbar, dass automatisierte Fahrzeuge, wenn sie in den europäischen Nachbarstaaten unterwegs sind, früher oder später nicht auch in der Schweiz fahren dürfen oder dass Schweizer Bürgerinnen und Bürger solche Fahrzeuge bzw. Dienste dann nicht auch werden erwerben oder nutzen wollen. Sicherlich ist von einer Interoperationalitätserwartung der Bevölkerung auszugehen, die vermutlich ins Ausland fahren können möchte und auf der anderen Seite ökonomisch und sozial davon abhängig ist, dass aus dem Ausland in die Schweiz hineingefahren werden kann. So wäre zu erwarten, dass sich über kurz oder lang ein Druck entwickelt, bestimmte Standards für AF für PW und Lkw zumindest im Transit-Netz der Schweiz zuzulassen.

Wie eingangs bereits erwähnt, werden viele Regelungen und technische Standards sehr durch internationale Vereinbarungen getroffen und nicht durch einzelne Nationalstaaten. Als Beispiel sei hier nur auf die Working Party on Automated/Autonomous und Connected Vehicles verwiesen, die im Rahmen des bei den Vereinten Nationen angesiedelten World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations eingesetzt wurde und an der die Schweiz auch teilnimmt. Hier werden unter anderem Kernprinzipien für Sicherheitsanforderungen und Grundkonzepte für Fahrzeugautomatisierungen der Stufen 3 und höher erarbeitet. Darüber hinaus ist das Thema auch in internationalen Standardisierungsgremien (etwa ISO) sehr präsent. Gerade im Hinblick auf den Individualverkehr ist davon auszugehen, dass ein gewisser Druck auf die Schweiz besteht, Regelungen und Standards zu übernehmen, sofern sich diese insbesondere im europäischen Binnenmarkt etablieren. Das könnte z.B. für die Vernetzung zwischen Fahrzeugen untereinander (V2V) sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur ebenso gelten (V2I), wie für die ECE-Homologation, Formen der Datenspeicherung und sogar Haftungsfragen einschliessen.

Des Weiteren kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die Automobilindustrie bereit ist, «Schweiz-Only-Lösungen» zu entwickeln. So ist es durchaus denkbar, dass sich hochautomatisiertes Fahren im Bereich Level 4 über die Hochleistungsstrassen in der Schweiz etablieren wird und in ihrer Ausgestaltung stark von internationalen Entwicklungen und Vereinbarungen abhängig bleibt (vgl. Kapitel 5.4.4). Zudem würde dies bedeuten, dass die Automatisierung eher über den Individualverkehr Einzug erhält.

Im Hinblick auf die das Szenario B prägenden Shuttles scheint es dagegen eher möglich, dass sich Schweiz-spezifische Lösungen ausbilden. Es kann vermutet werden, dass sich der Einsatzbereich dieser Fahrzeuge meist auf bestimmte Räume eingrenzen lässt. Dies lässt sich gegebenenfalls über die Vergabe von Gebietskonzessionen als Alternative zu Linienkonzessionen umsetzen (vgl. Kapitel 6.4). Eine wechselseitige Interoperabilität über Landesgrenzen hinweg dürfte höchstens in Ausnahmefällen erforderlich sein. Die Frage, ob Hersteller solcher Fahrzeuge Schweiz-spezifische Lösungen entwickeln würden, bleibt aber relevant. Denkbar wäre, dass es generell regionale oder lokale Varianten bestimmter Angebotsformen bzw. Fahrzeugkonzepte gibt, die weniger auf nationale Grenzen als viel-

mehr auf raumstrukturelle Konstellationen ausgerichtet sind. Hier könnten sich Auswahlmöglichkeiten und damit interessante Handlungs- bzw. Gestaltungsspielräume auf nationaler Ebene ergeben. Vor diesem Hintergrund kann sich ein interessanter R&D Schwerpunkt für die Schweiz ergeben – erste Ansätze im öffentlichen Verkehr sind erkennbar (z.B. SmartShuttle in Sitten); oben genannte Gründe könnten dafürsprechen, diese weiter zu führen und auszubauen.

Zur internationalen Einordnung der Szenarien A und B

Die Ermöglichung bzw. Aufrechterhaltung von Mobilität bei gleichzeitiger Beschränkung bzw. Reduktion ihrer unerwünschten Folgen (z.B. Emissionen, Lärm, Rohölbedarf, Zerschneidungswirkungen) ist seit vielen Jahren Gegenstand politischer und öffentlicher Debatten in vielen Industrieländern und Objekt wirtschaftlicher und zivilgesellschaftlicher Anstrengungen. Trotz vieler Initiativen bleiben dabei bisher viele Herausforderungen ungelöst. In vielen Ländern wächst das Verkehrsaufkommen, ebenso wie die PW-Zulassungen, Staus und der Ausstoss von Schadstoffen. Die Zahl der Unfallopfer konnte vielfach gesenkt werden, gilt aber immer noch als zu hoch.

In diese Entwicklung tritt seit einigen Jahren das Versprechen der baldigen Verfügbarkeit automatisierter Fahrzeuge ein (Maurer et al. 2015). Diese sollen unter anderem, so die Protagonisten, die Verkehrssicherheit verbessern (die Zahl der damit verbundenen Toten und Schwerverletzten deutlich reduzieren), die Abwicklung des Verkehrsgeschehens effizienter und diesen insgesamt umweltverträglicher machen, (individualisierte) Mobilität auch für solche Bevölkerungsgruppen ermöglichen, die aus unterschiedlichen Gründen (Alter, physisches oder kognitives Leistungsvermögen) bisher davon ausgeschlossen sind und neue Formen der Zeitnutzung während der Ortsveränderung gestatten (vgl. Kapitel 2). Solche Erwartungen finden sich auch in nationalen wie in internationalen Dokumenten (CEC 2019, BMVI 2015).

Nicht nur, dass sich hinter diesen Erwartungen durchaus gewichtige Zielkonflikte identifizieren lassen – eine selektive Kombination davon lässt auch zu, dass Vertreter von im Kern unterschiedlichen Interessen und „Mobilitätsszukünften“ im automatisierten Fahren jeweils „ihre“ Zukunftstechnik erkennen können. Diese allerdings sind mit sehr unterschiedlichen Vorstellungen, etwa hinsichtlich Fahrzeugdesign, Eigentums- bzw. Nutzungsform und Servicemodell verbunden. Zwei mögliche Varianten werden dabei auch in internationalen Studien immer wieder herausgestellt (Fagnant und Kockelman, 2015; Givoni et al., 2018): die Ermöglichung neuer, flexiblerer Mobilitätsdienstleistungen mit (von einer in der Regel kleinen Zahl von Fahrgästen) gemeinsam genutzten Fahrzeugen (Ridesharing, „Robo“-Shuttles) sowie individuell genutzte automatisierte Fahrzeuge, sei es als weiterhin privat besessene PW oder als Teil eines Dienstleistungsangebotes.

Davon ausgehend wird mit Blick auf den öffentlichen Verkehr gerne ein Virtuous Cycle von einem Vicious Cycle unterschieden (vgl. Fraedrich et al. 2017). Wie bereits in Kapitel 2.2 skizziert steht auf der einen Seite die Erwartung, dass AF zu einer Stärkung des öffentlichen Verkehrs in urbanen Räumen beitragen (Virtuous Cycle) und letztlich dazu führen, dass privat genutzte PW in eine Nische gedrängt werden. In dieser Entwicklungslinie wird Mobilität insgesamt deutlich nachhaltiger, die Lebensqualität in Städten steigt. Auf der anderen Seite wird befürchtet, dass AF die Attraktivität des MIV erheblich erhöhen könnten. Individualverkehr ist für viele Nutzer deutlich komfortabler als der Öffentliche Verkehr; die «Stautoleranz» könnte steigen, weil die Zeit im Auto nutzbar ist. Letztlich könnte der ÖV Marktanteile verlieren und sukzessive auf wenig, noch wirtschaftlich vertretbare Linien zurückgedrängt werden (Vicious Cycle). Zumindest mit Blick auf Deutschland lässt sich zeigen, dass die Autoindustrie selbst die beiden unterschiedlichen Erwartungen kommuniziert: die vom Wohlfühlort „eigenes Auto“, das zum «Third Place» neben Arbeitsort und Wohnort werde, sowie die von selbstfahrenden Shuttles (vgl. MOIA, s.u.), welche die Nutzung privater PW zurückdrängen würde (Fleischer und Schippl, 2018).

Diese Entwicklungen sind auch in den Szenarien A und B in diesem Bericht angelegt, die damit den heterogenen Diskussionsstand in anderen Industrieländern gut widerspiegeln.

Zu gegenläufigen Trends und Dynamiken

Eine neue Technologie muss nicht zwingend neue Entwicklungen in Gang setzen, sondern kann sich auch als Verstärker existierender Trends erweisen. In der Innovations- und Transitionsforschung spricht man von Pfadabhängigkeiten, wenn sich bestimmte Entwicklungstrajektorien über Jahre festgesetzt haben, sodass sie kaum zu ändern sind. Wie sich AF im Bereich Level 4 und 5 auf das Mobilitätssystem auswirken, muss sich demnach nicht erst dann entscheiden, wenn die Technologie marktreif ist, sondern kann von zeitlich vorgelagerten Entwicklungen im Mobilitätssystem abhängen.

In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass in vielen Ländern Experten heute Anzeichen sehen, dass sich deutlich multimodalere, durch weniger MIV geprägte urbane Verkehrssysteme entwickeln werden (Canzler und Knie, 2016; Docherty et al., 2018; Transport & Environment, 2019). Oft wird dabei die Digitalisierung des Mobilitätssektors als entscheidender Treiber gesehen, die, im Zusammenspiel mit weiteren Trends, zu einem Wandel insbesondere der urbanen Mobilitätssysteme führen soll – zunächst auch ohne Automatisierung (vgl. Truffer et al. 2017). Oft genannte Trends sind beispielsweise wachsende Sensitivität für Umwelt- und Gesundheitsfragen, Urbanisierung, Sharing-Economy und weitere, die auch in der Literatur Erwähnung finden (vgl. Kapitel 2). Interesse am und Nutzungsintensität des privaten PW sollen nachlassen, weil eine Vielfalt flexibler Alternativen, darunter neben dem klassischen ÖV auch Angebote, wie z.B. Car- oder Ride-Sharing, multimodale Mobilitätsmuster vereinfacht und PW-Abhängigkeiten deutlich reduziert. Auffällig ist, dass in vielen Ländern die Automobilindustrie in „neue“ Mobilitätsdienstleistungen investiert oder diese selbst entwickelt und anbietet. Gut illustrieren lässt sich das anhand einiger deutscher Automobilhersteller. So experimentiert VW über die Tochter MOIA mit perspektivisch bis zu 500 flexiblen, elektrischen Shuttles in einem gross angelegten Pilotprojekt in Hamburg. BMW und Daimler betreiben in grossen Städten den gemeinsame Car-Sharing Service ShareNow.

Gleichzeitig ist aber auch zu beobachten, dass es z.B. im deutschen Mobilitätssektor Indikatoren gibt, die auf eine Entwicklung in die entgegengesetzte Richtung hindeuten, nämlich auf eine weitere Stabilisierung der heute noch weitgehend vom Auto dominierten städtischen Verkehrssystem:

- So sind zwar Car-Sharing Dienste in den letzten Jahren in Deutschland wie in vielen anderen Ländern stark gewachsen, aber dennoch sind derzeit nur etwa 22'000 Car-Sharing-Fahrzeuge auf den Strassen unterwegs (BCS, 2020), was im Vergleich zu den 47 Millionen registrierten Nicht-Sharing-Fahrzeugen (KBA, 2019) eine extrem geringe Zahl ist.
- Zudem konzentrieren sich viele der oben genannten neuen Mobilitätsangebote wie auch viele schon länger existierende Car-Sharing Angebote in Deutschland auf die Kernbereiche der grossen Städte, wo bereits dichte Netze im öffentlichen Verkehr existieren.
- Trotz eines wachsenden öffentlichen Bewusstseins über Klimawandel, Schadstoffemissionen und Platzmangel in den Städten erreichen Geländewagen (SUV) inzwischen über 30% bei den Neuzulassungen (KBA, 2019).
- Die Autonutzung nimmt bei älteren Menschen zu; gleichzeitig werden ältere immer aktiver und die Bevölkerung insgesamt immer älter (Nobis und Kuhnimhof, 2018).
- Jüngste Daten aus einer gross angelegten Umfrage in Deutschland (Nobis und Kuhnimhof, 2018) zeigen, dass der öffentliche Verkehr dort das am wenigsten beliebte Verkehrsmittel ist.

Es gibt also Anzeichen, dass sich zumindest in den urbanen Zentren ein deutlich multimodaleres und weniger durch private PW dominiertes Mobilitätssystem entwickeln kann. Allerdings lässt sich vermuten, dass es sich dabei nicht zwingend um eine sozusagen selbstlaufende Digitalisierungsfolge handelt, wie die gegenläufigen Trends anzeigen. Eine entsprechende Pfadabhängigkeit scheint nicht gegeben. Um das Zielszenario (vgl. Kapitel 5.4) zu erreichen, wäre es hilfreich, eine entsprechende Pfadabhängigkeit bereits heute anzulegen. Das hiesse, urbane Verkehrssysteme bereits heute so auszurichten, dass AF,

den bereits eingeschlagenen Pfad zur Multimodalität (Szenario B oder auch Wunschscenario) verstärken können und so einer Renaissance des urbanen Individualverkehrs wenig Chancen lassen. Wichtig und herausforderungsvoll wird bleiben, auch ausserhalb der grossen Zentren sicher zu stellen, dass AF nicht den Individualverkehr stärken, sondern dass auch hier neue Angebotsformen etabliert werden können.

5 Wirkungen und Zielszenario

5.1 Allgemeines und Vorgehen

Entlang der beiden Nutzungsszenarien A und B haben die Teilprojekte 2 bis 6 die Wirkungen des automatisierten Fahrens sektoral analysiert. Ein Überblick zu den Ergebnissen der Teilprojekte findet sich in Kapitel 4. Die detaillierten Ergebnisse und Wirkungen sind in den entsprechenden Berichten der Teilprojekte hergeleitet und erläutert.

Diese Teilergebnisse sind die Grundlagen zur Ableitung des Zielszenarios. Aufgabe des Zielszenarios ist es, die «wünschbaren» Wirkungen automatisierter und vernetzter Straßenfahrzeuge für den Transport von Personen und Gütern für das Jahr 2050 darzustellen (Kapitel 5). In der Folge sind Handlungsempfehlungen abzuleiten, um die notwendigen Rahmenbedingungen zur Erreichung des Zielszenarios zu erlangen (Kapitel 6). Zu den Handlungsempfehlungen gehören regulative Schwerpunkte der Einflussnahme der öffentlichen Hand.

Das Vorgehen zu Herleitung des Zielszenarios zeigt die folgende Abbildung. Dazu muss zunächst ein Ziel- und ein Kriteriensystem definiert werden, an denen die Wirkungen in erwünschte (relevant für das Zielszenario) und nicht-erwünschte Wirkungen unterschieden werden können. Basis für das Zielsystem sind Prämissen der Szenariobildung sowie normative Grundlagen.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte erläutert und am Schluss die «Merkmale» des Zielszenario 2050 abgeleitet.

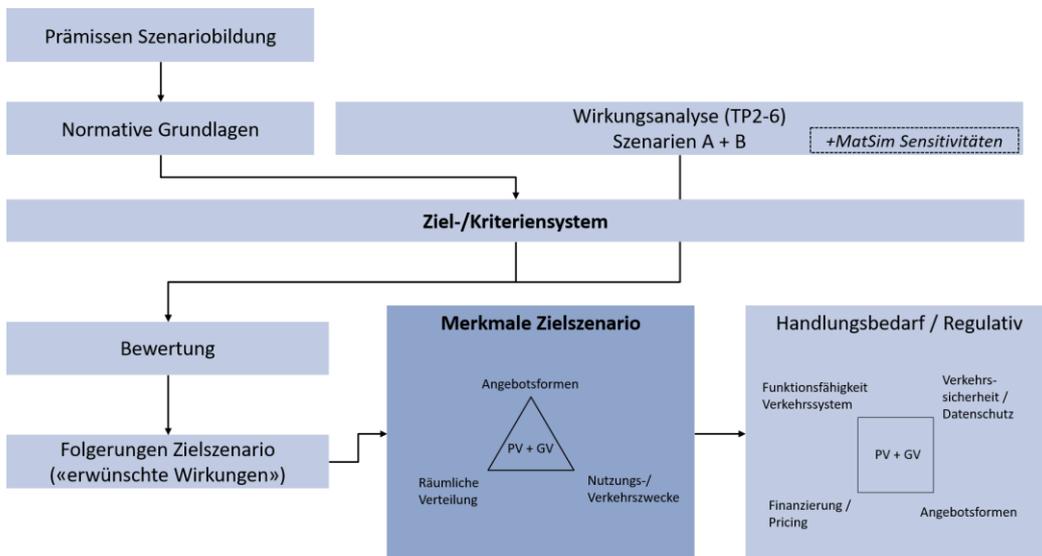


Abb. 11 Vorgehen zur Herleitung Zielszenario AF 2050

5.2 Ziel- und Kriteriensystem

5.2.1 Grundverständnis und Prämissen

Grundverständnis:

Das «Zielszenario» stellt keinen quantitativ anzustrebenden Zustand dar, der die Nutzungs- und Angebotsformen und deren modale Verteilung schweizweit festlegt und modelliert. Vielmehr geht es darum, die möglichen Wirkungen verschiedener Nutzungs- und Angebotsformen des automatisierten Fahrens an den Zielen der Schweizer Verkehrs- und Raumpolitik zu spiegeln. Es geht um die Kernfrage: Welche Nutzungs- und Angebotsformen des AF erzielen die meisten «erwünschten» Wirkungen und welche Rahmenbedingungen dazu sind besonders förderlich? In diesem Sinne beschreibt das Zielszenario einzelne Merkmale, woran sich das zukünftige Regulativ orientieren könnte, sei dies punkto Infrastrukturausstattung, Nutzungs- und Zulassungsbedingungen, Verkehrssicherheit, Datenschutz oder anderen Rahmenbedingungen.

Über das Grundverständnis hinaus liegen dem Verständnis des Zielszenarios weitere **Prämissen** zugrunde:

- **Normative Grundlagen:** Das Ziel- und Kriteriensystem (Kapitel 5.2) orientiert sich an vorliegenden verkehrs- und raumordnungspolitischen Strategiepapieren und Gesetzesgrundlagen. Diese berücksichtigen die grenzüberschreitende Dimension. D.h. schon heute ist die Schweiz keine «Insel» im EU-Raum (z.B. Landverkehrsabkommen) und gerade bei technologischen Entwicklungen wie dem automatisierten Fahren werden die Abhängigkeiten zu internationalen Entwicklungen weiter zunehmen.
- **Verhalten/Werte und Markteinfluss:** Auch wenn das Zielszenario keine fundamental neuen Wirtschafts- oder Gesellschaftsbilder zugrunde legt, kann bis 2050 hinsichtlich Verhalten und Einstellungen vieles passieren. Die Akzeptanz gegenüber neuen Mobilitätsformen kann sich mit zunehmenden Erfahrungen verändern, das zeigen verschiedene jüngere Angebote (E-Scooter, digitales Ticketing, etc.). Das Mobilitätsverhalten bleibt aber auch stark vom Markt beeinflussbar. Die Angebote müssen überzeugen, wobei die heutigen eher rationalen Entscheidungskriterien eine hohe Beharrlichkeit haben dürften (Preise, Flexibilität, Komfort, etc.). Bei überzeugenden Produkten sind bisherige Routinen aber bis 2050 durchaus veränderbar.
- **Regulativ / staatlicher Einfluss:** Die Schweiz bleibt grundsätzlich ein liberaler Staat und somit gibt es Grenzen hinsichtlich staatlicher Direktiven. Das Zielszenario soll kein Wunschgebilde sein, welches nur mit massiven Gesetzesänderungen in Richtung Verbote zu erreichen wäre. Besonders wichtig bleibt jedoch der Einfluss des (öffentlichen) Infrastrukturbetreibers. Vor diesem Hintergrund können drei regulative Schwerpunkte abgeleitet werden (siehe auch Kapitel 6): Funktionsfähigkeit des Gesamtverkehrssystems, Verkehrssicherheit und Datenschutz sowie Finanzierung und Pricing.
- **Stellenwert Verkehr:** «Mobilität» und die freie Wahl der Mobilitätsformen haben heute und auch in Zukunft einen hohen gesellschaftspolitischen Stellenwert. Einzelne (physische) «Verkehre» können aber zeitlich-räumlich eingeschränkt werden. Dies kann nötig sein, um das Gesamtverkehrssystem funktionsfähig zu halten oder aus anderen Gründen (Umwelt, Siedlung, etc.). Neue Mobilitätsformen (v.a. als Teilersatz physischer Verkehre) werden an Gewicht zunehmen und sind speziell zu fördern. Hingegen wird es auch in Zukunft schwierig sein, einzelne Verkehrszwecke pauschal zu benachteiligen, weil jeweils unterschiedliche Altersgruppen betroffen sind (z.B. pauschaler Vorrang des Pendlerverkehrs vor Freizeit/Einkaufen, wo die ältere Bevölkerung stärker betroffen wäre).
- **Mischverkehr:** Unabhängig von Annahmen zu den technologischen Entwicklungen bzw. der Diffusion von automatisierten Fahrzeugen wird Mischverkehr auch im Jahr 2050 die Realität sein. D.h. theoretische AF-Potentiale können nur teilweise erzielt werden (in allen Wirkungsbereichen) und es bestehen vielseitige Wechselwirkungen zwischen AF und Nicht-AF, die es zu berücksichtigen gilt.

Das nachfolgend beschriebene Zielsystem stützt sich auf vorliegende Gesetzesgrundlagen, verkehrs- und raumordnungspolitischen Strategien und Konzepten. Konkret wurden folgende **normative Grundlagen** berücksichtigt:

- Gesetzesgrundlagen⁸: Strassenverkehrsgesetz (SVG), Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrsfondsgesetz (NAFG), Eisenbahngesetz (EBG), Umweltschutzgesetz (USG), Raumplanungsgesetz (RPG), Personenbeförderungsgesetz (PBG) und Konzessionsgrundlagen
- Bundesratsstrategien (und BR-Berichte): Strategie Nachhaltige Entwicklung (2016), Strategie Digitale Schweiz (2018) und Aktionsplan Digitale Schweiz (2018), BR-Berichte zu Automobilität und Austausch von Daten für AF (2019)
- Konzepte und Sachpläne: Raumkonzept Schweiz (2010), Sachplan Verkehr (in Rev.)
- Departementsgrundlagen: Departementsstrategie UVEK (2016), UVEK-Orientierungsrahmen Mobilität 2040 (2017), Bewertungssystem ZINV-UVEK (2008)
- Amtsstrategien: ASTRA Amtsstrategie (2016), BAV-Strategie (2019).

5.2.2 Ziel- und Kriteriensystem

Basierend auf diesen normativen Grundlagen wurden die Ziele und Kriterien hergeleitet, um die Wirkungen der zwei Nutzungsszenarien hinsichtlich «erwünschter» Wirkungen beurteilen zu können (Kapitel 5.3). Die folgende Tabelle fasst das **Ziel- und Kriteriensystem** zusammen. Es ist thematisch umfassend in Anlehnung an die erwähnten normativen Grundlagen. Aus den Teilprojekten können jedoch nicht zu allen Zielbereichen Aussagen generiert werden. Dies wird im nächsten Kapitel erkenntlich gemacht.

Tab. 4 Ziel- und Kriteriensystem für «Zielszenario AF 2050»

Kriterienbereich	Kriterien	Ziele
Verkehrssystem	Auslastung Verkehrsinfrastrukturen / Kapazitäten	<ul style="list-style-type: none"> • Stau ist reduziert, Durchflusskapazitäten bestehender Infrastrukturen sind maximiert und Ausbaubedarf neuer Infrastrukturen minimiert • Die zeitlich-räumliche Verteilung des Strassenverkehrs ist optimiert • Der Gesamtverkehr ist wesensgerecht auf die Verkehrsträger (MIV, ÖV, LV) verteilt
	Verkehrsaufkommen / Verkehrsleistung	<ul style="list-style-type: none"> • Besetzungsgrade von Fahrzeugen sind erhöht und Gesamtfahrleistungen reduziert • Die Verkehrsträger im Personen- und Güterverkehr sind konsequent entsprechend ihrer Stärken eingesetzt.
Raumentwicklung	Räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Zersiedelung ist gestoppt, d.h. es erfolgt eine Wachstumsverlagerung vom ländlich/peri-urbanen in städtisch geprägte Räume • Siedlungsdichten sind in allen Raumtypen erhöht unter Wahrung einer hohen Siedlungs- und Freiraumqualität
	Städtebauliche Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Der knappe städtische Raum ist effizient genutzt • Die Attraktivität und Nutzungsvielfalt des öffentlichen Strassenraums sind erhöht
Umwelt, Ressourcen	Energie/Klima; Luft- und Lärmemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Energieverbrauch/CO₂-Emissionen sind reduziert • Luft- und Lärmbelastung sind reduziert
	Ressourcenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • Landverbrauch ist reduziert • Verbrauch knapper Materialien ist reduziert
Sicherheit	Verkehrsunfälle	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl und Schwere der Verkehrsunfälle sind reduziert
	Betriebssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Die Betriebssicherheit von Fahrzeugen ist gewährleistet • Die Funktionsfähigkeit des Gesamtverkehrssystems ist sichergestellt
Gesellschaftliche Akzeptanz	Zugang zu Mobilitätsangeboten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Mobilitätsversorgung ist für alle Regionen angemessen sichergestellt • Nicht-diskriminierender Mobilitätszugang für alle Bevölkerungsgruppen ist sichergestellt

⁸ Sowie hängige Motionen im Kontext Digitalisierung im Verkehr (z.B. Motion Burkart Nr. 17.3049)

Kriterienbereich	Kriterien	Ziele
	Datenschutz	<ul style="list-style-type: none"> Der Schutz von persönlichen Daten ist sichergestellt Die Kommunikationsinfrastruktur ist leistungsfähig und durchlässig für multimodale Verkehrsangebote
Wirtschaftliche Entwicklung	Erreichbarkeiten	<ul style="list-style-type: none"> Erreichbarkeit des Schweizer Städtensetz ist verbessert Güterverkehrsintensive Standorte sind möglichst direkt erschlossen und benachbarte Wohngebiete entlastet
	Innovationskraft	<ul style="list-style-type: none"> Die Schweiz hat internationale Spitzenposition im Bereich innovativer Mobilitätsangebote und Standards Neue Geschäftsmodelle mit Wertschöpfung in der Schweiz sind gestärkt
Finanzierung und Kostenwahrheit	Investitionskosten	<ul style="list-style-type: none"> Infrastrukturausbauten sind minimiert und die langfristige Finanzierbarkeit ist gesichert
	Betriebs- und Unterhaltskosten	<ul style="list-style-type: none"> Betriebsschonende und unterhaltsarme Mobilitätsformen sind gestärkt
	Kostenwahrheit	<ul style="list-style-type: none"> Die Nutzenden aller Mobilitätsangebote tragen die von ihnen verursachten internen und externen Kosten vermehrt selber.

5.3 Wirkungsanalyse der Szenarien

Anhand des vorgegebenen Zielsystems wurden die sektoralen Wirkungen der Teilprojekte 2 – 6 analysiert und zu einer qualitativen Bewertung zusammengefasst. Die Wirkungen wurden je Kriterium untersucht, so dass die Bewertung der einzelnen Elemente unabhängig voneinander erfolgte. Die Einordnung der Wirkung erfolgte jeweils im Vergleich zum Referenzzustand ohne automatisierte Fahrzeuge.

Im Folgenden sind die wichtigsten Wirkungen nach den zwei Nutzungsszenarien A und B kurz zusammengefasst und abschliessend im Überblick dargestellt. Zu den Kriterien Energie/Klima, Luft- und Lärmemissionen, Betriebssicherheit, Datenschutz, Innovationskraft, Investitionskosten sowie Kostenwahrheit sind keine expliziten Wirkungen in den Teilprojekten erarbeitet worden.

5.3.1 Auslastung Verkehrsinfrastrukturen / Kapazitäten

- A** Die Verkehrsbelastung der Infrastruktur steigt. Die Engpässe im Netz nehmen nicht ab, aber es kommen auch keine neuen hinzu. Abhängig vom Durchdringungsgrad der AF können Kapazitätsgewinne realisiert werden, wenn ein Mischverkehr innerhalb von Gebieten oder auf Abschnitten ausgeschlossen werden kann.
- B** Die Anzahl der Fahrzeuge auf der Infrastruktur sinkt, die spezifische Verkehrsleistung pro Fahrzeug steigt jedoch durch die vermehrte Kollektivierung der Angebotsformen. Die Engpasssituation auf den Nationalstrassen entspannt sich, die stark belasteten Abschnitte gehen zurück oder sind weniger stark beansprucht. Die Nutzung des ÖV nimmt durch effizienzbedingte Preisreduktionen und Nutzungsanreize zu.

5.3.2 Verkehrsaufkommen / Verkehrsleistung

- A** Die Fahrleistung nimmt in allen Räumen stark zu. Die Nachfrage nach privaten Fahrzeugen ist unverändert hoch, was insbesondere durch den Komfort der automatisierten Fahrzeuge bedingt ist. Der Langsamverkehr (LV) ist durch die Konkurrenz in seiner Bedeutung geschwächt. Der ÖV wird weniger stark genutzt als im Referenzzustand.

- B** Es kommt zu einer Verlagerung der Verkehrsleistung vom PW hin zu Angeboten im ÖV und LV. Insbesondere in ländlichen Räumen wachsen die LV- und ÖV-Anteile stärker als im Referenzzustand. Die Gesamtfahrleistung im Strassenverkehr geht stark gegenüber dem Referenzzustand zurück.

5.3.3 Räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung

- A** Die AF sind kein primärer Treiber der Zersiedelung, erhöhen aber die Attraktivität des MIV gegenüber ÖV und LV. Die Nutzung der AF erfolgt primär im städtischen Gebiet und der nahen Agglomeration.
- B** Die Zersiedelung wird nicht verstärkt. Die verbesserte Erreichbarkeit mit kollektiven Verkehrsmitteln auch in der Agglomeration und im ländlichen Raum hält Schritt mit der Entwicklung in den Städten.

5.3.4 Städtebauliche Entwicklung

- A** Städte stehen unter verstärktem Druck der Urbanisierung. Der städtische Raum wird zunehmend unattraktiver durch die Bedeutung des Verkehrs und dem Raumanspruch der AF.
- B** Verkehrsflächen können für neue Nutzungen freigegeben werden und stehen teilweise für die städtebauliche Entwicklung zur Verfügung. Jedoch werden auch Flächen für die kollektiven Verkehrsmittel benötigt, hier erfolgt eine Umnutzung bestehender Verkehrsflächen.

5.3.5 Ressourcenverbrauch

- A** Solange ein Mischverkehr besteht kommt es zu keiner Entlastung von Flächen, da für konventionelle und automatisierte Fahrzeuge Infrastruktur und Flächen vorgehalten werden. Die Verkehrsflächen sind stark nachgefragt.
- B** Der Landverbrauch sinkt für den Verkehr, jedoch werden diese Potentiale erst mit einer hohen Durchdringung des AF erzielt.

5.3.6 Verkehrsunfälle

- A** Eine stärkere Vernetzung der Fahrzeuge führt zu einem Sicherheitsgewinn. Die Verkehrssicherheit ist verbessert und mit einer starken Verbreitung der AF steigt sie weiter. Unfallrisiken ergeben sich im Mischverkehr mit dem LV und im Falle des Ausfalls von Systemen zur Steuerung der AF.
- B** Eine stärkere Vernetzung der Fahrzeuge führt zu einem Sicherheitsgewinn. Die Verkehrssicherheit ist verbessert und mit einer starken Verbreitung der AF steigt sie weiter. Unfallrisiken ergeben sich im Mischverkehr mit dem LV und im Falle des Ausfalls von Systemen zur Steuerung der AF.

5.3.7 Zugang zu Mobilitätsangeboten

- A Der Zugang zur Mobilität ist verbessert und für immer mehr Personengruppen möglich. Das Führen von AF ist mit geringeren Hürden verbunden als das Führen von konventionellen Fahrzeugen. Mit steigender Durchdringung der AF wird damit die Fahrerlaubnis einfacher zu beziehen bzw. je nach Betriebsbedingungen nicht mehr erforderlich sein. Da die Flotte grösstenteils aus privaten Fahrzeugen besteht und Angebote im ÖV und im LV unter Druck sind, können jedoch die Preise der Mobilität steigen und somit eine Einstiegshürde darstellen.
- B Der Zugang zur Mobilität ist verbessert und Erfahrungen mit AF sind der breiten Bevölkerung zugänglich. Im kollektiven Verkehr ist die Nutzung der Angebote weitestgehend ohne Fahrerlaubnis möglich.

5.3.8 Erreichbarkeiten

- A Der durch die Automatisierung induzierte Verkehr infolge neuer Nutzergruppen (ohne Führerschein) hat nur beschränkte Ausmasse⁹. Durch Bevölkerungswachstum, Verkehrsmittelverlagerungen, Routenwahlentscheidungen und Leerkilometer der AF verschlechtert sich jedoch die Erreichbarkeit insbesondere auf dem untergeordneten Strassennetz. Die Reisezeiten auf ausgewählten Relationen steigen, insbesondere bei stark nachgefragten Zielen.
- B Die Zuverlässigkeit der Reisezeiten steigt. Insbesondere in den urbanen Randregionen und der Agglomeration ist die Erreichbarkeit verbessert.

5.3.9 Betriebs- und Unterhaltskosten

- A Die Zugangskosten zur individuellen Mobilität mit AF sind erhöht.
- B Für die verstärkt kollektiv genutzten Fahrzeuge fallen geringere Kosten an als für die Mobilitätsangebote im Referenzszenario.

5.3.10 Vergleich der Szenarienwirkungen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Bewertung der Wirkungen je Szenario. Wirkungen sind im Vergleich zum Referenzszenario anhand des Zielsystems analysiert und Felder in der Übersicht sind entsprechend der qualitativen Bewertung eingefärbt. Die Elemente des Zielsystems denen aus den Teilergebnissen der TP 2 bis 6 keine Wirkung zugewiesen werden kann sind grau hinterlegt. Bei diesen Kriterien und v.a. auch bei den Umweltaspekten wie Energie/Klima oder Luft-/Lärmemissionen kann jedoch gesagt werden, dass das Szenario B indirekt positivere Wirkungen erzielt als Szenario A. Dies vor allem wegen verstärkter Kollektivierung mit der Folge erhöhten durchschnittlichen Besetzungsgraden und spezifisch geringeren Fahrleistungen.

Aus der Gegenüberstellung der Bewertungen ergibt sich eine Gesamtsicht auf die Wünschbarkeit der Szenarien.

⁹ Die Literatur zeigt bezüglich dieser Wirkung jedoch grosse Unsicherheiten auf (vgl. auch Kapitel 2)

Tab. 5 Übersicht der Wirkungsbewertung Szenarien A und B

Kriterien	Wirkung Szenario A	Wirkung Szenario B
Auslastung Verkehrsinfrastrukturen/ Kapazitäten	Neutral	Leicht positiv
Verkehrsaufkommen/ Verkehrsleistung	Negativ	Positiv
Räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung	Neutral	Leicht positiv
Städtebauliche Entwicklung	Neutral	Neutral
Energie/Klima, Luft- und Lärmemissionen		
Ressourcenverbrauch	Leicht negativ	Neutral
Verkehrsunfälle	Leicht positiv	Leicht positiv
Betriebssicherheit		
Zugang zu Mobilitätsangeboten	Leicht positiv	Positiv
Datenschutz		
Erreichbarkeiten	Leicht positiv	Positiv
Innovationskraft		
Investitionskosten		
Betriebs- und Unterhaltskosten	Leicht negativ	Positiv
Kostenwahrheit		

Die Wirkungsanalyse der Szenarien zeigt, dass Szenario B in der Bewertung im Vergleich zum Referenzszenario positiver abschneidet. Die kollektive Nutzung der Potentiale, die die Automatisierung im Mobilitätsbereich generieren kann, führt zu wünschbaren Ergebnissen in der Vielzahl der Kriterien des Zielsystems.

Diese Erkenntnis führt zu einer stärkeren Berücksichtigung der Ausgestaltung des Szenario B für die Merkmale im Zielszenario.

5.4 Zielszenario 2050

Präambel

Die Darstellung eines Zielszenarios für das Verkehrssystem 2050 lässt sich nicht nur über verkehrliche Anpassungen erklären. Die wichtigsten Treiber der Veränderung werden im Verhalten der Nutzer, der Akzeptanz und im Wertesystem der Gesellschaft zu identifizieren sein. Diese sind jedoch nicht Teil der Forschungsarbeit. Um die Konsistenz des Zielszenarios zwischen den verschiedenen beschriebenen Bereichen zu erhalten sind Aussagen daher teilweise auf Annahmen zu verändertem Nutzerverhalten gestützt, die keine direkte Grundlage im vorliegenden Forschungsprojekt haben.

In der Schweiz hat ein starker Wandel in der Nutzung der Fahrzeuge auf der Strasse stattgefunden. Automatisierte Fahrzeuge ab Level 4 können ohne Eingriffe eines Lenkers unter festgelegten Betriebsbedingungen verkehren. Zudem unterliegt der Betrieb von automatisierten Fahrzeugen einem Regelwerk, welches unterschiedliche Verkehrsregeln, die zugelassenen **Betriebsbedingungen**¹⁰ und das Verhalten im Mischverkehr für verschiedene Verkehrsbereiche festlegt.

Die deutlichen Vorteile der automatisierten Fahrzeuge zeigen sich in den neuen Verkehrsangeboten, die bei geringeren Kosten die Nachfrage bündeln, effiziente Mobilitätsketten ermöglichen und den Verzicht auf Fahrzeuge im Eigenbesitz begründen.

Nachfolgend sind die zentralen Merkmale des Zielszenarios für 2050 beschrieben. Es konsolidiert die identifizierten Wirkungen der Teilprojekte in einem Szenario und bildet dabei die wünschbaren Wirkungen gemäss des Zielsystems ab. Das Zielszenario ist in mehrere Bereiche gegliedert (vgl. Abb.12).

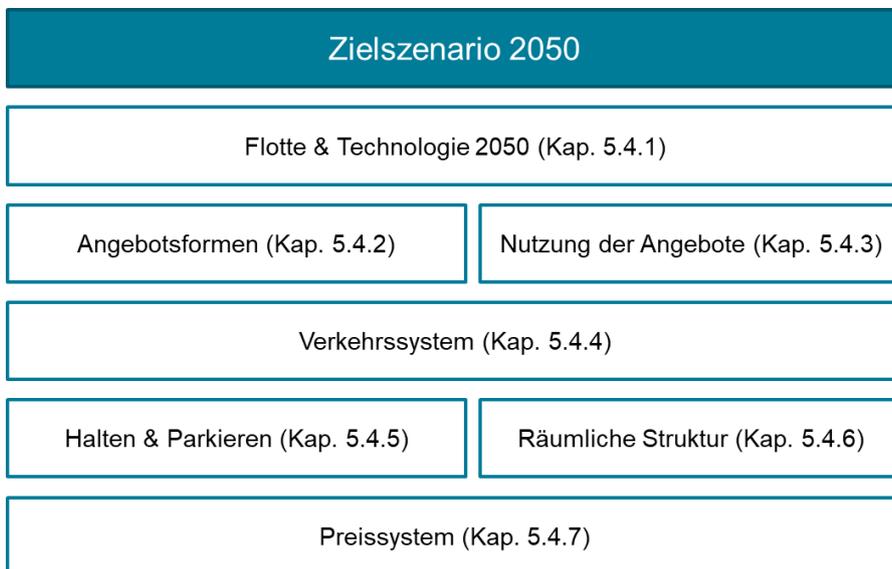


Abb. 12 Aufbau des Zielszenarios

¹⁰ Betriebsbedingungen bezeichnen die Bedingungen, unter denen ein bestimmtes Fahrautomatisierungssystem oder ein Merkmal davon speziell für das Funktionieren ausgelegt ist, einschliesslich, aber nicht beschränkt auf umgebungsbedingte, geografische und tageszeitliche Beschränkungen und/oder das erforderliche Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Verkehrs- oder Fahrbahnmerkmale (vgl. SAE-Norm J3016 - Operational Design Domain). Die Definition von Betriebsbedingungen ist für Fahrzeuge mit AF-Level 4 relevant, um festzulegen unter welchen Bedingungen sie automatisiert verkehren dürfen. Fahrzeuge mit Level 5 können unter allen Bedingungen verkehren.

Der Fokus der Beschreibung des Zielszenarios liegt auf dem Strassenverkehr und den wichtigsten Umfeldfaktoren, die die Mobilität beeinflussen. Zudem sind wichtige Herausforderungen im Vergleich zum Stand 2020 herausgearbeitet, welche Handlungen der Politik und des Regulators erforderlich machen können. Diese Herausforderungen werden im Kapitel 6 zum Handlungsbedarf aufgegriffen. Zudem ist zu betonen, dass sowohl die Elemente des Zielszenarios als auch die Handlungsempfehlungen (Kapitel 6) auf die Themen konzentriert, die auch in den Teilprojekten behandelt wurden.

5.4.1 Technologie und Flotte im Mischverkehr

Der technologische Fortschritt in der Fahrzeugindustrie hat es ermöglicht Fahrzeuge im privaten und öffentlichen Einsatz sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr automatisiert verkehren zu lassen. Die Mehrheit der Neufahrzeuge sind technologisch dafür ausgelegt auf allen Strassentypen mit dem AF-Level 4 oder 5 verkehren zu können. Die technologische Ausrüstung erlaubt in der Regel strassentypen- und wetterunabhängigen Einsatz unter allen Betriebsbedingungen.

In der Schweizer Fahrzeugflotte sind rund 60% der Fahrzeuge automatisiert. Durch eine hohe Nachfrage nach der Nutzung von automatisierten Angebotsformen wurden konventionelle Fahrzeuge schnell abgelöst und automatisierte Fahrzeuge (AF) finden für die meisten Nutzungszwecke Anwendung. Der Anteil der Fahrleistung der AF übersteigt den Anteil der AF in der Fahrzeugflotte.

Dadurch, dass die Flotte nicht vollständig automatisiert ist und nicht in allen Nutzungszwecken zum Einsatz kommt, bestehen in den allen Räumen noch Mischverkehre, die erhöhte Anforderungen an Technologie, Infrastruktur und Steuerung stellen.

Um im Mischverkehr den Verkehrsteilnehmern den Umgang mit automatisierten Fahrzeugen zu erleichtern und die Anpassung des Verhaltens auf die neuen Fahrzeuge im Übergang zu vereinfachen, ist eine einheitliche und weithin sichtbare Kennzeichnung der AF vorgeschrieben. Zudem ist eine Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen mit konventionellen Verkehrsteilnehmern, insbesondere dem Langsamverkehr, per Anzeigen und Signalen nötig. AF können das Erkennen und Berücksichtigen von anderen Verkehrsteilnehmern visuell und akustisch signalisieren. Wird das Verhalten von Verkehrsteilnehmern antizipiert, z.B. die Intention die Strasse an einem Übergang zu queren, können Signale durch AF auf die Fahrbahn projiziert werden, akustische Bestätigungen ausgegeben werden und durch das Fahrverhalten ein sicherer Umgang mit den AF bestätigt werden (beispielsweise die sichere Querung der Strasse). Durch AF-Sensorik erkannte Verkehrsteilnehmer und deren Verhalten werden zwischen AF geteilt.

AF haben grosszügige vorgegebene Mindestabstände zu anderen Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmern zu berücksichtigen, die in verschiedenen Verkehrsbereichen variieren und mit den Geschwindigkeitsbegrenzungen korrelieren. Weiterhin sind AF darauf ausgelegt möglichst effizient im Mischverkehr zu verkehren.

Umsetzung im Güterverkehr

Güterverkehr auf der Strasse findet hauptsächlich mit Verkehrsmitteln statt, die in ihrer Form und Grösse ihrem Nutzungszweck angepasst sind. Neben Transportformen im Langsamverkehr (z.B. Cargovelos) kommen Fahrzeuge der Klasse Transporter und Lkw zum Einsatz, Lastzüge nur ausserhalb der Städte. Es bestehen durch die Automatisierung von weiteren Logistikprozessen (insbesondere Ver- und Umlad, Kommissionierung und Lagerung) starke Anreize zur Bündelung und zur Nutzung von kombiniertem Verkehr mit der Schiene. Automatisierte Kleinstfahrzeuge und Drohnen haben sich in den Städten nicht durchgesetzt, da mit diesen Gefässen keine hinreichenden Mengen transportiert werden können und neue Zielkonflikte im bereits stark belasteten städtischen Raum entstehen.

Der zugelassene Automatisierungsgrad für Güterverkehrsfahrzeuge wurde gegenüber dem Personenverkehr früh erhöht. Die Flotte im Güterverkehr ist bereits zu 80% automatisiert. Jedoch unterliegt die automatische Beförderung von Gütern auch strengeren Auflagen bezüglich Sicherheit und Schutz anderer Verkehrsteilnehmer.

Herausforderungen:

- Stärken der Automatisierung im Verkehr nutzen und dabei die bestehenden Schwierigkeiten im Mischverkehr moderieren.
- Gegenseitiges Erkennen und Kommunikation zwischen automatisierten und konventionellen Fahrzeugen, bzw. weiteren Verkehrsteilnehmern

5.4.2 Vorherrschende Fahrzeugtypen und Angebotsformen

Die vorherrschende Fahrzeugform im Personenverkehr entspricht auch weiterhin der Personenwagengrösse. Auf den Strassen sind zudem vermehrt Fahrzeuge im Segment Kleinbus im Einsatz, die konventionelle Busse durch neue Angebote ergänzen.

Neue kollektive Verkehrsformen sind verstärkt im Einsatz (mit Angeboten wie Sharing on demand, Riding on demand und ÖV on demand). Der klassische öffentliche Verkehr (ÖV) ist als Grundform der kollektiven Verkehre gestärkt aus der Transformation durch die Automatisierung des Strassenverkehrs hervorgegangen und hat ebenfalls die Potentiale kleinerer automatisierter Fahrzeuge in das Angebot integriert. Die Nutzung automatisierter Fahrzeuge erfolgt dadurch weniger als Substitut des ÖV, sondern in Ergänzung auf der ersten und letzten Meile. Weiterhin bieten neue ÖV-Angebote Verknüpfungen von Orten, die im konventionellen ÖV nicht bedient wurden mit kleineren, individuelleren Verkehrsmitteln, die im Bedarfsverkehr unterwegs sind und ein Netz von virtuellen Haltestellen bedienen.

Private Personenwagen (konventionell und automatisiert) haben über die Zeit ihre Funktion behalten, der Bestand ist aber durch die mit der Automatisierung verfügbaren Alternativen um 40% zurückgegangen. Ein eigenes Fahrzeug steht in der Regel nur dem Besitzer und von ihm zugelassenen Fahrern am Abstellort zur Verfügung. Das Fahrzeug kann ohne Einschränkungen für Fahrten an beliebige Ziele genutzt werden. Die Möglichkeit ein AF nach Bedarf leer an Orte zu bestellen oder zu senden ist jedoch für private Fahrzeuge bislang nicht vorgesehen. Ausgenommen sind sehr kurze Leerfahrten mit einem zugewiesenen Ziel im Nahbereich, wie z.B. ein festgelegter Parkplatz in einem Parkhaus.

Das System ÖV funktioniert zu einem grossen Teil wie bisher, ist jedoch stark automatisiert und um Angebote mit kleineren AF ergänzt. Angebote auf der Schiene bieten die höchste Kapazität und stellen die Mobilität entlang der Linien sicher. Die Automatisierung hat in Teilbereichen zur Effizienzsteigerung auf der Schieneninfrastruktur geführt. Der ÖV mit automatisierten Bussen auf der Strasse verkehrt auf einem Liniennetz, entlang starker Nachfrageströme und mit kleinräumigeren Angeboten als Verknüpfungslösung im Bedarfsverkehr. Die Automatisierung führt dabei zur Entlastung von Busfahrern. Buslinien werden durch Servicemitarbeiter betreut (z.B. durch Begleitpersonal, durch Personal vor Ort an hoch-frequentierten Haltestellen oder per Videoschnittstelle und Rufsystemen in den Fahrzeugen).

In den Gebieten mit geringer Dichte kommen neue Angebote im kollektiven Verkehr zum Einsatz, die sich in die bestehende multimodale Angebotslandschaft integrieren, aber privat betrieben werden. Neben dem klassischen ÖV haben sich, getrieben durch die Möglichkeiten der Automatisierung, diese kollektiven und automatisierten Verkehrsangebote etabliert, die teilweise auch als Teil des ÖV integriert sind. Sie basieren auf geteilten Fahrzeugen, die bei Bedarf algorithmisch optimierte Routen bedienen und individuelle Ziele anfahren können.

- Kollektive, automatisierte Personenwagen die Mobilität zu virtuellen Haltestellen mit engmaschiger räumlicher Abdeckung erlauben. Die Nutzung kann alleine erfolgen oder auch für kollektive Nutzung freigegeben werden, was einen niedrigeren Nutzungstarif zur Folge hat. Diese Angebote werden durch Flottenbetreiber bereitgestellt. («Your-Car»)
- Automatisierte Kleinbusse, die per Anmeldung auf einen beliebigen Zeitpunkt bestellt werden können. Die Kleinbusse bedienen virtuelle Haltestellen in dichtbesiedelten Zonen und bei hoher Nachfrage sowie in dünn besiedeltem Gebiet und Randzeiten auch Wunschartressen. («PubliTaxi»)

Die Bereitstellung von kollektiven Angeboten in einigen Kerntarifgebieten von Verkehrsverbänden erfolgt durch die öffentliche Hand im Sinne einer Erweiterung des ÖV-Systems. Es sind aber auch private Angebote am Markt platziert, die nicht alle Pflichten des ÖV erfüllen müssen und somit die Angebotsdichte in Teilmärkten verstärken können und sich über weitere Angebotsfunktionen von den öffentlichen Anbietern differenzieren.

Umsetzung im Güterverkehr

Der Trend zur Bündelung von Transporten hat sich fortgesetzt. Der Atomisierung von Lieferungen durch Kleinfahrzeuge auf der letzten Meile steht ein restriktiveres Preissystem entgegen. Effizientere Umladestationen ermöglichen zudem einen vereinfachten kombinierten Verkehr. Die letzte Meile wird wesentlich effizienter gestaltet, durch gebündelte Anlieferungen an zentrale Abholstationen und bessere Auslastung auf allen Wegen. So haben die automatisierten Güterfahrzeuge Konzepte für paarige Verkehre belebt; Transporte, die bei ihrer Hin- und ihrer Rückfahrt eine Ladung transportieren. Dies wurde durch den vermehrten Einsatz von Zug- und Trägerfahrzeugen ermöglicht, die mit einer Standardisierung von Ladeeinheiten im Transport einherging.

Durch den Wegfall von Fahrern bei reinen Transporten kommt es zu einer hohen Effizienz von Transportleistungen. Zudem können Fahrzeuge stärker ausgelastet werden und auch in Randzeiten Transporte durchführen. Durch verfügbare geräuscharme Fahrzeuge wurde zudem das Nachfahrverbot gelockert.

Herausforderungen:

- Erhöhung des Besetzungsgrads von AF, Vermeidung von Leerfahrten
- Regulierung privater gewerbsmässiger on-Demand Verkehre
- Integration privater Verkehrsangebote ins multimodale Verkehrssystem
- Regulativ im Güterverkehr mit den Potentialen der Automatisierung abstimmen

5.4.3 Nutzung neuer Angebotsformen

Die breitere Palette an Mobilitätsangeboten ermöglicht den wesensgerechten Einsatz entsprechend der Nachfrage nach Dienstleistungen. Die Automatisierung ermöglicht einen hohen Komfort der automatisierten Angebote, der die Nutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen im Privatbesitz attraktiviert.

Die Nachfrage wird stark durch den Preisvergleich eines individuell genutzten AF mit der Nutzung von anderen Angebotsformen beeinflusst, weswegen das Preissystem Strasse aktiv das Verhalten der Nutzer beeinflussen soll.

Die automatisierten, kollektiven Verkehrsangebote ermöglichen Personen den Zugang zu einem breiten Mobilitätsangebot, die bisher nur mit dem eigenen Fahrzeug verkehrten. Für das Führen konventioneller Fahrzeuge besteht weiterhin die Pflicht einer Fahrerlaubnis ab 18 Jahren. Der Betrieb von individuell genutzten AF ist gemäss der Betriebsbedingungen

für alle Personen über 15 Jahren möglich. Wenn die Betriebsbedingungen einen automatisierten Betrieb jedoch nicht zulassen, wird eine Fahrerlaubnis zur Übernahme konventioneller Fahrfunktionen benötigt. Angebote im kollektiven Verkehr und ÖV sind ohne Altersbeschränkung nutzbar. Für Kleinkinder sind Begleit- oder Aufsichtspersonen vorgeschrieben.

Kleine bis mittelgrosse Fahrzeuge im kollektiven Verkehr im ländlichen Raum substituieren meist kurze Fahrten oder dienen als Anschluss an öffentliche Verkehrsmittel und Bahnhöfe. Die Mobilität wird bewusster genutzt, die Angebotspalette ist breiter und je nach Nutzungszweck bestehen Angebote die preislich und im Komfort attraktiver sind als ein eigenes Fahrzeug vorzuhalten und zu nutzen. Komfort und grosszügige Fahrzeugkonzepte, die für kollektive Verkehre gedacht sind, haben die Akzeptanz von kollektiven Verkehrsangeboten erhöht.

Die Differenzierung zwischen Privatverkehr und ÖV sowie kollektivem Verkehr verschwindet in der öffentlichen Wahrnehmung zunehmend und der politische Wille zu einer ganzheitlichen Förderung des Verkehrssystems nimmt zu. Hiervon profitieren auch Schienenangebote, die ebenfalls undifferenzierter als Teil des Systems wahrgenommen werden.

Das Tor zur kollektiven und multimodalen Mobilität wird durch mehrere Mobility-as-a-Service (MaaS)-Dienstleister bereitgestellt. Die Anbieter unterscheiden sich durch regionale Fokussierungen und Kooperationen mit Verkehrsverbänden. Es sind aber auch Technologieunternehmen im Markt, die ihre eigenen Tools zur Integration von Mobilität mit anderen Anwendungen verwenden und bewerben wollen. Weitere Anbieter differenzieren sich über das Preisniveau. Während manche Dienste eine Nutzerfinanzierung anstreben, bestehen ebenso Modelle, die werbefinanziert und durch Sponsoring unterstützt werden.

Der Zugang zur Mobilität ist für alle Personengruppen durch die Automatisierung vereinfacht. Die öffentlichen Angebote im Strassenverkehr sind im Einklang mit dem Behindertengleichstellungsgesetz (BehiG) barrierefrei gestaltet. Der Zugang zu Fahrzeugen ist autonom möglich, auch ohne, dass Infrastrukturen wie Fahrbahnkanten allorts angepasst werden mussten. Einschränkungen sind nur an wenigen Orten im Strassennetz vorhanden, z.B. an steilen Rampen und nicht befestigten Strassen oder Strassen ohne Trottoir, wo ein gesicherter Ein- und Ausstieg nicht gemäss dem Gesetz möglich ist.

Umsetzung im Güterverkehr

Im Güterverkehr kommen unterschiedliche Fahrzeuge zum Einsatz, die sich aber insbesondere in ihren Nutzungszwecken unterscheiden. In Transport- und Logistikketten sind spezialisierte Fahrzeuge für ihren jeweiligen Nutzungszweck optimiert. Dabei sind die Fahrzeuge auf ihren Einsatzort abgestimmt, bezüglich ihrer Grösse, Geschwindigkeit und ihrer Ausstattung (z.B. Be- und Entladevorrichtungen, Lärmreduktionsmassnahmen). Logistikdienstleister optimieren ihre Flotten gemäss ihren Anforderungen.

Herausforderungen:

- Identifizierung von Fahrern in AF während der Fahrt, insbesondere zur Sicherstellung der Übernahme manueller Fahrfunktionen durch berechnete Fahrer
- Anreize zur kollektiven Verkehrsnutzung werden als Anstoss benötigt, damit sich Angebote im kollektiven Verkehr durchsetzen und Kostenvorteile und Komfort die Bevölkerung überzeugen können.
- Regulierung von MaaS-Angeboten

5.4.4 Funktion des Verkehrssystems

Damit das Verkehrssystem effizient und sicher funktioniert, sind alle Verkehrsräume und Netzbereiche in verschiedene Verkehrsbereiche unterteilt und für die Erteilung von Betriebsbedingungen klassifiziert. Die Verkehrsbereiche sind an die räumliche Unterteilung und die vorherrschenden Strassenkategorien angelehnt: Stadt (Innerorts); Agglomeration und ländliche Siedlungen (Innerorts); Überlandstrassen (Ausserorts); Hochleistungsstrassen (Autobahnen und Autostrassen); abgeschlossene Areale (z.B. Betriebsareale). Die Bereiche unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihrer Komplexität und dem Gefahrenpotential durch den Einsatz automatisierter Fahrzeuge. In den Betriebsbedingungen der AF sind die verschiedenen Verkehrsbereiche hinterlegt. AF auf Level 4 benötigen eine Definition von Betriebsbedingungen, unter denen sie verkehren dürfen. AF auf Level 5 sind für alle Bedingungen zugelassen.

Die Hochleistungsstrassen und wichtige Überlandstrassen (ausserorts), auf denen keine besondere Komplexität vorliegt (starke Gefälle, enge Kurvenradien, verengte Stellen) sind in fast allen Betriebsbedingungen der AF enthalten. Es findet hier weiterhin Mischverkehr statt. Automatisierte Fahrzeuge auf Level 4 und 5 wurden hier zuerst zugelassen, somit ist der Verkehr auf den HLS 2050 bereits vermehrt automatisiert. Es findet keine generelle feste Zuordnung der Spuren in Abhängigkeit des Automatisierungsgrads statt. Auf den Autobahnabschnitten mit drei Streifen über mehrere Kilometer sind jedoch Vorzugsspuren für AF eingerichtet. Diese dürfen bei einem Besetzungsgrad von mindestens zwei Personen befahren werden. Die Kapazität auf den Vorzugsspuren ist durch geringere Sicherheitsabstände erhöht. Im Mischverkehr und bei der Einfädelung der Vorzugsspuren sind sicherheitsrelevante Fahrzeugabstände berücksichtigt, die durch den Einsatz von Assistenzsystemen bei konventionellen Fahrzeugen aber im Verlauf der Zeit gesenkt werden konnten.

Die Hochleistungsstrassen wurden gemäss den Infrastrukturprogrammen des Bundes ausgebaut. Die Kapazität auf den Strassen ist aber nicht nur durch ein erhöhtes Infrastrukturangebot gesichert, sondern insbesondere durch den Wechsel in der Nutzung der Verkehrsangebote und die einhergehende Reduktion im Fahrzeugbestand.

Die meisten Innerorts-Bereiche sind in den Betriebsbedingungen der AF auf Level 4 freigegeben. Es sind jedoch geringere Geschwindigkeiten und sehr zurückhaltendes Verhalten im Mischverkehr mit dem Langsamverkehr vorgegeben, da eine wirkungsvolle Separierung der einzelnen Verkehrsarten bei beschränktem Platzangebot nicht immer möglich ist. Die Geschwindigkeiten zwischen AF und Veloverkehr sind stark homogenisiert. Im städtischen Raum und den Agglomerationen werden die Angebotsformen mit ähnlichem Verkehrsverhalten (Profil, Beschleunigung und Geschwindigkeit) in gemeinsamen Bereichen auf der Infrastruktur geführt. Der verfügbare Platz auf den Strassen wurde zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, wo möglich, in neue geschwindigkeitsabhängige Bereiche unterteilt. In Bereichen, in denen diese Unterteilung durch beschränktes Platzangebot nicht umsetzbar war, wird die Sicherheit durch die Homogenisierung der zulässigen Geschwindigkeiten unterstützt. Durch attraktive Angebote kommen vermehrt kollektive Verkehre zum Einsatz, die den ÖV ergänzen.

Fahrzeuge die automatisiert verkehren, müssen, wenn sie Bereiche ihrer freigegebenen Betriebsbedingungen verlassen, einen gesicherten Wechsel zu zugelassenen Fahrfunktionen gewährleisten oder eine Übernahme von konventionellen Fahrfunktionen durch berechnete Fahrer sicherstellen.

Die Nutzbarkeit in verschiedenen Verkehrsbereichen durch umfassende Betriebsbedingungen ist ein wichtiges Angebotsmerkmal der unterschiedlichen Verkehrsmittel und differenziert die Angebote. Alle AF greifen jedoch auf abgestimmte Sets von Standards zur Vernetzung und Austausch mit anderen Fahrzeugen (V2V) und mit der Infrastruktur (V2I) zurück. Dazu sind Orientierungsstandards und Navigationshilfen für alle zugelassenen Fahrzeuge vereinheitlicht.

Eine Revision der Markierungen und Signalisation ist auf allen Schweizer Strassentypen umgesetzt. Sie ist für automatisierte Fahrzeuge und menschliche Fahrer eindeutig und verlässlich festgelegt. Es wird aber weiterhin unterschiedliche Signalisation zwischen den

Hochleistungsstrassen und anderen Verkehrsbereichen, z.B. im städtischen Raum, verwendet, unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeiten. Im städtischen Raum und den Agglomerationen mit kürzeren Strassenabschnitten, Kreuzungen und Mischverkehr mit Langsamverkehr ist die Signalisationsdichte höher als auf den Hochleistungsstrassen.

Umsetzung im Güterverkehr

In den Städten und Agglomerationen liegt der Fokus des Güterverkehrs auf Zustellung und Abholung von kleinen Sendungsgrössen gebündelt an zentralen Standorten. Eine Feinverteilung findet nur in weniger dichten Räumen statt, es kommen vermehrt einfach zugängliche Übergabeinfrastrukturen zum Einsatz. Die Automatisierung hat zum Durchbruch einer effizienten City-Logistik beigetragen, bei der Prozesse in der Ver- und Entsorgung von Haushalten und Unternehmen effizient und kostengünstig realisiert werden. In der Entsorgung liegt der Fokus auf kompakter Bündelung und auf dem Bedarfsverkehr zu Randzeiten, dies ist ebenfalls für die Baulogistik umgesetzt

Für Transporte zwischen Ballungsräumen kommt der kombinierte Verkehr zum Einsatz unterstützt durch grössere AF auf den HLS. Diese verkehren aufgrund ihrer Grösse und ihres Gewichts unter eingeschränkten Betriebsbedingungen. Die Höchstgeschwindigkeit der schweren Gütertransporte auf der Strasse ist weiterhin vermindert, ihre Zuverlässigkeit und Planbarkeit ist jedoch gesteigert. Das Wesen der Transporte hat sich dem Servicelevel der automatisierten Güterbahn angeglichen und somit den Modal-Split im Güterverkehr nicht nachhaltig verschoben. Für den Güterverkehr im Transit kommt der Strassentransport nur in Ausnahmefällen zur Anwendung. Die Verlagerungsziele des Bundes sind erreicht.

Herausforderungen:

- Anpassung der Verkehrsregeln für den Mischverkehr
- Anpassung des Verkehrsmanagements in allen Verkehrsbereichen
- Aufteilung des verfügbaren Strassenquerschnitts im innerstädtischen Bereich
- Vorgaben zum Umschalten zwischen Fahrfunktionen, wenn Bereiche der Betriebsbedingungen verlassen werden
- Festlegung einheitlicher Signalisation und Markierungen, bei allen Wetter- und Verkehrslagen erkennbar für Sensorik und Menschen sowie auch in allen Navigationssystemen hinterlegt

5.4.5 Halten- und Parkieren

Durch die verstärkte Nutzung kollektiver Verkehrsformen und eine hohe Nutzung von automatisierten Angeboten im Bedarfsverkehr und im ÖV geht die Nachfrage nach Abstell- und Parkflächen für Fahrzeuge im innerstädtischen Bereich und den Agglomerationen kontinuierlich zurück.

Damit einhergehend wurden an zentralen Orten öffentliche Parkplätze im Strassenraum durch Haltezonen ersetzt, die im Personenverkehr zum Ein- und Aussteigen verwendet werden und das Netz der Haltestellen für kollektive Verkehre feingliedriger ergänzen. In der Umsetzung der Ein- und Ausstiegsstellen wird der Verkehrssicherheit erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Flächen werden separiert vom fliessenden Verkehr bereitgestellt. Zudem sind nicht mehr benötigte Fahrbahnflächen zugunsten des Langsamverkehrs sowie der Erhöhung der Aufenthaltsqualität umgenutzt. Die Flexibilisierung der möglichen Halte im kollektiven Verkehr unterstützt den Wandel zur verstärkten Nutzung der kollektiven Verkehre und führt zu einem erhöhten Komfort auf der ersten und letzten Meile.

Die Nutzung der Haltezonen wird durch Sensoren kontrolliert und, wo nötig, abgerechnet. In stark nachgefragten städtischen Gebieten dienen die Nutzungsgebühren auch zur Nachfragesteuerung. Zudem sind Vorgaben zur Vorhaltung von Haltezonen für private Grundstücke in der Bau- und Zonenordnungen hinterlegt. Arbeitgeber sind ebenfalls verpflichtet sich an der Bereitstellung von Haltezonen zu beteiligen. Die ausgewiesenen Haltezonen dienen teilweise auch dem Güterverkehr zum Be- und Entladen.

Umsetzung im Güterverkehr

Die Nutzung der Haltezonen als Ladezonen ist für den automatisierten und konventionellen Güterverkehr möglich. Durch die wesensgerechten Fahrzeuge im Güterverkehr wurde auch eine Flexibilisierung der Anlieferzeiten ermöglicht, so dass Nutzungskonflikte mit dem Personenverkehr zu Stosszeiten reduziert wurden.

Die Anlieferinfrastruktur in der Logistik ist vielerorts schon auf automatische Be- und Entladeprozesse ausgerichtet, wobei darauf geachtet wurde, dass die Anlagen auch durch die Fahrzeuge bedient werden können. Somit sind viele dieser Be- und Entladeorte nur für den Güterverkehr vorgesehen und reserviert. Dadurch, dass diese Orte zentralisierter und dem Güterverkehr vorbehalten sind, können sie auch genau auf dessen Bedürfnisse abgestimmt werden und brauchen nur wenig Flächen.

Herausforderungen:

- Abstimmung der vorzuhaltenden öffentlichen Parkplätze mit Haltezonen (bzgl. Nutzungsgebühren, Anzahl und Verteilung)
- Definition der Dimensionierung von Haltezonen und räumliche Verteilung der Haltezonen
- Abstimmung der kommunalen Regelwerke für Parkplätze und Haltezonen

5.4.6 Räumliche Struktur

Die Zwecke der Verkehrsmittelnutzung in der Schweizer Bevölkerung und ihre Bedeutung haben sich nicht grundlegend verändert, die Nutzungsgewohnheiten der Verkehrsangebote jedoch stark. Durch die attraktiven, komfortablen und preisgünstigen Angebote im kollektiven Verkehr ist der Bestand der Personenwagen zurückgegangen und die Besetzung der Fahrzeuge ist erhöht. Die voranschreitende Automatisierung hat in der Umsetzung zu wesentlich höherer Effizienz und Zuverlässigkeit bei den Reisezeiten sowie Komfort im Personenverkehr geführt. Die Geschwindigkeiten sind gesunken, der Verkehrsfluss ist aber verbessert, somit bleibt auch die Zeit, die Personen, je nach Nutzungszweck einer Fahrt, im Verkehr verbringen im Vergleich über die Jahrzehnte stabil. Zudem kann die Zeit unterwegs auch in automatisierten Fahrzeugen auf der Strasse bislang nicht wesentlich aktiver und produktiver genutzt werden. Die Wege in der Schweiz führen zum grössten Teil durch verschiedene Strassentypen. Diese Wechsel und die unterschiedlichen Fahrsituationen, lassen ein ruhiges kontinuierliche Fahren über einen längeren Zeitraum noch nicht zu.

Diese Gründe führen dazu, dass die zurückgelegten Distanzen der Einwohner nach Nutzungszweck über die Zeit konstant geblieben sind. Die Automatisierung im Verkehr ist kein primärer Treiber für die Verlagerung von Wohnorten und Arbeitsorten. Ein massgeblicher Einfluss auf die Zersiedelung blieb somit aus.

Umsetzung im Güterverkehr

Auch im Güterverkehr haben die neuen Logistikkonzepte keinen primären Einfluss auf die Siedlungsstruktur. Standortentscheide von Verladern und Logistikern werden stärker durch die Raumpolitik und die Landpreisentwicklungen getrieben.

Herausforderungen:

- Abstimmung der Raumpolitik mit den veränderten Bedingungen eines automatisierten Verkehrssystems

5.4.7 Preissystem

Ein Preissystem Strasse ist für alle Verkehrsangebote, mit Ausnahme des Langsamverkehrs, umgesetzt. Das Preissystem ermittelt die Preise zur Infrastrukturnutzung unter Berücksichtigung des Fahrzeugtyps, der Angebotsform, der Fahrleistung, der potentiellen und tatsächlichen Fahrzeugbesetzung und der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Verkehrs.

Aus diesen Faktoren werden Preise ermittelt, die die strategischen Ziele gemäss Zielbild des Bundes unterstützen. Dabei sollen insbesondere zusätzliche Anreize zur Nutzung des ÖV bzw. der neuen kollektiven Angebotsformen gegeben und die Umweltbelastung reduziert werden. Verkehrsüberlastungen sollen vermieden werden und Konflikte zwischen Nutzungen verringert werden.

Die Effektivität des Preissystems wird anhand eines Kriteriensystems periodisch überprüft und, wenn nötig, durch Anpassungen korrigiert.

Umsetzung im Güterverkehr

Die LSVA wurde durch das neue Preissystem Strasse abgelöst. Es werden alle Fahrzeugtypen (auch Kleinstfahrzeuge) im Preissystem berücksichtigt. Es wird insbesondere auch die Auslastung der Fahrzeuge miteinbezogen und ein wesensgerechter Einsatz sowie paarige Verkehre bevorteilt.

Herausforderungen:

- Akzeptanz der starken Steuerungswirkung des Preissystems sichern
- Umsetzung Mobility Pricing mit genügender Flexibilität zur dynamischen Beeinflussung des Verkehrs
- Integration des Güterverkehrs in ein Gesamtpreissystem, Überführung der LSVA
- Wahrung der sozialen Gerechtigkeit, Berücksichtigung individueller Zahlungsbereitschaften und Möglichkeiten

6 Handlungsbedarf

6.1 Einleitung und Grundsätze zur Regulierung

Das Kapitel soll aufzeigen in welchen Bereichen Handlungsbedarf besteht, um die Wirkungen der Automatisierung in Richtung des Zielszenarios zu lenken. Im Vordergrund stehen Regulierungen der öffentlichen Hand; und zwar in den Themenfeldern, die im vorliegenden Forschungspaket in den Teilprojekten behandelt wurden. Auf übergeordnete Handlungsfelder, namentlich solche, welche die Entwicklung und Marktdurchdringung von Technologien des automatisierten Fahrens fördern, wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Auch auf viele gesellschaftlich-individuelle Verhaltensweisen, welche den Diffusionsgrad des automatisierten Fahrens beeinflussen, kann an dieser Stelle nicht vertiefter eingegangen werden.

Als Grundlage zur Identifikation wichtiger Handlungsansätze dienen die Ergebnisse in den Teilprojekten 2 bis 6. Diese geben für ihre sektoralen Vertiefungen bereits Handlungsempfehlungen ab. Aufgabe des TP1 ist die Homogenisierung dieser Empfehlungen und Priorisierung der Handlungsansätze, um das Zielszenario zu erreichen.

Regulativer Handlungsbedarf besteht in sehr unterschiedlichen Themenfeldern. Herausforderungen und mögliche Varianten der Regulierung in verschiedenen Bereichen des Verkehrs der Zukunft (d.h. nicht nur Automatisierung und mit einem längerfristigen Horizont 2060) wurden im Rahmen des parallel laufenden SVI-Forschungspakets Verkehr der Zukunft im Teilprojekt Regulierung differenziert untersucht. Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die Regulierungsfelder sowie deren grobe zeitliche Dringlichkeiten.



Abb. 13 Regulierungsfelder und deren Dringlichkeiten im weiten Bereich des Verkehrs der Zukunft¹¹

Das vorliegende Forschungspaket hat nicht denselben breiten Anspruch zur Systematisierung des regulativen Handlungsbedarfs. Analog zu den Themenschwerpunkten von TP2-6 sowie den Schwerpunkten des Zielszenarios konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen auf den regulativen Handlungsbedarf in vier Bereichen:

¹¹ Quelle: Ecoplan 2020

1. **Funktionsfähigkeit Verkehrssystem sicherstellen:** Regulativer Handlungsbedarf zur Organisation und Betrieb des Strassenverkehrs innerhalb und zwischen den verschiedenen Netzen, Verkehrsmanagement, Verkehrsmonitoringsysteme, etc.
2. **Verkehrssicherheit erhöhen und Datenschutz sicherstellen:** Zulassungskriterien von Fahrzeugen und Lenkern, Signalisation und Erkennung, Regulierung des Datenaustauschs (V2X, V2V), Umgang mit Cyber-Security, etc.
3. **Neue Angebotsformen fördern und intermodal abstimmen:** Konzessionierung und Abgeltungssysteme neuer kollektiver Angebotsformen, Anreizsysteme für MaaS, intermodale Abstimmung von Informationssystemen, Regulierung von Pilotversuchen, etc.
4. **Finanzierung und Unterhalt der Infrastrukturen sicherstellen:** Anpassungsbedarf heutiger Finanzierungssysteme bei zunehmender Diffusion von AF, Systemwechsel auf Mobility Pricing und dessen Ausgestaltungsmöglichkeiten, etc.

Im Folgenden werden die (wichtigsten) Handlungsfelder in diesen vier Hauptstossrichtungen erläutert und deren zeitliche Dringlichkeit und Verantwortlichkeiten diskutiert. Über alle Regulierungsbereiche hinweg gelten die folgenden **Grundsätze** (siehe auch Prämissen zum Zielszenario in Kapitel 5.2.1):

- Die staatliche Regulierung soll vor allem lenkend und fördernd wirken und keine Gebote und Verbote auf Vorrat vorsehen.
- Regulativer Handlungsbedarf heisst nicht nur Gesetze und Verordnungen zu erlassen, sondern auch Anreizsysteme oder Informationsmassnahmen umzusetzen
- Das föderale System der Schweiz wird nicht umgekrempelt, dessen Bestand wird als integrale Stärke in der stufengerechten Regulierung betrachtet. Gleichwohl kann der Bund in Zukunft noch mehr Akzente setzen und Impulsgeber sein.
- Die Rollenteilung zwischen öffentlicher Hand und Privaten gilt es teilweise zu überdenken. Im Gegensatz zu den Verkehrsangeboten dürften die Verkehrsinfrastrukturen aber auf absehbare Zeit in der Verantwortung der öffentlichen Hand bleiben. Hier soll der Handlungsspielraum für regulative Einflussnahmen weiterhin konsequent genutzt werden.
- Chancen der Automatisierung sind in allen Raumtypen zu fördern, insbesondere bieten sich auch im ländlichen Raum Chancen zur effizienteren Abwicklung kollektiver Angebotsformen.
- Die erhöhten Ansprüche an Daten, Datenschutz und Vernetzung sind ein Kernelement neuer Regulierungen im Zuge der Automatisierung.
- Der Umgang mit Mischverkehrssystemen ist eine langfristige Herausforderung für die meisten Bereiche der Regulierung. Schnittstellen müssen funktionieren, Zugänge und das Nebeneinander in allen Räumen müssen gewährleistet sein.
- Hinsichtlich neuer kollektiver Angebotsformen ist die zunehmende Verschmelzung des klassischen ÖV und MIV neu zu organisieren. Darunter fällt insbesondere auch die Regulierung von kleineren Fahrzeuggrössen im kollektiven Verkehr.
- Die dynamische Entwicklung über die Zeit stellt eine Herausforderung für alle Regulierungen dar. Die Ausgestaltung von Massnahmen kann stark von Entwicklungen in benachbarten Sachgebieten abhängen. Diese Dynamik muss berücksichtigt werden.
- Es ist schliesslich darauf zu drängen, dass mindestens eine behördliche Instanz den fachlichen und politischen Überblick über die Entwicklung der Automatisierung / Digitalisierung in der Mobilität behält, um entsprechende Impulse in die Politik zu geben. Dabei ist ein gesamthaftes Verständnis des Mobilitätssystems Voraussetzung.

6.2 Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems sicherstellen

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass AF sich auf europäischen Strassen in der mittleren Frist durchsetzen werden. Um das volle Potential automatisierter Fahrzeuge zu erschliessen, müssen Anpassungen der bestehenden gesetzlichen Regelungen, der Verkehrsinfrastruktur und der Betriebskonzepte zeitlich harmonisiert mit der Verfügbarkeit von

automatisierten und vernetzten Fahrzeugen erfolgen. Automatisierte Fahrzeuge unterschiedlicher Automatisierungsstufen werden bereits heute am Markt angeboten, andererseits ist insbesondere ein schweizweit flächendeckendes Upgrade der Verkehrsinfrastruktur für ein vernetztes, automatisiertes Fahren sowie für neue, intermodale Angebotsformen nur sehr langfristig zu erreichen. Im Betrachtungszeitraum sind deshalb zwei unterschiedliche Sichtweisen relevant:

- Handlungsbedarf für den Einsatz von AF auf der bestehenden Verkehrsinfrastruktur
- Handlungsbedarf bezüglich Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur zur Unterstützung AF

Für beide Sichtweisen besteht Handlungsbedarf auf nationaler und kantonaler Ebene, aber auch hinsichtlich der Berücksichtigung spezifischer Anforderungen (beim Einsatz von AF in der Schweiz) bei der Festlegung internationaler Richtlinien, Verordnungen und Normen.

Die Handlungsfelder beziehen sich dabei jeweils auf folgende Zielsetzungen für das Verkehrssystem:

- Kompatibilität zwischen AF und der Verkehrsinfrastruktur sicherstellen
- Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems erhalten oder verbessern
- Resilienz bei internen und externen Störeinflüssen gewährleisten
- Umweltverträglichkeit verbessern
- Zeitgerechte Verfügbarkeit erreichen

Die damit verbundenen Herausforderungen und Massnahmen müssen entweder auf Seiten der Infrastruktur, bei den Fahrzeugen selbst, dem Betreiber oder in Kombination gelöst werden. Da dabei im Zusammenspiel zwischen privaten und öffentlichen Stakeholdern mehrere Lösungsansätze mit unterschiedlicher Verteilung von Lasten- bzw. Risiko und potentiellm Nutzen möglich sind, entsteht ein Spannungsfeld, das weise politische Entscheidungen erfordert. Erschwerend wirkt sich aus, dass die relevanten Marktteilnehmer in der Regel global tätig sind, das Marktpotential in der Schweiz vergleichsweise klein, das Terrain schwierig und nur begrenztes Erweiterungspotential vorhanden ist. Demgegenüber steht eine überdurchschnittlich hohe Akzeptanz des Service Public und potentiell hohe finanzielle Ressourcen, die, sofern gesellschaftlich gewünscht, aktiviert werden könnten.

6.2.1 Handlungsbedarf für den Einsatz von AF auf der bestehenden Verkehrsinfrastruktur

Der Betrieb von AF auf der bestehenden Verkehrsinfrastruktur bedeutet automatisch auch Mischverkehr von AF mit allen anderen Arten motorisierter Verkehrsmittel und nicht-motorisierter Formen der Fortbewegung. Grundlage für den Einsatz AF ist die Schaffung der dafür notwendigen gesellschaftlichen Akzeptanz, die nachhaltig nur erreicht werden kann, wenn die Verkehrssicherheit und die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems durch den Mischverkehr nicht verschlechtert werden, in der gesellschaftlichen Breite keine individuellen Beeinträchtigungen fühlbar werden sowie ein klarer Nutzen für die Gemeinschaft erklärbar und erlebbar wird.

Auf technischer Ebene erfordert der Einsatz von AF auf der bestehenden Verkehrsinfrastruktur ein besonders hohes Mass an Autonomie, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Voraussetzungen für ein automatisiertes, vernetztes Fahren verlässlich gegeben sind.

Daraus ergeben sich folgende Handlungsfelder:

- **Einführungspfade für AF der unterschiedlichen Automatisierungsstufen auf der Schweizer Verkehrs-Infrastruktur festlegen**
Zur Einführung der AF auf der Schweizer Infrastruktur bedarf es einer Strategie und einem daraus abgeleiteten Einführungspfad. Grundlage dafür bildet a) eine regelmässig

aktualisierte Einschätzung der technischen Leistungsfähigkeit der AF für unterschiedliche Einsatzgebiete und Umweltbedingungen, b) die Verfügbarkeit von AF in der Schweiz und c) eine transparente Nutzenbetrachtung der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von AF.

Es ist nicht eindeutig klar, ob der Einsatz von AF zunächst auf HLS erfolgt, oder z.B. bei niedrigen Geschwindigkeiten im Zubringer oder Lieferverkehr. Dies hängt damit zusammen, dass das Einführungsszenario nicht nur von der technischen Komplexität und den Vorstellungen der Politik abhängt, sondern auch durch die Strategie der Anbieter und ihre faktischen Marktzugangsmöglichkeiten beeinflusst wird. Bund und Kantone nehmen durch Gesetze und Genehmigungen Einfluss auf die Marktzugangsmöglichkeiten der Unternehmen. Für den Bund und die Kantone erscheint es deshalb sinnvoll, prioritär die Gesetzeslage so anzupassen, dass solche Einsatzformen ermöglicht werden, von denen der grösste gesellschaftliche Nutzen in der Schweiz erwartet wird und diese auch finanziell zu fördern. Da die öffentliche Hand ihre Interessen zum automatisierten Fahren nicht ohne die Mithilfe privater Akteure umsetzen kann, ist eine gewisse Flexibilität der Massnahmen erforderlich.

- **Pilotanwendungen fördern und die Überführung in den regulären Betrieb ermöglichen**

Die tatsächlichen Einsatzmöglichkeiten, Auswirkungen und Akzeptanz von AF lassen sich nur bedingt durch theoretische Forschung ermitteln, da die Einflussfaktoren zu vielfältig sind. Die Forschung muss deshalb auch realitätsnahe Praxisversuche beinhalten. Für Anbieter von AF und damit zusammenhängender Angebots- und Nutzungsformen hängt die Bereitschaft zur Durchführung von Pilotversuchen in der Schweiz wesentlich von dem damit verbundenen Aufwand sowie der Attraktivität und Planbarkeit eines späteren regulären, kommerziellen Betriebs ab. Bund und Kantone sollten deshalb Pilotanwendungen ergebnisoffen fördern und Investitionssicherheit durch spätere kommerzielle Nutzungsperspektiven schaffen. Im Hinblick auf einen flächendeckenden Einsatz der AF sollten dabei auch möglichst frühzeitig systematische und landesweite Pilotanwendungen in Angriff genommen werden.

- **Festlegung der spezifischen Leistungsmerkmale, die AF beim Betrieb in der Schweiz beherrschen müssen**

Obwohl bereits weitgehend harmonisiert, unterscheiden sich doch formale Verkehrsregeln und Verkehrskennzeichen aber auch die informellen Verhaltensweisen im Verkehr, die für einen sicheren Betrieb des Verkehrsmittels in den verschiedenen europäischen Staaten beachtet werden müssen. Bei AF geht die Verantwortung dafür vom Fahrer auf den Fahrroboter über. Fahrroboter, die auf Basis von Algorithmen der künstlichen Intelligenz (KI) aufgebaut sind, benötigen zum Verständnis, insbesondere der informellen Regeln, eine sehr grosse Menge praxisbezogener und indizierter Lerndaten. Die Verfügbarkeit solcher Lerndaten mit den schweizerischen Besonderheiten und ihre Verwendung bei Programmierung (Anlernprozess) und Validierung ist essenziell für den sicheren Betrieb von AF im Mischverkehr auf dem schweizerischen Verkehrsnetz. Daraus ergeben sich eine Vielzahl von Fragestellungen, die einer Klärung und gesetzlicher Grundlage bedürfen, insbesondere:

Festzulegen ist zunächst die grundsätzliche Verantwortung für den sicheren Betrieb von AF im schweizerischen Verkehrsnetz und für den Nachweis der Eignung (Test und Zulassung) des AF schweizweit oder für ein definiertes Einsatzgebiet oder / und definierte Umweltbedingungen. Der klassische Zulassungsprozess durch die Behörden ist für AF nur noch für Teilfunktionen möglich. Insbesondere die Validierung der automatisierten Fahrfunktionen bedarf der Zusammenarbeit mit den Herstellern. Die Regeln dafür müssen gesetzlich verankert werden.

Es ist nicht gewährleistet, dass Fahrzeuge mit einer europäischen Bauartgenehmigung im automatisierten Modus sicher im schweizerischen Verkehrsnetz betrieben werden können. Es ist verbindlich zu regeln, unter welchen Bedingungen ausländisch immatrikulierte AF in der Schweiz betrieben werden können.

Der Produktbeobachtung von AF (Funktionssicherheit im regulären Betrieb) kommt eine besondere Bedeutung zu, da ein Nachweis der Betriebssicherheit im Vorfeld nur bedingt möglich ist. Dazu sind geeignete Regelungen und organisatorische Strukturen zu schaffen, die auch geeignete Massnahmen bei Auffälligkeiten ergreifen können.

- **Mitarbeit in internationalen Gremien bei der Festlegung allgemeingültiger Vorgaben**

Die Entwicklung und Produktion von AF erfolgt i.d.R. für den gesamten europäischen Markt und auch die Nutzung der Fahrzeuge erfolgt häufig länderübergreifend. Dies wird durch eine weitgehende Harmonisierung der technischen Ausgestaltung und Zertifizierung der Fahrzeuge auf Basis verbindlicher Normen und Standards erreicht, die z.B. durch die UNECE, ISO oder CEN ausgearbeitet werden. Dies betrifft eine Vielzahl von Fragestellungen, die auch in der Schweiz diskutiert werden, z.B.

- Verhalten der AF, wenn die automatisierte Fahrzeugführung nicht mehr gewährleistet ist, insbesondere die Überführung in einen definierten, sicheren Zustand und die Übernahme durch einen qualifizierten Fahrer
- Technische Standards, z.B. für die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen (V2V) oder von Fahrzeugen mit der Verkehrsinfrastruktur (V2I) aber auch die Kommunikation mit nicht-automatisierten, und auch mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern
- Sicherheitsarchitektur der AF
- Daten, Übertragungskanäle und -protokolle für ein optimiertes Verkehrsmanagement oder Integration in ein Preissystem (z.B. Mobility Pricing)
- Verhalten der AF in Dilemmasituationen unter Berücksichtigung ethischer Vorstellungen

Es erscheint nicht zielführend hier eigene Forschungsaktivitäten in der Schweiz mit nationalem Fokus zu starten oder abweichende gesetzliche Regelungen zu schaffen. Vielmehr ist die kompetente und gezielte Mitarbeit in den relevanten Gremien und Arbeitsgruppen zu organisieren und für eine transparente Kommunikation über den Diskussionsstand und die Ergebnisse für Schweizer Interessengruppen erforderlich.

6.2.2 Handlungsbedarf bezüglich Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur zur Unterstützung AF

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass das volle Potential automatisierter Fahrzeuge nur dann erschlossen werden kann, wenn Anpassungen der bestehenden gesetzlichen Regelungen, der Verkehrsinfrastruktur und der Betriebskonzepte zeitlich harmonisiert mit der Verfügbarkeit und Einführung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen erfolgt.

Daraus ergeben sich folgende Handlungsfelder:

- **Digitalisiertes Abbild der Verkehrsinfrastruktur und Just-In-Time Updates**

Automatisiertes Fahren wird durch ein gespeichertes digitales Abbild der Strassen und strassenseitigen Signalisation, insbesondere der am jeweiligen Ort aktuell geltenden Verkehrsregeln unterstützt. Dies wird durch die fahrzeugseitigen Sensoren verifiziert und insbesondere um alle relevanten Faktoren des aktuellen Verkehrsgeschehens ergänzt. Es ist ein Konzept zu entwickeln und organisatorische Strukturen zu schaffen, durch die Änderungen (z.B. durch Baustellen, Umleitungen, Veranstaltungen, Unfälle) an AF und deren Betriebszentralen in digitaler Form übermittelt werden.

- **Update der Verkehrsinfrastruktur**

Es gibt eine Vielzahl an Visionen, wie AF zur Optimierung des Verkehrssystems beitragen können. Diese gehen häufig von einer Realisierung «auf der grünen Wiese» oder einem unbegrenzten Budget aus, ohne Berücksichtigung der real existierenden Rahmenbedingungen und Verkehrsinfrastrukturen. Es scheint deshalb sinnvoll, die Machbarkeit einiger davon näher zu untersuchen:

- Voraussetzung für die sichere Erkennung der Strassenführung durch die Sensoren der AF ist eine eindeutige Markierung und Signalisation. Dies gilt auch für temporäre Änderungen, wie sie z.B. bei Baustellen auftreten. Abweichungen oder Fehler können die Verkehrssicherheit und / oder den Verkehrsfluss negativ beeinflussen. Es ist ein Konzept erforderlich, wie Abweichungen erkannt werden und organisatorische Strukturen, die diese zeitnah bereinigen.
 - Private AF für den Personentransport müssen nicht unbedingt in der Nähe der Ein-/Ausstiegsstelle parkieren, sofern Parkmöglichkeiten an geeigneteren Orten zur Verfügung stehen. Es ist zu untersuchen, wo und wie die Verlegung von zentralen Parkflächen an abgelegene Plätze möglich und auch unter Berücksichtigung von Reboundeffekten sinnvoll ist.
 - Insbesondere im Rahmen von Pooling oder Sharing genutzte oder als ÖV-Ersatz von einer Leitzentrale gesteuerte AF erfordern Zonen, in denen ein Ein-/Aussteigen ohne Sicherheitsrisiken und Verkehrsbehinderung möglich ist. Da es sich dabei i.d.R. um kleinere Gefässe aber mit höherer Frequenz genutzte AF handelt, ist zu erwarten, dass bestehende Haltestellen des ÖV nur bedingt geeignet sind. Es ist zu untersuchen, wo in der Schweiz Ein-/Aussteigestellen sinnvoll sind und wie diese gestaltet werden müssen.
 - Der Einsatz AF in der Güterlogistik erfordert teilweise auch automatisierte Systeme für das Be- und Entladen. Es ist zu untersuchen, wie solche Stellen ausgestattet werden können und wo der Einsatz in der Schweiz sinnvoll und möglich ist.
 - Die Annahme beim Einsatz von AF ist, dass die intermodale Nutzung von Verkehrsmitteln unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Stärken zunimmt. Dafür sind Schnittstellen / Übergabestellen zwischen AF und anderen Verkehrsmitteln erforderlich. Es ist zu untersuchen, wie diese ausgestaltet werden können und wo diese in der Schweiz möglich sind.
 - In Form von Sharing oder Pooling genutzte AF erfordern spezialisierte Infrastrukturen für Service, Wartung und Betriebsstoffe/Strom. Es ist zu untersuchen, wo diese in der Schweiz geschaffen werden können und inwieweit bestehende Betriebshöfe des ÖV dafür geeignet sind.
 - Der Betrieb von AF ist technisch weniger anspruchsvoll und damit sicherer, wenn AF von anderen Verkehrsteilnehmern separiert werden. Es ist zu untersuchen, auf welchen bestehenden Strassenabschnitten in der Schweiz eine solche Separierung möglich ist, wo separate Spuren etabliert werden können und welche Auswirkungen damit verbunden sind.
- **Update der strassenseitigen, elektronischen Infrastruktur**
Ein funktionsfähiges und effizientes Verkehrssystem für den Mischverkehr mit AF erfordert neben Anpassungen der mechanischen Verkehrsinfrastruktur auch den Ausbau der elektronischen Infrastruktur. Dieser bedingt einen signifikanten Wechsel in der Ausrichtung der beteiligten Behörden, da die Einsatzdauer elektronischer Systeme, bevor sie ersetzt werden müssen, nur einen Bruchteil der klassischen physischen Strasseninfrastruktur beträgt.
 - Ein erheblicher Sicherheitsgewinn soll durch die elektronische Kommunikation (Vernetzung) von Fahrzeugen mit Systemen der strassenseitigen Verkehrsinfrastruktur (V2I), insbesondere mit Lichtsignalanlagen (LSA) und Verkehrszeichen erreicht werden, z.B. dadurch, dass AF automatisch und vorausschauend die Verkehrsregeln beachten. Das dafür notwendige Upgrade einer grossen Anzahl von LSA und Verkehrszeichen stellt enorme logistische und finanzielle Herausforderungen, so dass eine Priorisierung unter Kosten-/Nutzenaspekten erforderlich ist. Weiterhin sind bei den Anpassungen insbesondere auch die Bedürfnisse des Langsamverkehrs zu berücksichtigen, die sich durch die Veränderungen im Verkehrssystem wiederum auch verändern dürften. Zusätzlich ergeben sich erhebliche Herausforderungen zur Sicherung gegen Cyberangriffe und zur Aufrechterhaltung eines adäquaten Schutzes über die gesamte Lebens-/Einsatzdauer der Systeme unter Wahrung der Interoperabilität. Es ist ein Leitfaden zu erarbeiten, wie Kantone und Kommunen mit den Herausforderungen von V2I umgehen können.

- Die Einführung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge eröffnet neue Möglichkeiten zur effizienten Verkehrsbeeinflussung und -steuerung, insbesondere durch direkte Vorgaben für die Routenwahl und Geschwindigkeit einzelner AF. Dies könnte sowohl von privaten Betreibern als auch von staatlichen Behörden genutzt werden und damit eine Vielzahl rechtlicher Fragen aufwerfen. Wo, wie und von wem diese Möglichkeiten in der Schweiz genutzt werden können sowie ihre Abhängigkeiten mit bestehenden Verkehrssteuerungs- und Leitsystemen soll analysiert werden, um das Potential zu quantifizieren und organisatorische Rahmenbedingungen zu klären.
- Die Vernetzung AF stellt besondere Anforderungen an die Infrastruktur für die elektronische drahtlose Datenübertragung. Ein harmonisierter Auf- bzw. Ausbau der Kommunikationsinfrastruktur ist planerisch zu unterstützen.
- **Resilienz gegen Störungen (z.B. Wetter, Technikausfall, Attacken) gewährleisten**
Die permanente Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems ist elementar für eine hochentwickelte, arbeitsteilige Volkswirtschaft wie die Schweiz. Störungen des bisherigen Verkehrssystems sind fast immer räumlich oder zeitlich begrenzt und bieten Nutzern Bypass-Möglichkeiten, z.B. durch den Wechsel des Verkehrsmittels. Die zunehmende Vernetzung, Automatisierung und Digitalisierung der Verkehrsmittel, der Steuerungs- und Leitsysteme grosser Fahrzeugflotten und intermodale Nutzungsszenarien können Angriffs- und Störungsszenarien ermöglichen, die geeignet sind, um grosse Teile des Verkehrssystems für lange Zeit lahmzulegen. Gleichzeitig wächst die Bereitschaft für manipulative Eingriffe. Bei der Konzeption des zukünftigen Verkehrssystems ist die Resilienz gegen Störungen besonders zu beachten. Wie diese erreicht werden kann, ohne die positiven Nutzungsszenarien zu verhindern, soll untersucht werden.

6.2.3 Sonstiger Handlungsbedarf bzgl. der Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems

- **Anpassungen der Verkehrsregeln**
Durch eine Anpassung der bestehenden Verkehrsregeln an die besonderen Eigenschaften AF kann deren potentieller Nutzen besser erschlossen werden. Welche Regeln davon betroffen sind, wie diese überarbeitet werden könnten und welcher Nutzen dadurch erreicht werden kann, soll untersucht werden. Ansatzpunkte ergeben sich z.B. durch:
 - Homogenisierung der Geschwindigkeiten
 - Verringerung der erforderlichen Abstände
 - Änderung der Nachtfahrverbote für Nutzfahrzeuge
 - Änderungen der Sozialvorschriften, insbesondere bei den Lenk-/Ruhe-/Arbeitszeiten bei Fahrten im automatisierten Modus
 - Anpassungen der Ausbildungsvorschriften für «Fahrer»
- **Überwachung und Kontrolle**
Es wird angenommen, dass die Einhaltung von Verkehrsregeln bei AF immer gewährleistet ist. Ob diese, auch im Sinne eines ungestörten Verkehrsflusses so realisiert wird, ist offen. Darüber hinaus ist nicht auszuschliessen, dass Systeme manipuliert werden oder aus anderen Gründen fehlerhaft arbeiten. Eine gewisse Überwachung des Verkehrsgeschehens ist, auch aufgrund des für eine langen Zeitraum zu erwartenden Mischverkehrs längerfristig erforderlich. Die Einführung von AF ermöglicht dabei durch Nutzung fahrzeugseitiger Systeme und Sensoren neue, effiziente Ansätze. Inwieweit diese technisch nutzbar sind, wie dies in der Schweiz organisatorisch zu regeln wäre und welche rechtlichen Voraussetzungen gegeben sein müssen, ist zu untersuchen.
- **Erfassung von Nutzungsentgelten**
Die Einführung von AF, elektrischer Antriebe und neuer Nutzungsformen stellt Teile der klassischen Finanzierungsansätze der Strasseninfrastruktur in Frage. AF sind technologisch bereits so ausgestattet, dass die Erhebung nutzungsabhängiger Gebühren

ohne signifikante Kosten möglich erscheint. Die technischen, organisatorischen und rechtlichen Möglichkeiten dazu sollen untersucht werden und als Grundlage für die politisch / gesellschaftliche Diskussion dienen. Schnittstellen mit den bestehenden Finanzierungs- und Lenkungsinstrumenten sind dabei zu berücksichtigen.

6.3 Verkehrssicherheit erhöhen und Datenschutz sicherstellen

Eine hinreichende Sicherheit beim Betrieb der AF ist Grundvoraussetzung für deren Akzeptanz in der Gesellschaft. Dabei ist nicht eindeutig klar, durch welche Kennzahlen oder gefühlte Sicherheitsmerkmale eine hinreichende Sicherheit für die Schweizer Gesellschaft definiert ist. Grundsätzlich besteht in der Gesellschaft die Bereitschaft für die Inkaufnahme begrenzter Sicherheitsrisiken der Mobilität, insbesondere solange das Individuum davon ausgeht, persönlich nie davon betroffen zu sein. Vor allem beim MIV gehen die Lenkerinnen davon aus, die Situation im Griff zu haben, obwohl dies objektiv betrachtet häufiger nicht der Fall ist. Wird der Fahrer zum Passagier in einem AF, kann sich das empfundene Sicherheitsniveau auch bei objektiv gleichen Kennzahlen ändern.

Möglicherweise sind für die Akzeptanz AF ähnliche Ziel-Kennzahlen bezüglich Toter / Verletzter pro Personenkilometer oder Tonnenkilometer anzusetzen, wie sie für Flugzeug, Bus oder Bahn üblich sind. Diese Zielgrösse hat entscheidenden Einfluss auf eine zielführende Konzeption und Umsetzung aller mit dem Betrieb von AF zusammenhängenden technischen Lösungen, Betriebskonzepte und der gesamten Governance.

Da ein 100% sicheres Verkehrssystem auch bei Vollautomatisierung und höchstem Mitteleinsatz nicht zu erreichen ist, kann das Wecken der Erwartungshaltung vollständiger Unfallfreiheit von AF Enttäuschungen hervorrufen, die die Einführung von AF behindern. In der Praxis werden auch AF Unfälle verursachen oder in Unfälle verwickelt sein. Die Ursachen dazu verschieben sich vom menschlichen Versagen bei der Fahrzeugführung auf menschliche Fehler bei der Entwicklung des Fahrroboters, technisches Systemversagen oder stehen in Zusammenhang mit dem Mischbetrieb oder möglicher Cyberattacken. Unabhängig davon ist zu erwarten, dass die Unfallschwere steigt, vor allem deshalb weil passive Sicherheitssysteme bei neuen Verkehrsmitteln nicht berücksichtigt wurden oder deren Wirksamkeit durch das Verhalten der Insassen im automatisierten Betrieb eingeschränkt ist (z.B. zündet der Airbag aber der Fahrer sitzt nicht auf dem Sitz).

Daraus ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- **Die Festlegung von Prozessen und Verfahren sowie deren unabhängige Überprüfung die geeignet sind Fehler bei der Konzeption, Entwicklung, Programmierung (Anlernen der KI), Fertigung und Wartung von AF zu vermeiden, gemachte Fehler zu erkennen und Abstellmassnahmen umzusetzen.**

Ein wesentlicher Teil davon ist auf europäischer Ebene zu regeln, und betrifft die Fahrzeughersteller und Zulassungsbehörden. Allerdings sind Teile der Produktbeobachtung in der Schweiz erforderlich.

- **Genehmigung des Betriebs von AF nur bei erfolgreicher Prüfung des Gesamtsystems einschliesslich peripherer Komponenten**

Die bisherige Praxis der Prüfung und Zulassung einzelner Komponenten ist unter Sicherheitsaspekten bei komplexen, vernetzten Systemen, die in einem Verbund peripherer Systeme betrieben werden, nicht mehr zielführend. Die Sicherheit wird wesentlich durch das schwächste Glied des Gesamtsystems und durch die Interaktion der Systemkomponenten bestimmt. Da wesentliche Teile des Gesamtsystems in der Schweiz bereitgestellt werden (physische und elektronische Infrastruktur, Informationen mit Einfluss auf die Steuerung von AF, kryptographische Elemente, Kommunikationsnetze) ist das Zusammenspiel damit zu berücksichtigen und zu organisieren.

- **Kritische Beleuchtung der Mensch-Maschine-Interaktion, insbesondere bei AF der Automatisierungsstufen 2 und 3**

Obwohl rechtlich dazu verpflichtet, sind Fahrer von automatisierten Fahrzeugen der Stufen 2 und 3 teilweise nicht dazu in der Lage die Fahraufgabe zu übernehmen, wenn der Fahrroboter innert Millisekunden dazu nicht mehr in der Lage ist. Es ist zu prüfen, ob solche Fahrzeuge in der Schweiz überhaupt im automatisierten Modus betrieben werden dürfen.

- **Festlegung von Regeln, die die Wirksamkeit passiver Sicherheitssysteme auch bei fahrfremden Tätigkeiten gewährleisten**

Verhaltensweisen, die die Wirksamkeit passiver Sicherheitssysteme verhindern, sind zu verbieten.

- **Weitgehende Trennung AF von anderen Verkehrsteilnehmern**

Wo immer möglich, sind AF auf einer separaten Verkehrsinfrastruktur einzusetzen. Dies gilt insbesondere beim Ein-/Aussteigen bzw. Laden/Entladen, der Fahrt mit höheren Geschwindigkeiten oder widrigen Wetterbedingungen. Besonders im urbanen Raum, wo eine konsequente Trennung nicht realisierbar ist, muss bei der Strassenraumgestaltung dem Langsamverkehr Rechnung getragen werden.

- **Resilienz gegen externe Störeinflüsse verbessern**

In weiten Bereich betrifft dies Massnahmen, die von den Herstellern zu verantworten sind. In der Schweiz ist darauf zu achten, dass möglichst keine gesetzlichen Notwendigkeiten zur Bereitstellung extern zugänglicher Schnittstellen zu AF bestehen.

- **Ausbau der elektronischen, strassenseitigen Infrastruktur**

Das Upgrade von LSA und Verkehrsschildern für die V2I Kommunikation sowie der Ausbau der mobilen Datenübertragung (z.B. 5G-Mobilfunknetz) und die Reservierung von Frequenzen für die V2V Kommunikation können einen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bieten.

- **Die zulässigen Betriebsbedingungen (Operational Domain) für AF sind individuell festzulegen, solange keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen**

Da Hersteller aufgrund der Besonderheiten KI-gestützter Systeme nur begrenzt Aussagen über die Einsatzfähigkeit eines bestimmten Typs AF unter den spezifischen Bedingungen eines bestimmten Einsatzgebietes in der Schweiz treffen können ohne dies über längere Zeiträume getestet zu haben, sind Genehmigungen anfänglich nur temporär auszusprechen.

- **Kommunikation zwischen AF und anderen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern sichern**

Im Mischverkehr sollten AF für andere Verkehrsteilnehmer klar erkennbar sein, damit das Verhalten angepasst werden kann. Weiterhin ist es notwendig, dass auch AF Feedback an nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer insbesondere auch an den Langsamverkehr geben kann. Das Feedback muss erkennen lassen, dass die Verkehrsteilnehmer und ihr Verhalten korrekt erkannt wurden. Als zusätzliche Information kann das Handeln des Fahrzeugs deutlich signalisiert werden. Wichtig ist, dass bei dieser Kommunikation ein einfacher, klar verständlicher Austausch entsteht, den alle Verkehrsteilnehmer eindeutig einordnen können. Die Kommunikationsrichtlinien können nicht durch Schweizer Behörden festgelegt werden, sondern müssen im europäischen Dialog zwischen Behörden und Industrie ausgehandelt werden.

- **Umgang mit Verkehrs- und Fahrzeugdaten regeln**

Im Verkehrsmanagement und Betrieb von AF werden umfassende Datenmengen erzeugt, die ausgetauscht, verarbeitet und teilweise gespeichert werden müssen. Die Sammlung dieser Daten muss klar geregelt werden, Zugriffsrechte müssen zwischen den Akteuren geklärt sein und der Austausch von Daten muss reguliert sein. Zudem

sollten Mindestanforderungen und Standards für Daten definiert sein bezüglich Zuverlässigkeit, Fehlertoleranz, Verschlüsselung und Datenqualität. Die Speicherung von Daten sollte national oder in Abstimmung mit ausländischen Partnern geklärt sein. In allen IT Systemen sollten Redundanzen sichergestellt sein.

6.4 Neue Angebotsformen fördern und intermodal abstimmen

Dieses Themenfeld tangiert stark die neu zu regelnden Abgrenzungen zwischen bisherigen Regulierungen im ÖV und neuen kollektiv genutzten Angebotsformen durch die Automatisierung. Entsprechende Arbeiten laufen bereits unter Federführung des BAV (laufende Evaluation der Konzessionierung und anderer Themen des Personenbeförderungsgesetzes PBG). Weil das Themenfeld für den Strassenverkehr sehr bedeutend ist, soll es dieser Stelle gleichwohl aufgeführt werden. Die mit der Automatisierung absehbaren neuen kollektiven Angebotsformen gilt es auf deren Zulassungskriterien, Abgeltungsberechtigungen, etc. zu prüfen. Ein weiterer Schwerpunkt sind die Regulierungen im Zusammenhang mit multimodalen Mobilitäts- und Vertriebsplattformen (MaaS). Im Einzelnen:

- **Regulierung privater gewerbsmässiger on Demand Verkehr (RoboTaxis):**
Spezieller Handlungsbedarf besteht bei den neuen gewerbsmässigen Angebotsformen mit kleineren Gefässgrössen (< 9 Personen, RoboTaxis o.ä.). Dieser Angebotsbereich ist heute wenig reguliert, d.h. es gilt das Binnenmarktgesetz (BMG) und die Zulassungen sind kantonale oder kommunale geregelt. Erst bei Fahrzeugen > 9 Personen gilt zudem die Zulassung als Strassentransportunternehmen (STUG). Mit den neuen Angeboten braucht es eine grundsätzliche Klärung, was öffentlich unterstützt (abgeltungsbe-rechtigt oder andere Rahmenbedingungen) und was weiterhin rein privat sein soll. Auch die Zulassungsbedingungen, Sicherheitsauflagen, etc. bei RoboTaxi oder ähnlichen Fahrzeugen gilt es zu prüfen.
- **Regulierung bisheriger öffentlicher on-Demand-Verkehr:**
Die heutigen on-Demand-Verkehr (Rufbusse, etc.) gilt es bei Diffusion neuer Anbieter im Zuge der Automatisierung ebenfalls zu überprüfen. Heute sind diese Verkehre dem Personenbeförderungsregal (PBG) unterstellt und sind i.d.R. abgeltungsberechtigt. Abgeltungsberechtigung, Konzessionierung, Fahrplan- und Betriebspflichten, etc. gilt es zu überprüfen. In Zukunft wäre z.B. denkbar, vermehrt Gebiets- anstatt Linienkonzessionen zu erteilen. Auch müsste bei den einsetzbaren Transportgefässen mehr Flexibilität ermöglicht werden.
- **Regulierung Mobilitäts- und Vertriebsplattformen (MaaS):**
Heute sind die Vertriebssysteme kollektiver Verkehrsangebote vor allem in den Händen der (konzessionierten) Transportunternehmen. Die Regulierung erfolgt über das Personenbeförderungsgesetz (PBG) oder die Fahrplanverordnung (FPV). Mit Blick auf multimodale neue MaaS-Systemanbieter gilt es, die Regulierungen grundsätzlich zu überdenken. Wie kann der Informationszugang Dritter zu Informationen öffentlich unterstützter Anbieter sichergestellt werden, ohne letztere wiederum zu benachteiligen? Wie kann umgekehrt sichergestellt werden, dass auch die Informationen privater Systemanbieter zugänglich werden? Braucht es technische Mindestanforderungen an die Datenschnittstellen? etc.

Bei den privaten AF-Angebotsformen sehen wir weniger Handlungsbedarf, abgesehen von den bereits im vorangegangenen Kapitel ausgeführten neuen Anforderungen bezüglich Fahrzeug- und Fahrzeuglenkerzulassungen. Auch hinsichtlich Automatisierung des konventionellen ÖV sehen wir abgesehen von neuen technischen Anforderungen wenig regulatorischen Handlungsbedarf.

6.5 Finanzierung und Unterhalt der Infrastrukturen sicherstellen

Die Finanzierung des zukünftigen Strassenverkehrssystems ist kein Schwerpunktthema des vorliegenden Forschungspakets. Zudem laufen die entsprechenden Diskussionen grundsätzlich unabhängig von der Automatisierung. Wesentlicher Treiber dazu sind die zukünftig abnehmenden Erträge infolge geringerem Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge sowie der Elektrifizierung des Verkehrs. Mit der Automatisierung können gewisse Prozesse aber unterstützt oder beschleunigt werden. Deshalb wird der Themenbereich auch an dieser Stelle erwähnt. So werden beispielsweise durch die höhere Vernetzung, Datenaustausch und Monitoringsysteme auch die Möglichkeiten des **Mobility Pricing** erweitert. Beim Handlungsbedarf durch AF unterscheiden wir zwischen Überprüfung des Finanzierungssystems ohne grundsätzlichen Systemwechsel und bei einem Systemwechsel in Richtung Mobility Pricing. Je nach Ausgestaltung hat letzteres auch Schnittstellen zum Verkehrsmanagement.

Der ausgeführte Handlungsbedarf fokussiert auf die Bundesebene. Die Finanzierungsinstrumente von Kanton (stärker auf Motorfahrzeugsteuer basierend) und Gemeinden (i.d.R. keine zweckgebundenen Erträge) sind unterschiedlich und wären vertiefter zu überprüfen.

- **Überprüfung bestehender Finanzierungssysteme**

Grundsätzlich kann das heutige – auf Bundesebene stark auf Treibstoffabgaben basierte – Finanzierungssystem der Verkehrsinfrastrukturen auch mit AF beibehalten werden. Wichtige Grundlagen sind der Nationalstrassen- und Agglomerationsfonds (NAFG), das Mineralölsteuergesetz (MinöStG), das Nationalstrassenabgabengesetz (NSAG), oder der Bahninfrastrukturfonds (BIFG, Einlage Spezialfinanzierung Strassenverkehr). Mit zunehmender Elektrifizierung sinken jedoch die Einnahmen aus der Mineralölsteuer. AF-spezifischer Anpassungsbedarf besteht hinsichtlich Deckung neuer Kostenkomponenten durch Automatisierung (v.a. infrastrukturseitige ICT-Ausstattung oder neue Monitoring- und Steuerungssysteme bei den Betriebskosten).

- **Systemwechsel - Mobility Pricing**

Wechsel des heutigen, stark auf Treibstoffabgaben und fixen Abgaben (Nationalstrassenabgabe, Automobilsteuer, allenfalls neu Abgabe auf Elektrofahrzeuge) basierten Finanzierungssystems hin zu fahrleistungsbezogenem Mobility Pricing. Entsprechende Arbeiten laufen auf Bundesebene (u.a. abgeschlossene Pilotstudie Kanton Zug¹²). Mobility Pricing bietet grosse Chancen, verschiedene Ziele, die mit dem Zielszenario verbunden sind, zu unterstützen. Grundsätzlich wird ein Systemwechsel auf Mobility Pricing unabhängig von der Automatisierung diskutiert. Die möglichen Differenzierungen von Pricing-Modellen nach Tageszeiten, Räumen, Besetzungsgraden/Leerfahrten sowie Fahrzeugtypen (inkl. Umweltaspekten) sind grundsätzlich mit und ohne AF zu definieren. Mit der Automatisierung wird Mobility Pricing aber unterstützt. So werden beispielsweise durch die höhere Vernetzung, Datenaustausch und Monitoringsysteme auch die Möglichkeiten des Mobility Pricing erweitert.

¹² Infrac/Ecoplan/TransOptima (2019)

7 Einordnung der Ergebnisse

Die Aufgabe des TP1 war es, die formale Klammer um die Teilprojekte 2 - 6 des Gesamtprojektes «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» zu ziehen. Dies beinhaltete eine strukturierte Einordnung des aktuellen Forschungsstands, aufzeigen wichtiger Lücken und sukzessiver Aufstellung der wichtigen Forschungsfragen. Als Arbeitsgrundlage für die weiteren Teilprojekte diente zudem die Herleitung und Definition zweier grundlegender Nutzungsszenarien. Die beiden Nutzungsszenarien unterscheiden sich durch die Variation von Angebots- und Nutzungsformen und decken die denkbare Spannweite zwischen individueller und kollektiver Mobilität ab. Diese Szenarien dienten den Teilprojekten als Rahmen für ihre sektoralen Vertiefungen. Nach Vorliegen der Ergebnisse der Teilprojekte 2 bis 6 formulierte das TP1 aus den Erkenntnissen ein übergeordnetes Zielszenario für das Jahr 2050.

Das Zielszenario zeigt die wünschbare Nutzung automatisierter Fahrzeuge für den Transport von Personen- und Gütern im Jahre 2050 auf. Die Beschreibung orientiert sich dabei an den identifizierten Wirkungen gemäss dem aufgestellten Ziel- und Kriteriensystem. Eine Eintretenswahrscheinlichkeit des Zielszenarios konnte dabei nicht bewertet werden. Es wurde aber darauf geachtet, dass sich ein in sich konsistentes Bild aus den verschiedenen Teilbereichen des Zielszenarios ergibt. Über die reinen verkehrlichen Veränderungen hinaus, wurden auch die zugehörigen Rahmenbedingungen beleuchtet, auch wenn diese nicht direkt als Ergebnis der Teilprojekte ableitbar waren.

In den ausgeführten Themenbereichen des Zielszenarios wurden Herausforderungen identifiziert, die aus heutiger Perspektive Handlungen der Politik und des Regulators erforderlich machen. Das Aufgreifen dieser Herausforderungen und deren Vertiefung in der Synthese des Handlungsbedarfs ist das Kernergebnis der Arbeiten im TP1. Der Handlungsbedarf wurde in vier Bereiche gegliedert, die unabhängig voneinander aus den Erkenntnissen der Teilprojekte hergeleitet wurden:

1. Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems sicherstellen
2. Verkehrssicherheit erhöhen und Datenschutz sicherstellen
3. Neue Angebotsformen fördern und intermodal abstimmen
4. Finanzierung und Unterhalt der Infrastrukturen sicherstellen

Wichtige Gemeinsamkeiten der Herausforderungen und Handlungsbedürfnisse lassen sich aus der Forschungsperspektive heraus wie folgt knapp zusammenfassen.

- Eine Umsetzung des AF wird durch die Forschungsergebnisse nicht in Frage gestellt. Zudem kann dem Verkehr mit individuell nutzbaren AF eine hohe Attraktivität attestiert werden. Daher sollte weniger die staatliche Förderung der AF im Vordergrund stehen, sondern die Gestaltung der Rahmenbedingungen, die eine möglichst verträgliche Einführung und Verbreitung von AF ermöglichen und negativen Folgen durch AF vorbeugen. Kern dieser Aufgabe sollte es sein, die kollektiven Nutzungen der AF so attraktiv wie möglich zu gestalten. Dazu sind die heutigen ÖV-Regulierungen anzupassen.
- Vordergründig sollte bei der Umsetzung von Massnahmen der Zustand des Mischverkehrs und die heterogenen Anforderungen der verschiedenen Verkehrsteilnehmer, u.a. auch des Langsamverkehrs, berücksichtigt werden.
- Zentrale Bedeutung kommt der Flächenverwendung und dem Umgang mit der begrenzten Infrastruktur, insbesondere in dichten Räumen, zu. Die Trennung von Infrastrukturen ist wünschenswert. Wo diese nicht baulich möglich ist, muss die Verkehrssicherheit und die Leistungsfähigkeit des Strassennetzes mit geeigneten Massnahmen sichergestellt werden. Übergeordnete Ziele sind dabei in geeigneter Weise zu priorisieren.
- Ziel des Bundes sollte die Förderung von möglichst ganzheitlichen Konzepten für Räume und die abgestimmte Umsetzung der Massnahmen auf kantonaler und städtischer Ebene sein. Die Umsetzbarkeit ist nicht durch die theoretische Forschung bewertbar, da die Entwicklungen der AF und die geeignete Gestaltung von Rahmenbedingungen komplexe Systeme mit Rückkopplungen auf verschiedensten Ebenen darstellen.

Eine wichtige Voraussetzung zur Vorbereitung der Umsetzung stellen systematische und grossräumige Pilotierungen dar.

Der Handlungsbedarf zeigt die dringlichsten Handlungsfelder und -ansätze auf, um die Gestaltung der Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Entwicklung in eine gesellschaftsverträgliche Richtung zu lenken. Die Berücksichtigung der Ansätze führt nicht zwingend zum Zustand des Zielszenarios, kann aber die Realisierung der wünschbaren Nutzungen unterstützen.

In den Empfehlungen liegt ein stärkeres Gewicht auf Handlungsansätzen die zeitnah vorzubereiten sind. Dies erzeugt einen stärkeren Handlungsdruck in der Gegenwart und vermindert eine Konkretisierung von Massnahmen für spätere Zeiträume. Dies geschah unter der Prämisse, dass die Unsicherheit der Entwicklungen des automatisierten Fahrens hoch sind und massgeblich von externen Einflüssen mitbestimmt werden. Insbesondere die Fahrzeugentwicklung, als auch die internationale Standardisierung unterliegen nur einem geringen direkten Einfluss durch den Schweizer Markt oder Schweizer Politik.

Die Ergebnisse des TP1 sollen somit als Grundlage dienen, um die wichtigsten Herausforderungen in den Themenbereichen, welche das Forschungspaket vertieft untersuchte, zeitnah anzugehen (v.a. Funktionsfähigkeit / Infrastrukturen, Verkehrssicherheit, Datenaustausch und Datenschutz, Förderung neuer Angebotsformen).

Literaturverzeichnis

- Abraham et al. (2016): Autonomous Vehicles, Trust and Driving Alternatives: A. Retrieved from MIT Agelab: http://agelab.mit.edu/files/publications/2016_6_Autonomous_Vehicles_Consumer_Preferences.pdf
- AG Forschung. (2015): Bericht zum Forschungsbedarf. Runder Tisch Automatisiertes Fahren. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-forschungsbedarf-runder-tisch-automatisiertes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- Baum, Reiter & Kollegen (2016): Rechtsgutachten zur Kontrolle der Daten bei vernetzten und automatisierten PKW. In Auftrag der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv). Düsseldorf, Dezember 2016
- BCS (2020): CarSharing in Zahlen. Bundesverb. CarSharing EV. URL <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen>
- Beiker, S. A. (2015). Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Strassenfahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (Springer Open, S. 197–217). Berlin [u.a.]: Springer.
- Bierstedt, J., Gooze, A., Gray, C., Petermann, J., Raykin, L. & Walters, J. (2014). *Effects of next-generation vehicles on travel demand and highway capacity*. FP THINK Working Group. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter http://orfe.princeton.edu/~alaik/Papers/FP_NextGenVehicleWhitePaper012414.pdf
- Bosch, R. (2017): Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen.
- Bösch, Patrick et.al (2017): Cost based Analysis of autonomous mobility services, Working Paper ETHZ
- Bösch, P.M.; Becker, F.; Becker, H.; Axhausen, K.W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy* 64, 76–91. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- BMVI (2015): Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin
- BMVI (2017): Automatisiertes Fahren im Strassenverkehr Herausforderungen für die zukünftige Verkehrspolitik. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur. Erschienen in: Zeitschrift für Strassenverkehrstechnik, Heft Nr. 8 u. Heft Nr. 9, 2017
- Calvert, S. C.; Schakel, W. J.; van Lint, J. W. C. (2017): Will Automated Vehicles Negatively Impact Traffic Flow? In: *Journal of Advanced Transportation* 2017, S. 17. DOI: 10.1155/2017/3082781.
- Canzler, W., Knie, A. (2016): Mobility in the age of digital modernity: why the private car is losing its significance, intermodal transport is winning and why digitalisation is the key. *Appl. Mobilities* 1, 56–67. <https://doi.org/10.1080/23800127.2016.1147781>
- CAR (2018): The Great Divide: What Consumers Are Buying vs. The Investments Automakers & Suppliers Are Making in Future, Center for Automotive Research CAR, February 2018.
- Technologies, Products & Business Models
- Czerulla, H. (2018): Allianz-Versicherung und Autoindustrie streiten um Autodaten. heise online, 21.01.2018 <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Allianz-Versicherung-und-Autoindustrie-streiten-um-Autodaten-3947349.html>
- Da Lio, M., Biral, F., Bertolazzi, E., Galvani, M., Bosetti, P., Windridge, D. et al. (2015): Artificial Co-Drivers as a Universal Enabling Technology for Future Intelligent Vehicles and Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16 (1), 244–263. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2330199>
- DHL (2014): Self-Driving Vehicles in Logistics. A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf
- DLR 2017: Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr – Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen, Deutsches Zent-

- rum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrsforschung, Herausgeber/Auftraggeber: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg, 2017.
- Docherty, I., Marsden, G., Anable, J. (2018): The governance of smart mobility. *Transp. Res. Part Policy Pract.*, Smart urban mobility 115, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.012>
- DPD (2016): Autonomes Fahren in der Paketzustellung.
- EBP (2015): Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Initialprojekt, SVI (2011/021), Zürich
- EBP (2017): Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz, Schlussbericht Grundlagenanalyse (Phase A), EBP Schweiz AG, im Auftrag des BaslerFonds, Schweizerischen Städteverbands und weiterer Partner, Zürich, 24. Oktober 2017.
- EBP (2017): Automatisiertes Fahren im Alltag – Mobilitätsverhalten und verkehrliche Mengengerüste, Bericht Modul 2c, EBP Schweiz AG, im Auftrag des BaslerFonds, Schweizerischen Städteverbands und weiterer Partner, Zürich, 19. September 2017.
- EBP / Rapp (2018): Verkehr der Zukunft 2060: Technologischer Wandel und seine Folgen für Mobilität und Verkehr, SVI 2017/003, Entwurf Schlussbericht (noch nicht veröffentlicht).
- Ecoplan 2018: Abschätzung der ökonomischen Folgen der Digitalisierung in der Mobilität, Machbarkeitsstudie, im Auftrag Bundesamt für Raumentwicklung, Mai 2018.
- Ecoplan 2020: Verkehr der Zukunft 2060: Risiken und Chancen für das Regulativ und das Finanzierungssystem, SVI Forschungsauftrag 2017/005, Entwurf Schlussbericht, 15.1.2020.
- ERTRAC (Hrsg.). (2015): Automated Driving Roadmap. ERTRAC Task Force “Connectivity and Automated Driving”. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id38/ERTRAC_Automated-Driving-2015.pdf
- Fagnant, D.J., Kockelman, K. (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transp. Res. Part Policy Pract.* 77, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Fehr Advice 2018: Der Mensch im Verkehr: Ein Homo Oeconomicus? Eine verhaltensökonomische Studie zu den Treibern des Mobilitätsverhaltens. Juni 2018.
- Festag, A., Rehme, M. & Krause, J. (2016): Studie Mobilität 2025+. Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive? Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/IKT-EM/ikt2-studie-mobilitaet-2025.pdf>
- Flämig H. (2015): Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: Maurer M., Gerdes J., Lenz B., Winner H. (eds) *Autonomes Fahren*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
- Fleischer, T., Schippl, J. (2018): Automatisiertes Fahren. Technikfolgenabschätzung in Theorie und praxis (TATuP), 27, 11–15. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.11>
- Folsom, T. C. (2012): Energy and Autonomous Urban Land Vehicles. *IEEE Technology and Society Magazine*, 31 (2), 28–38. <https://doi.org/10.1109/MTS.2012.2196339>
- Frank, L., Bradley, M., Kavage, S., Chapman, J. and Lawton, T.K. (2008): Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. In *Transportation* 35(1), 37–54.
- Fraedrich, E., Beiker, S. and Lenz, B. (2015): Transition pathways to fully automated driving and its implications for the sociotechnical system of automobility. In *European Journal of Futures Research* 3(1), 1–11.
- Fraedrich, E., Cyganski, R. & Lenz, B. (2016): User perspectives on autonomous driving - a use-case-driven study in Germany (Arbeitsberichte Heft 187). Berlin [u.a.]: Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter https://www.geographie.hu-berlin.de/de/institut/publikationsreihen/arbeitsberichte/download/Arbeitsberichte_Heft_187.pdf
- Fraedrich, E.; Kröger, L.; Bahamonde-Birke, F.; Frenzel, I.; Liedtke, G.; Trommer, S.; Lenz, B.; Heinrichs, D. (2017): Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen. Herausgeber: e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg; Deutsches Zentrum für Luft- und

- Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrsforschung; Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- Friedrich, B. 2015: Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 331–350.
- Friedrich, M. & Hartl, M. (2016): MEGAFON. Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Stuttgart: Universität Stuttgart. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://www.vdv.de/megafon-abschlussbericht-20161212.pdf>
- Gasser, T. M. (2015): Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (Springer Open, S. 543–574). Berlin [u.a.]: Springer.
- Giesler, S. (2025 AD - The automated driving community, Hrsg.). (2017): Whizz-consin to put driverless cars in the fast lane. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://www.2025ad.com/the-week-in-ad/2017-11/wisconsin-driverless-car-lanes/>
- Givoni, M., Fleischer, T., Schippl, J. (2018): Interview with Prof. Moshe Givoni: TATuP Z. Für Tech. Theor. Prax. 27, 68–71. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.68>
- Guth, D., Siedentop, S., Holz-Rau, C. (2012): Erzwungenes oder exzessives Pendeln? Zum Einfluss der Siedlungsstruktur auf den Berufspendelverkehr. In: *Raumordnung und Raumforschung* (2012) 70, S. 485–499
- Haider und Klementsitz 2017: Wirkungspotentiale für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum, durchgeführt von UbiGo KG, Institut für partizipative Sozialforschung, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Verkehrswesen, erstellt im Rahmen des Projekts «Shared Autonomy», überarbeitete Fassung, Wien, August 2017.
- Hartmann, M., Motamedidehkordi, N., Krause, S., Hoffmann, S., Vortisch, P., Busch, F., (2017): Impact of Automated Vehicles on Capacity of the German Freeway Network. ITS World Congress Montreal.
- Heinrichs D. (2015): *Autonomes Fahren und Stadtstruktur*. In: Maurer M., Gerdes J., Lenz B., Winner H. (eds) *Autonomes Fahren*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
- HSL/Infras/KCW (2018): *Selbstfahrende Fahrzeuge im ländlichen Raum*, Forschungsprojekt des SBB-Lab. Luzern.
- ifmo (2015): *Die Zukunft der Mobilität – Szenarien für Deutschland in 2035*, Institut für Mobilitätsforschung, München.
- Ifmo (2016a): Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B., Phleps, P., 2016. *Autonomous Driving - The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*.
- Ifmo (2016b): Kröger, L., Kuhnimhof, T., Trommer, S., 2016: *Modelling the impact of automated driving – private autonomous vehicle scenarios for Germany and the US*.
- INFRAS und YouMeo 2018: *Mobilitäts- und Arealentwicklungsszenarien SBB*, im Auftrag SBB Konzern, Mai 2018.
- INFRAS (laufend): *Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Gesamtprojektleitung und Synthese*, SVI (2016/002), Zürich
- INFRAS/Ecoplan/TransOptima (2019): *Mobility Pricing – Wirkungsanalyse am Beispiel der Region Zug*, Bundesamt für Strassen ASTRA, Schlussbericht, 18.4.2019.
- International Transport Forum (Hrsg., 2015): *Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/15CPB_Self-drivingcars.pdf
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I. and de Kruijff, J. (2015): *Truck Platooning. Driving the future of transportation*. Februar 2015, TNO Whitepaper.
- KBA (2019): *Krafftahrtbundesamt Zulassungsstatistik*. Flensburg.
- Kleefoot, M. (2014). *Mobilität - Das ist alles eine Frage der Einstellung*.
- Krause, S.; Motamedidehkordi, N.; Hoffmann, S.; Busch, F.; Hartmann, M.; Vortisch, P. (2017): *Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur*. Berlin: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V (FAT-Schriftenreihe 296).
- Le Vine, S., Polack, J. (2014): *Automated Cars: A smooth ride ahead?* ITC Occasional Paper-Number Five, February 2014. URL: <http://www.theitc.org.uk/docs/114.pdf>

- Lioris, Jennie; Pedarsani, Ramtin; Tascikaraoglu, Fatma Yildiz; Varaiya, Pravin (2017): Platoons of connected vehicles can double throughput in urban roads. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 77, S. 292–305. DOI:
- Litman, T., (2018): Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute.
- Maurer M. et al. (2015): Autonomes Fahren : Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Springer Vieweg, Heidelberg.
- McKinsey & Company (2016): Delivering Change. Die Transformation des Nutzfahrzeugsektors bis 2025. Advanced Industries, September 2016, <http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/delivering-change-the-transformation-of-commercial-transport-by-2025>
- Meyer, J., Bösch, P.M., Becker, H., Axhausen, K.W., (2016): Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge. Internationales Verkehrswesen 69.
- Meyer Jonas et.al (2017): Autonomous vehicles: the next jump in accessibilities, in Research in Transportation Economics 1/17
- Nobis, C., Kuhnimhof, T. (2018). Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (No. FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin.
- Nowak, G., Maluck, J., Stürmer, C. and Pasemann, J. (2016): The era of digitized trucking. Transforming the logistic value chain. PwC Strategy&, <http://www.strategyand.pwc.com/re-ports/era-of-digitized-trucking>.
- OECD 2017 (Hrsg.): Shared Automated Vehicles: Review of Business Models, Adam Stocker und Susan Shaheen, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley, Discussion Paper No. 2017-09, Berkeley, Juli 2017.
- Rychel, A. (2025 AD - The automated driving community, Hrsg.). (2018). "Full connectivity will precede full automation". Interview with Ralph Lauxmann and Ibro Muharemovic. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://www.2025ad.com/latest/lauxmann-muharemovic-continental-automated-driving-part-2/>
- Roland Berger (2016): Automated Trucks. The next big disruptor in the automotive industry? Chicago/München, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_automated_trucks_20160517.pdf.
- Rapp Trans AG (2014): Machbarkeitsstudie Cargo Sous Terrain, Teilprojekt Markt, Förderverein Cargo sous terrain
- RappTrans AG (2017a): Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen.
- RappTrans AG (2017b): Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandshaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen – Machbarkeitsanalyse. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bericht-Nr. 2060.966-001, 11. August 2017
- Schippl, J.; Fleischer, T.; Truffer, B., (2018): Exploring potential impacts of societal dynamics on the development of autonomous cars. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria
- Schweizerischer Bundesrat (Hrsg., 2016): Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 «Auto-Mobilität» (O353-1246). Bern. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/abteilung_strassennetzeallgemein/automatisiertes-fahren.pdf.download.pdf/Automatisiertes%20Fahren%20%E2%80%93%20Folgen%20und%20verkehrspolitische%20Auswirkungen.pdf
- Sivak, M. & Schoettle, B. (2015): Road safety with self-driving vehicles: General limitations and road sharing with conventional vehicles (UMTRI-2015-2). University of Michigan, Transport Research Institute. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/111735/103187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Szimba, E. & Orschiedt, Y. (2017): How beneficial is fully automated driving in urban areas from a socio-economic point of view? In VGU-UTC (Hrsg.), Proceedings of the "Future City 2017: Urban Sustainable Development and Mobility" conference, Hanoi .
- Talebpour, A. & Mahmassani, H. S. (2016): Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 71, 143–163. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.07.007>

- Transport & Environment (2019): Less (cars) is more: how to go from new to sustainable mobility. Brussels.
- Train, K.E. (1979): A comparison of the predictive ability of mode choice models with various levels of complexity. In *Transportation Research Part A: General* 13(1), 11–16.
- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T. et al. (2016): *Autonomous Driving. The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*. Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter https://www.ifmo.de/files/publications_content/2016/ifmo_2016_Autonomous_Driving_2035_en.pdf
- Truffer, B., Schippl, J., Fleischer, T. (2017): Decentering technology in technology assessment: Technol. Forecast. Soc. Change. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.04.020>
- U.S. Department of Transportation. (2016): *Federal Automated Vehicles Policy. Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety*. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>
- VBW (2016): *Automatisiertes Fahren – Datenschutz und Datensicherheit*. vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., August 2016
- VDE 2016 (Hrsg.): Festag, M.; Rehme, M.; Krause, J. *Studie Mobilität 2025: Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive? – Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur*, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Januar 2016.
- Voegelé, T. & Zhivov, N. (2016): *Cooperative Mobility Systems and Automated Driving. Summary and Conclusions* (International Transport Forum, Hrsg.). Zugriff am 24.07.2018. Verfügbar unter <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cooperative-mobility-systems-automated-driving-roundtable-summary.pdf>
- WEF, BCG (2018): *Reshaping Urban Mobility with Autonomous Vehicles. Lessons from the City of Boston*.
- Weichert, T. (2017): Der Personenbezug von Kfz-Daten. *NZV - Neue Zeitschrift fuer Verkehrsrecht* 30, 507–13

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: 18.08.2020

Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2017/007
Projekttitel: Auswirkungen des automatisierten Fahrens;
Teilprojekt 1: Nutzungsszenarien und Auswirkungen
Enddatum: 30.09.2020

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Aufgabe des Teilprojekts 1 war es, die formale Klammer um die Teilprojekte 2 - 6 des Gesamtprojektes «Auswirkungen des automatisierten Fahrens» zu ziehen. Dies beinhaltete eine strukturierte Einordnung des aktuellen Forschungsstands, das Aufzeigen wichtiger Lücken und die sukzessive Aufstellung der wichtigen Forschungsfragen. Als Arbeitsgrundlage für die weiteren Teilprojekte diente zudem die Herleitung und Definition zweier grundlegender Nutzungsszenarien. Die beiden Nutzungsszenarien unterscheiden sich durch die Variation von Angebots- und Nutzungsformen und decken die denkbare Spannweite zwischen individueller und kollektiver Mobilität ab. Diese Szenarien dienten den Teilprojekten als Rahmen für ihre sektoralen Vertiefungen. Nach Vorliegen der Ergebnisse der Teilprojekte 2 bis 6 formulierte das TP1 aus den Erkenntnissen ein übergeordnetes Zielszenario für das Jahr 2050.

Das Zielszenario zeigt die wünschbare Nutzung automatisierter Fahrzeuge für den Transport von Personen und Gütern im Jahre 2050 auf. Die Beschreibung orientiert sich dabei an den identifizierten Wirkungen gemäss eines Ziel- und Kriteriensystems. Es wurde ein in sich konsistentes Bild aus den verschiedenen Teilbereichen des Zielszenarios erstellt. Über die rein verkehrlichen Veränderungen hinaus wurden auch die zugehörigen Rahmenbedingungen beleuchtet, selbst wenn diese nicht direkt als Ergebnis eines Teilprojekts aufschienen.

In den ausgeführten Themenbereichen des Zielszenarios wurden Herausforderungen identifiziert, die aus heutiger Perspektive Handlungen der Politik und des Regulators erforderlich machen. Das Aufgreifen dieser Herausforderungen und deren Vertiefung in der Synthese des Handlungsbedarfs ist das Kernergebnis der Arbeiten.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die gesteckten Ziele des Teilprojekt 1 konnten erreicht werden. Eckszenarien für die sektoralen Vertiefungen wurden entwickelt, was eine synchrone thematische Bearbeitung im Forschungspaket ermöglichte. Das einheitliche Ziel- und Kriteriensystem erlaubte zudem eine gleichgerichtete Bewertung der Ergebnisse der Teilprojekte sowie einen Zusammenzug der Erkenntnisse im Zielszenario für 2050.

Die abgeleiteten Handlungsempfehlungen legen ein starkes Gewicht auf Ansätze die zeitnah vorzubereiten sind. Sie stehen unter der Prämisse, dass die Unsicherheit der künftigen Entwicklungen des automatisierten Fahrens hoch sind und massgeblich von externen Einflüssen mitbestimmt werden. Dies erzeugt einen höheren Handlungsdruck in der Gegenwart. Massnahmen für spätere Zeiträume sind mit Spielraum unter Berücksichtigung von Interdependenzen formuliert.

Folgerungen und Empfehlungen:

Der vorgestellte Handlungsbedarf zeigt die dringlichsten Handlungsfelder und -ansätze auf, um die Gestaltung der Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Entwicklung der automatisierten Fahrzeuge in eine gesellschaftsverträgliche Richtung zu lenken. Die Berücksichtigung der Ansätze führt nicht zwingend zum Zustand des vorgestellten Zielszenarios, kann aber die Realisierung wünschbarer Nutzungen unterstützen.

Insbesondere die Fahrzeugentwicklung, aber auch die internationale Standardisierung unterliegen nur einem geringen direkten Einfluss durch den Schweizer Markt oder der Schweizer Politik. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts dienen als Grundlage, um die wichtigsten Herausforderungen in den thematischen Rahmenbedingungen, welche das Forschungspaket vertieft untersuchte, zeitnah anzugehen (v.a. Funktionsfähigkeit der Infrastrukturen, Verkehrssicherheit, Datenaustausch und Datenschutz, Förderung neuer Angebotsformen).

Publikationen:

Schlussbericht zum Forschungsprojekt ASTRA 2017/007: Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 1: Nutzungsszenarien und Auswirkungen

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Oehry

Vorname: Bernhard

Amt, Firma, Institut: Rapp Trans AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Ziel der Forschungsarbeit war es, mögliche Nutzungen und Szenarien automatisierter und vernetzter Strassenfahrzeuge für den Transport von Personen und Gütern für den Zeitraum 2020 bis 2050 zu erarbeiten. Diese waren in einem iterativen Prozess sowie unter Einbezug der Ergebnisse aus den sektoralen Vertiefungen der Teilprojekte 2 bis 6 schrittweise zu konkretisieren und zu werten. Im Ergebnis sollten die wahrscheinlichen und die anzustrebenden Nutzungen bezeichnet und zu einem Zielbild zusammengefügt werden. Die relevanten Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die Verkehrsnachfrage, den Bedarf an Verkehrsinfrastrukturen, die Organisation in Mischverkehrssituationen, den Umgang mit Daten sowie die Raumordnung waren anhand von quantitativen und qualitativen Ansätzen abzuschätzen und zu werten. Diese Zielsetzung wurde vollständig erreicht.

Umsetzung:

Inhaltlich und terminlich besass TP1 eine zentrale Bedeutung für das Forschungspaket. Es lieferte mit den Nutzungsabklärungen und Szenarien die Bezugsbasis für die sektoralen Abklärungen der anderen Teilprojekte. Im Rahmen der Synthese wurden die relevanten Auswirkungen beschrieben, ein Zielszenario entworfen und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

weitergehender Forschungsbedarf:

Dieser wird in den Teilprojekten 2 bis 6 ausgewiesen.

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 (*Dienstleistungen --> Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.

