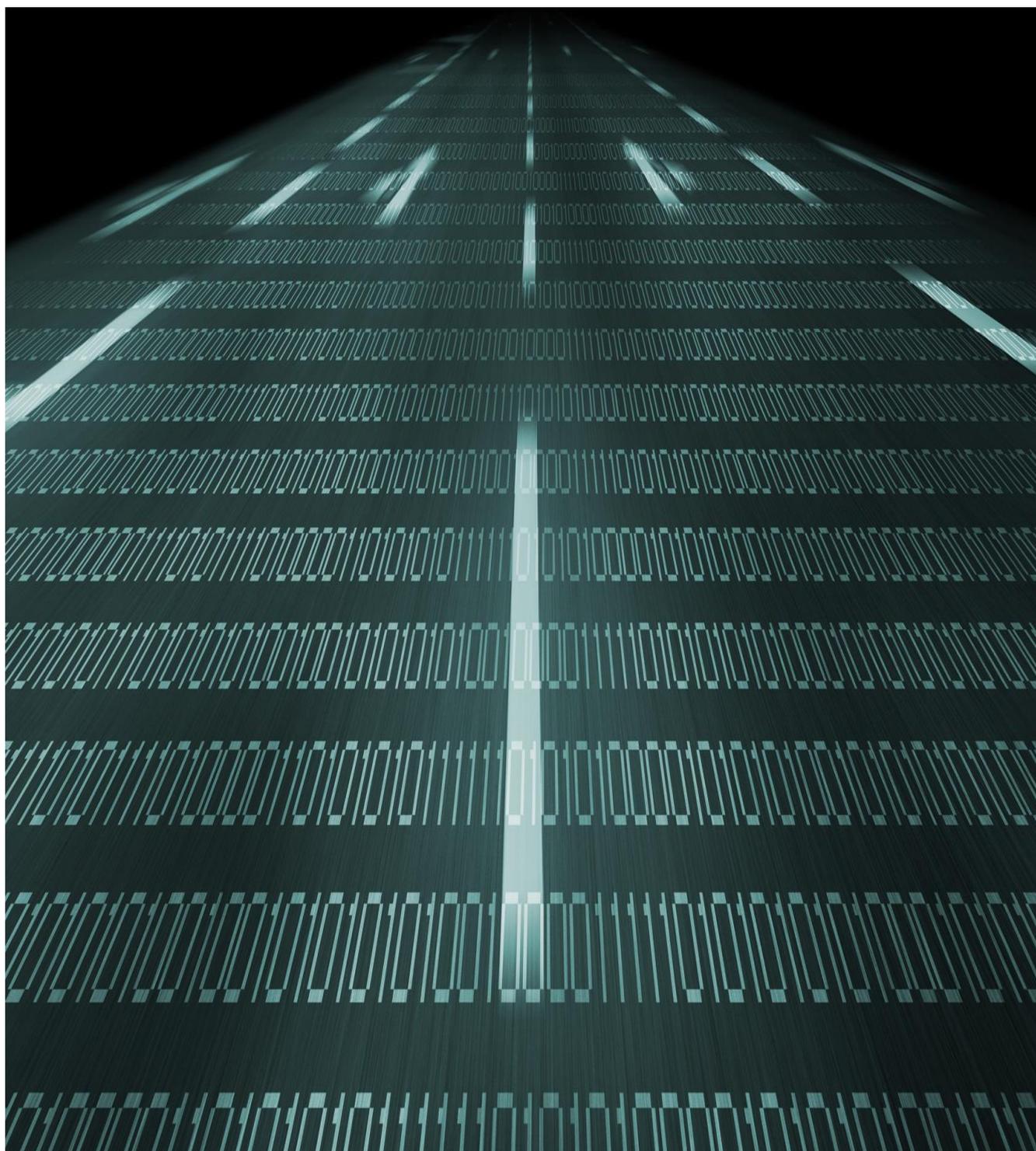


Automatisiertes Fahren

Auswirkungen auf die Strassenverkehrssicherheit
Schlussbericht vom 31. Mai 2018



Projektteam

Christian Willi, EBP Schweiz AG
Markus Deublein, EBP Schweiz AG
Helgi Hafsteinsson, EBP Schweiz AG

Begleitgruppe

Bettina Zahnd, AXA Winterthur
Markus Hackenfort, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW
Dieter Lüthi, Fonds für Verkehrssicherheit FVS (Auftraggeber)
Alexandre Milot, EPFL Lausanne
Marc Neracher, Kantonspolizei Zürich
Markus Riederer, Bundesamt für Strassen ASTRA

Auftragnehmer

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Schweiz
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 4. Juni 2018
2018-05-31_Schlussbericht_aFn.docx
Projektnummer: 217124.00

Zusammenfassung

Gemäss Verkehrsunfallstatistik der Schweiz sind heute rund 90 % der Strassenverkehrsunfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen. Die absehbare Entwicklung hin zu einem hohen Anteil an Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 2 und höherer Automatisierung wird sich auf das Unfallgeschehen auf dem Schweizer Strassennetz auswirken. Welches Sicherheitspotenzial das automatisierte Fahren birgt bzw. wie sich das automatisierte Fahren und die damit einhergehende Automation des Strassenverkehrs auf das Unfallgeschehen auswirken könnte, ist Gegenstand der vorliegenden Studie.

Das Sicherheitspotenzial des automatisierten Fahrens lässt sich vereinfachend als Bilanz der erwarteten Sicherheitsgewinne und der Sicherheitsverluste ermitteln. Die Sicherheitsgewinne ergeben sich einerseits aus Unfallreduktionen, die direkt auf das automatisierte Fahren zurückzuführen sind. Andererseits resultieren Sicherheitsgewinne auch aus unterstützenden Systemen wie Fahrerassistenz- und Notbremsassistenzsystemen. Für die Beurteilung der Sicherheitsverluste werden neu auftretende Unfallursachen identifiziert. Insgesamt sind neun Gruppen von neuen Unfallursachen zu erwarten. Dazu zählen jene,

- die sich aufgrund der Mensch-Fahrzeug-Interaktion ergeben; zum Beispiel bei der Übergabe der Steuerung an das Fahrzeug bzw. der Übernahme der Steuerung durch den Fahrzeuglenkenden,
- die sich aus dem Mischverkehr ergeben; aus dem Aufeinandertreffen von automatisierten und konventionellen Fahrzeugen im Verkehr sowie weiterer nicht-automatisierter Verkehrsmittel wie Motor- und Fahrräder etc. und
- die technikbedingt entstehen, wie beispielsweise Unfälle infolge von unsicheren Software-Systemen (Hacking) in den Fahrzeugen.

Die Studie zeigt, dass in den Automatisierungsstufen 1 und 2 der assistierten und teil-automatisierten Fahrzeuge die Sicherheitsgewinne die erwarteten Sicherheitsverluste des automatisierten Fahrens übersteigen dürften und sich damit das automatisierte Fahren in diesen Automatisierungsstufen positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Ein wesentlicher Beitrag leisten hier die Notbremsassistenzsysteme.

Aus der Studie ist jedoch auch ersichtlich, dass das Sicherheitspotenzial mit zunehmender Automatisierung nur bedingt zunimmt. In der Stufe 3 der bedingt automatisierten Fahrzeuge kann gemäss den Studienergebnissen nicht ausgeschlossen werden, dass die Sicherheitsverluste die Sicherheitsgewinne des automatisierten Fahrens sogar übersteigen, wenn nicht zusätzliche Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer überwachen etc., weiterentwickelt und in den Fahrzeugen verbaut werden. Der Grund liegt hierfür vor allem an den neuen Unfallursachen im Bereich der Mensch-Fahrzeug-Interaktion: Möchte das Fahrzeug in einer bestimmten Situation die Steuerung wieder dem Fahrer übergeben, aber der Fahrer ist nicht in der Lage, diese

innerhalb der dafür vorgesehenen Zeit zu übernehmen, kann es zu gefährlichen Situationen oder gar Unfällen aufgrund dieser Übernahmeproblematik kommen.

Erst ab Stufe 4 von insgesamt fünf Stufen dürften die Sicherheitsgewinne die entsprechenden Verluste deutlich übersteigen. Aber auch dann sind die zu erwartenden Sicherheitsverluste beträchtlich. Dies ist vor allem auf die Folgen der neuen Unfallursache "Mischverkehr" zurückzuführen: eine zunehmende Zahl von Konflikten zwischen hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen mit konventionellen Fahrzeugen sowie Motorrädern, Fußgängern und Radfahrern. Aber auch Eingriffe von aussen auf die Fahrzeugsteuerung (Hacking) können eine neue Unfallursache darstellen, die mit zunehmender Automatisierung gemäss der Studie an Bedeutung gewinnen wird.

Insgesamt wirkt sich das automatisierte Fahren positiv auf die Verkehrssicherheit aus und reduziert die Zahl der Unfälle. Dennoch, in Zukunftsszenarien, die einen besonders hohen Anteil an bedingt automatisierten Fahrzeugen der Stufe 3 aufweisen, können neu auftretende Unfallursachen sogar zu einer Überkompensation der erzielten Sicherheitsgewinne führen – sprich, die Unfallhäufigkeiten können in solch einem Szenario sogar zunehmen.

Kurzfristig müssen daher Lösungen für die Bewältigung neuer Unfallursachen gefunden werden. Insbesondere wird es zukünftig wichtig sein, dass Fahrerassistenzsysteme parallel zu den technischen, eher komfortbezogenen und weniger sicherheitsbezogenen Entwicklungen in der Automatisierung der Fahrzeuge vorangetrieben werden.

Mittel- bis langfristig besteht insbesondere Handlungsbedarf auf regulatorischer und politischer Ebene. Als wesentliches Element muss ein möglichst geringes Risiko der Koexistenz verschiedener konventioneller Verkehrsträger und automatisierten Fahrzeugen angestrebt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass den Herausforderungen des gemischten Verkehrs nur teilweise durch kooperative Echtzeit-Kommunikations- und Datenaustauschsysteme begegnet werden kann.

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	7
2.	Zielsetzung	7
3.	Grundlagen und Daten	8
4.	Vorgehen und Methodik	9
4.1	Definition und Charakterisierung der Automatisierungsstufen	10
4.2	Auswerten des Unfallgeschehens	13
4.3	Abschätzung der Sicherheitsgewinne	13
4.4	Abschätzen der Sicherheitsverluste	17
4.5	Definition zukünftiger Szenarien	19
4.6	Ermittlung des Sicherheitspotenzials	21
5.	Ergebnisse und Erkenntnisse	21
5.1	Sicherheitspotenzial je Automatisierungsstufe	21
5.2	Sicherheitspotenzial je Szenario	23
6.	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	26
6.1	Erkenntnisse	26
6.2	Schlussfolgerungen	27
7.	Handlungs- und Forschungsbedarf	28

1. Ausgangslage

Gemäss Verkehrsunfallstatistik der Schweiz sind heute rund 90 % der Strassenverkehrsunfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen. Bereits heute verkehren teilautomatisierte Fahrzeuge im Strassenverkehr. Solche Fahrzeuge machen heute ca. 4.2 %¹ der Neuzulassungen und ca. 1.5 % (fahrleistungsgewichtet)² aller Personenwagen im Strassenverkehr aus, wobei der Anteil stetig zunimmt. Die heutigen teilautomatisierten und bedingt automatisierten Fahrzeuge entsprechen der Automatisierungsstufen 2 bis 3 innerhalb der Klassifikation nach [SAE International, 2016]. Die Automatisierungsstufen, auch Level genannt, lassen sich wie folgt beschreiben, wobei nähere Informationen dazu aus der Tabelle 1, in Kapitel 4.1, zu entnehmen sind.

- Level 0: Nicht automatisiert
- Level 1: Assistierte Fahren
- Level 2: Teilautomatisiertes Fahren
- Level 3: Bedingt automatisiertes Fahren
- Level 4: Hochautomatisiertes Fahren
- Level 5: Vollautomatisiertes Fahren

Die absehbare Entwicklung hin zu einem hohen Anteil an Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 2 und höherer Automatisierung wird sich auf das Unfallgeschehen auf dem Schweizer Strassennetz auswirken.

Weil beim vollautomatisierten Fahren stets derselbe hohe Sicherheitslevel eingehalten wird, bei dem die Relevanz der heutigen sicherheitsbeeinflussenden Faktoren wie zum Beispiel Ermüdung, Ablenkung, Reaktionszeit des Fahrers abnimmt, ist davon auszugehen, dass sich mit zunehmenden Assistenzsystemen hin zum vollautomatisierten Fahrzeug die Unfallhäufigkeit reduziert. Dies, auch wenn neue Unfallursachen, sogenannte neue Gefährdungsbilder, auftreten können.

Wie sich das automatisierte Fahren und die damit einhergehende Automation des Strassenverkehrs auf das Unfallgeschehen auswirken könnte und welche neuen Unfalltypen bzw. Gefährdungsbilder sich ergeben könnten, ist bis dato nicht systematisch analysiert worden [Raymann, 2016] und Gegenstand der vorliegenden Studie.

2. Zielsetzung

Das Ziel des vorliegenden Projektes ist es, die mutmasslichen Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das Unfallgeschehen auf Schweizer Strassen aufzueigen. Es soll damit eine Grundlage zur Diskussion der Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenverkehrssicherheit

1 Abgeschätzt anhand der Neufahrzeug-Zulassungen gemäss auto-schweiz.ch im Jahr 2016.

2 Eigene Schätzung aufgrund eines einfachen Flottenmodells

geschaffen und aufgezeigt werden, welcher weitere Handlungs- und Forschungsbedarf diesbezüglich besteht.

Folgende Fragen sollen mit dem Projekt beantwortet werden:

- Welche Sicherheitsgewinne resultieren aus dem automatisierten Fahren und welche Beiträge leistet dabei die Automation an sich, die Notbremsassistenzsysteme sowie weitere Fahrerassistenzsysteme?
- Welche neuen Gefährdungsbilder ergeben sich aufgrund der Automatisierung und welche Sicherheitsverluste sind dabei zu erwarten?
- Von welchem Sicherheitspotenzial, Bilanz aus Sicherheitsgewinn und -verlust, kann beim automatisierten Fahren ausgegangen werden?
- Welche zentralen sicherheitsrelevanten Herausforderungen ziehen die Entwicklungen des automatisierten Fahrens nach sich und welcher Handlungs- sowie Forschungsbedarf besteht?

3. Grundlagen und Daten

Für die Schweiz liegen noch keine ausführlichen Studien zu den Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das Unfallgeschehen auf Schweizer Strassen vor.

Das Bundesamt für Strassen schloss 2017 ein Initialprojekt [ASTRA, 2017] zum automatisierten Fahren ab, das die möglichen Auswirkungen aus der Einführung des automatisierten Fahrens in der Schweiz im Sinne einer Auslegeordnung analysiert, Lücken beim heutigen Wissensstand identifiziert und die nötigen Forschungsprojekte zur Schliessung dieser Wissenslücken nennt.

Der Städteverband führte im Jahr 2017 in Zusammenarbeit mit dem BaslerFond³ und weiteren Partnern eine Studie zum Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag durch und analysierte dabei denkbare Anwendungen des automatisierten Fahrens und Effekte für die Schweiz [Schweizerischer Städteverband, 2017].

In der vorliegenden Studie wird auf folgende Fachliteratur abgestützt:

- Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, 2016: Automatisiertes Fahren, Herausforderungen für die Verkehrssicherheit, Bern.
- Bundesamt für Strassen ASTRA, 2017: Automatisiertes Fahren; Initialprojekt: Klärung des Forschungs- und Handlungsbedarfs, Forschungsprojekt ASTRA 2015/004, Bern.
- Bundesrat, 2016: Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Leutenegger Oberholzer 14.4169 «Auto-Mobilität», 21.12.2016, Bern.
- C-ITS Platform, 2016: Final Report, January 2016.

3 Der BaslerFonds ist ein Fond zur Unterstützung intern wie auch extern ausgerichteter Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Entwicklung von EBP.

- C-ITS Platform, 2017: Final Report Phase II, September 2017.
- Hummel T, Kühn M, Bende J, Lang A, 2011: Fahrerassistenzsysteme – Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadensgeschehens der Deutschen Versicherer; GDV Forschungsbericht FS03, 2011.
- Maurer et al., 2015: Autonomes Fahren, technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Springer Verlag.
- Raymann, 2016: Was leisten automatische Fahrzeuge zur nachhaltigen Mobilität? VSS, Strasse und Verkehr, Heft 9 2016.
- Riederer, 2016: Schwerpunktthema: Entwicklungen in Nachbarländern bieten Potenziale für Synergien, Themenvertiefung: EU-Plattform zu Kooperativen Systemen (C-IST-Plattform), its-ch, 9. Juni 2016-1, www.its-ch.ch.
- SAE International, 2016: Surface Vehicle Recommended Practice, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016.
- Schweizerischer Städteverband et al., 2017: Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz.

Als Grundlage zur semi-quantitativen Abschätzung der Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf das zukünftige Unfallgeschehen in der Schweiz wurde auf das zentrale Verkehrsunfallregister des ASTRA (DWH VU) zugegriffen (vgl. Kapitel 4.2).

4. Vorgehen und Methodik

Das Vorgehen zur Abschätzung der Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenverkehrssicherheit sowie die nachfolgende Dokumentation der Methodik gliedert sich in sechs Arbeitsschritte, die in den Kapiteln 4.1 bis 4.6 beschrieben und in Abbildung 1 schematisch dargestellt sind.

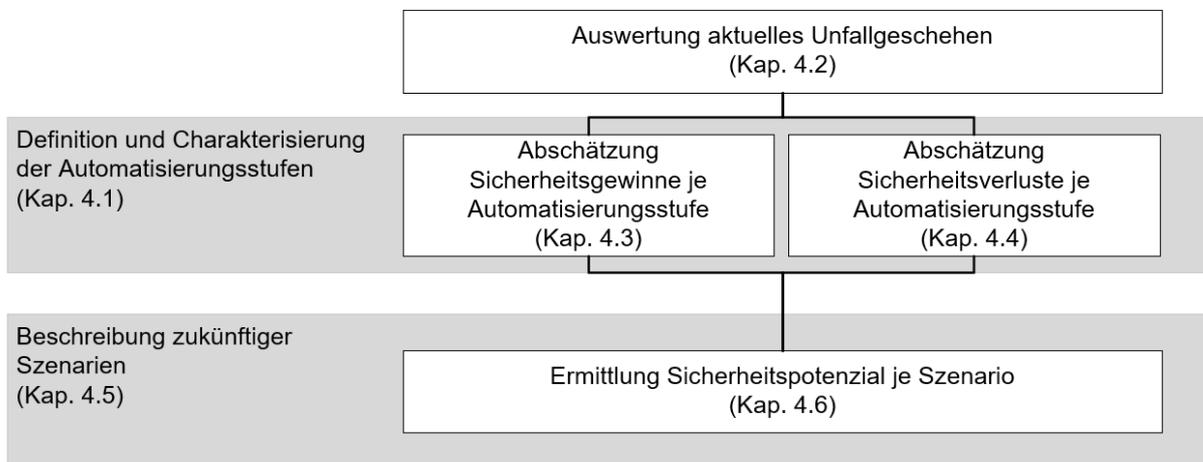


Abbildung 1: Vorgehen in sechs Arbeitsschritten

Es besteht heute eine Vielzahl an Definitionen der Automatisierungsstufen im Bereich des automatisierten Fahrens. In Kapitel 4.1 erfolgt eine mit der Begleitgruppe abgestimmte und mit der Kategorisierung nach SAE Definition der Automatisierungsstufen.

In Kapitel 4.2 wird die Methodik zur Auswertung des aktuellen Unfallgeschehens beschrieben. Diese empirische Analyse dient zum einen der Identifikation der massgebenden Unfall-Hauptursachen, die durch eine zunehmende Automatisierung im Strassenverkehr beeinflusst werden. Zum anderen bildet das aktuelle Unfallgeschehen die Grundlage, um quantitative Abschätzungen des zukünftigen Unfallgeschehens durchführen zu können und die Plausibilität der geschätzten Sicherheitspotenziale zu überprüfen.

In Kapitel 4.3 wird die Methodik zur Abschätzung der Sicherheitsgewinne beschreiben, die durch die zunehmende Automation im Strassenverkehr erwartet werden. Das Kapitel 4.4 beschreibt die Methodik zur Abschätzung der Sicherheitsverluste, die sich durch neue Gefährdungsbilder - wiederum bedingt durch die zunehmende Automation im Strassenverkehr - ergeben können.

Kapitel 4.5 nimmt Bezug auf die bereits publizierten Ergebnisse der Studie über die Auswirkungen des automatisierten Fahrens im Alltag [Schweizerischer Städteverband et al., 2017] und stützt sich dabei auf die dort ausgewiesenen sechs «Zustände» (Szenarien). Jedes dieser Szenarien beinhaltet ein chronologisch bedingtes, unterschiedliches Mischungsverhältnis der unterschiedlichen Automatisierungsstufen in der schweizweiten Strassenfahrzeugflotte. Zudem sind in den einzelnen Szenarien unterschiedliche politische und regulative Rahmenbedingungen berücksichtigt.

Die definierten Szenarien dienen schliesslich im Kapitel 4.6 als Grundlage zur Bestimmung des Sicherheitspotenzials der Automation im Strassenverkehr. Ausgehend vom heutigen Unfallgeschehen (Ist-Zustand) werden für jedes Szenario die vorhergehend abgeschätzten Sicherheitsgewinne und Sicherheitsverluste übertragen und potenzielle Veränderungen im zukünftigen Unfallgeschehen semi-quantitativ ermittelt.

4.1 Definition und Charakterisierung der Automatisierungsstufen

Die Kategorisierung der Automatisierungsstufen erfolgt gemäss [SAE International, 2016]. Zusätzlich werden die Automatisierungsstufen auf Grundlage von sicherheitsrelevanten Funktionen, regulativen Vorgaben und Übernahme von Fahraufgaben charakterisiert und beschrieben. Die Kategorisierung beschränkt sich auf die wesentlichen Aspekte, wobei im Detail die SAE noch weiter präzisierende Annahmen macht.

Die Kategorisierung bildet eine zentrale Grundlage für die Abschätzung der Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf die Strassenverkehrssicherheit.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Kategorisierung davon ausgeht, dass die Automatisierungsstufen in definierten Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Es kann beispielsweise sein, - und dies wird im Rahmen der

noch festzulegenden Bedingungen für die Inbetriebnahme automatisierter Fahrzeuge festzulegen sein - dass bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 3 nur unter bestimmten Bedingungen eine Automatisierung möglich ist. Es ist zudem denkbar, dass bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 4 sowohl ein örtlicher als auch operationell eingeschränkter Betrieb möglich ist; beispielsweise nur ein Betrieb in einer bestimmten Zone der Stadt, nur bei schönem Wetter oder nur unterhalb einer gewissen Geschwindigkeit.

Die nachfolgende Tabelle beschreibt die einzelnen Automatisierungsstufen.

	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Bezeichnung	nicht automatisiert (SAE: No Automation)	assistiert (SAE: Driver Assistance)	teilautomatisiert (SAE: Partial Automation)	bedingt automatisiert (SAE: Conditional Automation)	hochautomatisiert (SAE: High Automation)	vollautomatisiert (SAE: Full Automation)
Technische Assistenz	Unterstützung: ja Steuerung: nein Strategie: nein	Unterstützung: ja Steuerung: ja Strategie: nein		Unterstützung: ja Steuerung: ja Strategie: ja	Unterstützung: nein (in ODD ⁴), ja (ausserhalb ODD) Steuerung: ja Strategie: ja	Unterstützung: nein Steuerung: nein Strategie: ja
Längsführung/ Querführung	nicht vorhanden	LF oder QF an System abgegeben, temporär und spezifische Situationen	LF und QF an System abgegeben, temporär und spezifische Situationen		LF und QF vollständig und in definiertem Anwendungsbereich an System abgegeben	LF und QF vollständig und für alle Situationen an System abgegeben
Überwachung der Fahrumgebung durch den Fahrer	immer dauerhafte Überwachung			Keine dauerhafte Überwachung in spezifischen Situationen . Der Fahrer wird mit einer Zeitreserve zur Übernahme aufgefordert.	In der Regel keine Überwachung durch den Fahrer; das System entscheidet und kann nicht übersteuert werden innerhalb der ODD ⁴ . In Sonderfällen Anforderung zur Übernahme mit einer Zeitreserve. Kommt er dieser nicht nach, erreicht das Fahrzeug selbständig einen "risikominimalen" Zustand.	Keine Überwachung durch den Fahrer
Vernetzung	Nicht zwingend «connected»			zwingend «connected» (car2X) ⁵		
Übernahme	Fahrzeugautomation durch Fahrer überstimbar.				System kann Übernahme durch Fahrer verweigern	

Notbremsassistent vorhanden	Ab Level 2 wird davon ausgegangen, dass alle Fahrzeuge mit Notbremsassistentensystemen ausgestattet sind. Der Einfluss von Notbremsassistentensysteme auf das Unfallgeschehen wird separat untersucht, weil sich diese «unabhängig» zur Automatisierung entwickeln werden.
------------------------------------	--

Tabelle 1: Automatisierungsstufen gemäss SAE (**fett**: relevante Aspekte zur Differenzierung der Stufen)

4 ODD: Operational Design Domain (innerhalb des definierten Anwendungsbereiches der Automatisierungsstufe)

5 Wird als Bedingung für die Inverkehrsetzung angenommen. Dies entspricht dem Vorhaben der EU-Kommission, um die erforderliche Effizienz im Verkehr zu gewährleisten. Zudem, bei der Automatisierungsstufe 3, weil dies als eine Grundvoraussetzung angenommen wird, genügend lange Warn- und Übernahmezeiten zu garantieren.

4.2 Auswerten des Unfallgeschehens

Die wesentliche Grundlage der Unfallanalysen stellen die polizeilich erhobenen Unfalldaten aus dem zentralen Strassenverkehrsunfallregister (DWH VU) des ASTRA im Zeitraum vom 01.01.2010 bis 31.12.2016 auf dem gesamten Schweizer Strassennetz dar. Die Untersuchung berücksichtigt sowohl Unfälle mit Personenschaden als auch Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden. Für die vorliegenden Auswertungen werden insbesondere die Unfallattribute «Unfall-Ursachenuntergruppen» und «Unfall-Hauptursachen» berücksichtigt.

Im oben genannten Zeitraum resultiert eine Gesamtstichprobe von gut 380'000 Unfällen.

Die Auswertung der Daten gliedert sich in folgende Schritte:

- Beschaffen und Zusammenstellen der Unfalldaten auf Schweizer Strassen aus MISTRA/VU DWH.
- Auswerten des Unfallgeschehens nach Ursachenuntergruppen wie Zustand des Lenkers oder Unaufmerksamkeit und nach Hauptursachen wie Einwirkung Alkohol oder Überfahren der Sicherheitslinie.
- Identifizieren der Ursachenuntergruppen und Hauptursachen, die durch automatisierte Fahrzeuge grundsätzlich beeinflusst werden können und Herausfiltern derjenigen, die nicht beeinflusst werden wie z.B. die Ursachenuntergruppen Fahrrad- und Motorfahrradverkehr oder Unbekannte Ursache.

4.3 Abschätzung der Sicherheitsgewinne

Sicherheitsgewinne werden durch das automatisierte Fahren dann erzielt, wenn es die Anzahl Unfälle im Strassenverkehr reduziert. Weitere Sicherheitsgewinne resultieren durch die einhergehende Entwicklung von Notbremsassistenzsystemen sowie weiterer Fahrerassistenzsysteme, die nicht direkt dem automatisierten Fahren im engeren Sinn zugeordnet werden. Bei der Abschätzung der Sicherheitsgewinne wird also differenziert zwischen positiven Wirkungen

- des automatisierten Fahrens (Kapitel 4.3.1),
- der Notbremsassistenzsysteme (Kapitel 4.3.2) und
- anderer Fahrerassistenzsystemen (Kapitel 4.3.3).

4.3.1 Wirkung des automatisierten Fahrens

Zur Identifikation der durch die verschiedenen Automatisierungsstufen beeinflussten Sicherheitsgewinne werden auf Grundlage des Datensatzes mit dem erhobenen Unfallgeschehen (siehe Kap. 3) die Unfall-Ursachenuntergruppen und Unfall-Hauptursachen in sogenannte Wirkfelder aggregiert.

Jedem Wirkfeld wird ein Sicherheitsgewinn zugewiesen, also ein Schätzwert für die mutmassliche Reduktion des Unfallgeschehens aufgrund der technischen Entwicklungen und Fahrfunktionen in den einzelnen Automatisierungsstufen.

Dabei werden ausschliesslich positive Effekte (also Reduktion des Unfallgeschehens) berücksichtigt. Mögliche negative Effekte (Erhöhung des Unfallgeschehens aufgrund zunehmender Automatisierung) werden nicht gleichzeitig an dieser Stelle, sondern erst bei der Abschätzung der Sicherheitsverluste infolge neuer Gefährdungsbilder berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.4). Ebenfalls nicht hier berücksichtigt, sondern separat ausgewiesen, wird die mutmassliche Wirkung von Notbremsassistenzsystemen (vgl. Kapitel 4.3.2) sowie die mutmassliche Wirkung weiterer Fahrerassistenzsysteme (vgl. Kapitel 4.3.3) auf das Unfallgeschehen.

Die Sicherheitsgewinne und damit die erwartete relative Reduktion der Anzahl Unfälle je Wirkfeld wurde im Rahmen von Expertenworkshops mit der Begleitgruppe (vgl. Impressum) in Prozent des heutigen Unfallgeschehens und unter Berücksichtigung der Automatisierungsstufen abgeschätzt. Ein Sicherheitsgewinn von beispielsweise 50% für eine bestimmte Automatisierungsstufe bedeutet dabei, dass das heutige Unfallgeschehen bezüglich dieses Wirkfeldes und dieser Automatisierungsstufe um 50% reduziert wird.

Insgesamt werden acht Wirkfelder definiert. Sie sind in Tabelle 2 beschrieben, wobei die folgenden Annahmen gelten:

- Bei allen Abschätzungen wird angenommen, dass sich der gesamte Fahrzeugbestand zu 100% in der jeweilig betrachteten Automatisierungsstufe befindet. Zusätzlich gibt es aber auch noch Einflüsse durch den Mischverkehr, konkret durch den nicht automatisierten motorisierten Individualverkehr (MIV), Fussgänger, Velofahrer und Motorradfahrer, die berücksichtigt sind.
- Ab Level 3 ist eine Car2X Kommunikation und damit auch eine Car2Car Kommunikation zwingend vorgeschrieben.
- Ab Level 4 fährt das Fahrzeug innerhalb des definierten Anwendungsbereiches zwingend automatisiert und verweigert dem Fahrer dabei die Übergabe der Steuerung innerhalb des Anwendungsbereichs (ODD). Bei der Erreichung der Grenzen des definierten Anwendungsbereichs übergibt das Fahrzeug die Fahrzeugsteuerung an den Fahrer. Übernimmt (ausserhalb der ODD) der Fahrer nach Aufforderung die Steuerung nicht, geht das Fahrzeug selbstständig in einen «risikominimalen» Zustand über.

Wirkfeld		Unfall-Ursachenuntergruppen und Unfall-Hauptursachen ⁶ , (Anteil am Gesamtunfallgeschehen)	Positive Wirkung aufs Unfallgeschehen
1	Menschliches Fehlverhalten im Verkehr, unabsichtlich ⁷	<ul style="list-style-type: none"> – Nichtbeachten von Zeichengebung oder Signalisation (1.2%) – Einfluss Dritter (Missverständnis zwischen Strassenbenützenden; Erschrecken / Ablenken durch äussere Einflüsse) (0.1%) – Geschwindigkeit (9.7%) – Links-/Rechtsfahren, Einspuren (6.5%) – Überholen Situation und Überholen Verkehrsablauf (2.2%) – Andere Fahrbewegungen (13.6) 	Positive Wirkung in allen Automatisierungsstufen mit stetiger Zunahme in Richtung der Zunahme der Automatisierungsstufe erwartet.
2	Menschliches Fehlverhalten im Verkehr, absichtlich	<ul style="list-style-type: none"> – Missachten der Lichtsignale (1.3%) – Missachten des Vortrittsrechts (15%) 	Geringe Wirkung mit geringer Zunahme bis Automatisierungsstufe 3 erwartet. Ab Stufe 4 eine deutliche Zunahme der positiven Wirkung erwartet, die in der Stufe 5 nur noch geringfügig zunimmt.
3	Menschliches Fehlverhalten durch Unaufmerksamkeit ⁸	<ul style="list-style-type: none"> – Unaufmerksamkeit und Ablenkung (13.8%) 	Positive Wirkung in allen Automatisierungsstufen mit stetiger Zunahme in Richtung der Zunahme der Stufe 5 erwartet, wobei die grösste Zunahme in der Stufe 4 erwartet wird.
4	Fahrzeuglenker fahruntauglich	<ul style="list-style-type: none"> – Zustand des Lenkers (Einwirkung Alkohol, Betäubungsmittel, Arzneimittel; Schwächezustand; verminderte Sehkraft; körperliche und geistige Krankheiten) (9.7%) 	Geringe Wirkung mit geringer Zunahme bis Automatisierungsstufe 3 erwartet. Ab Stufe 4 eine deutliche Zunahme der positiven Wirkung erwartet, die in der Stufe 5 nur noch gering zunimmt (ähnlich Wirkfeld 2)
5	Bedienungsfehler am Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> – Mangelhafte Bedienung des Fahrzeuges (4%) 	Positive Wirkung in allen Automatisierungsstufen mit deutlicher Zunahme der Wirkung ab Stufe 2 erwartet.
6	Äussere Einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> – Mangel an der Strassenanlage (0.2%) – Momentan äusserer Einfluss (Öl, Steinschlag, Aquaplaning etc.) (0.8%) 	Geringe Wirkung bis zur Automatisierungsstufe 2 erwartet, mit deutlicher Zunahme der Wirkung in der Automatisierungsstufe 3 und anschliessender moderater Zunahme bis in die Stufe 5.
7	Fahrzeug nicht einsetzbar, Ladung oder Besetzung des Fahrzeuges	<ul style="list-style-type: none"> – Beeinträchtigte Sicht des Lenkers (0.2%) – Ladung oder Besetzung des Fahrzeuges (0.5%) – Mangelhafter Unterhalt des Fahrzeuges (0.3%) – Technische Defekte am Fahrzeug (0.3%) 	Geringe Wirkung in den Automatisierungsstufen 1 und 2 erwartet mit anschliessender stetiger Zunahme bis in die Stufe 5.
8	Spontaner Kontrollverlust , unabsichtlich	<ul style="list-style-type: none"> – Tod vor Kollision und anderer Einflussfaktor aus medizinischer Sicht (0.4%) 	Keine Wirkung bis und mit der Automatisierungsstufe 3 erwartet, mit grosser Wirkung in den Stufen 4 und 5.

Tabelle 2: Wirkfelder und zugeordnete Unfall-Ursachenuntergruppen und Unfall-Hauptursachen sowie die erwartete Wirkung auf das Unfallgeschehen

6 Die Aggregation der Wirkfelder erfolgt anhand der Differenzierung nach Unfall-Ursachenuntergruppen und Unfall-Hauptursachen. Diese sind im polizeilichen Unfallaufnahmeprotokoll festgelegt und werden somit auch in der Datenbank des DWH VU des ASTRA entsprechend unterteilt. In Prozent ist der Anteil der Unfallursache am Gesamtunfallgeschehen angegeben.

7 «Unabsichtigkeit» im Sinne von «Nichtbeachten» im Unterschied zur Unaufmerksamkeit (Wirkfeld 3), die mit einer absichtlichen vorangehenden Handlung (die zur Unaufmerksamkeit führt) verknüpft ist.

8 Im Gegensatz zum «unabsichtlichen Fehlverhalten» (Wirkfeld 1) geht der Unaufmerksamkeit eine absichtliche Handlung voraus, zum Beispiel durch die Bedienung der Unterhaltungselektronik, Zuwenden des Mitfahrenden etc.

Von den insgesamt 380'000 Unfällen in den Jahren 2010 bis 2016 (vgl. Kapitel 4.2) wird angenommen, dass 83% der Unfälle, also knapp 320'000 Unfälle einem der acht Wirkungsfelder zugeordnet werden können und damit grundsätzlich durch das automatisierende Fahren positiv beeinflusst werden. Für die verbleibenden ca. 60'000 Unfälle wird angenommen, dass sie solchen Unfällen entsprechen, die nicht durch das automatisierte Fahren beeinflusst werden. Dies sind beispielsweise Unfälle von Fahrrad- und Motorradfahrern etc. (ca. 25'000 Unfälle) oder Unfälle mit unbekannter Unfallursache (ca. 35'000 Unfälle).

4.3.2 Wirkung der Notbremsassistentensysteme

Notbremsassistentensysteme gelten in der Wissenschaft und unter Verkehrssicherheitsexperten als ein bedeutendes Instrument zur aktiven Erhöhung der Verkehrssicherheit. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass sich Notbremsassistentensysteme unabhängig von den Entwicklungen im Bereich der Automatisierung durchsetzen. Es wird angenommen, dass Notbremsassistentensysteme zukünftig in allen Neuwagen (verbindlich) verbaut sein werden. Sie sind daher in der Abschätzung der Sicherheitsgewinne aufgrund der Automation im Strassenverkehr nicht berücksichtigt und separat auszuweisen.

Die Abschätzung des Sicherheitsgewinns infolge von Notbremsassistentensystemen erfolgt in Abhängigkeit der Automatisierungsstufen, wobei der Sicherheitsgewinn der erwarteten Reduktion der Anzahl Unfälle entspricht. Der Anteil durch Notbremsassistenten vermeidbarer Unfälle wurde in Anlehnung an [Hummel et al., 2011] abgeleitet. Der erwartete Sicherheitsgewinn für PkW mit einem Notbremsassistenten wurde in [Hummel et al., 2011] auf knapp 20% geschätzt. Im vorliegenden Projekt wird angenommen, dass die Wirkung von Notbremsassistentensystemen mit zunehmender Automatisierung abnimmt, weil mit zunehmender Automatisierung auch kritische Bremsituationen zunehmend vermieden werden.

4.3.3 Wirkung anderer Fahrerassistenzsysteme

Die Abschätzung der positiven Wirkung zusätzlicher, präventiv-wirkender, sicherheitsbezogener Fahrerassistenzsysteme wie beispielsweise Fahrerüberwachungssysteme erfolgt in Abhängigkeit der Automatisierungsstufen.

Die nachfolgende Tabelle gibt Beispiele solcher Systeme und beschreibt ihre erwartete Wirkung.

Andere Fahrerassistenzsysteme	Positive Wirkung aufs Unfallgeschehen
System, das in einer Übernahmesituation den Fahrer frühzeitig informiert und diesem die Ursache für die bevorstehende Übergabe anzeigt.	Geringe positive Wirkung in der Automatisierungsstufe 3 erwartet. In den übrigen Automatisierungsstufen keine relevante Wirkung erwartet.
Fahrerüberwachungssysteme (z.B. Innenraumkameras) mit Rückstufungsoption (z.B. aufgrund einer erkannten Müdigkeit eine Rückstufung von Level 3 auf Level 2)	Grösste Wirkung in der Automatisierungsstufe 3 erwartet. In den übrigen Automatisierungsstufen eher geringe Wirkung erwartet.
Systeme bzw. Massnahmen, die die Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge sicherstellen.	Geringe Wirkung in den Automatisierungsstufen 4 und 5 erwartet. Ansonsten keine Wirkung erwartet.
	Keine Wirkung erwartet. Annahme: die geringe positive Wirkung wird tendenziell überkompensiert durch <ul style="list-style-type: none"> - «überevorsichtige» automatisierte Fahrzeuge - missbräuchliche Vortrittnahme im Fuss- und Veloverkehr - Unfallprovokationen infolge nicht-intuitivem Beschleunigungs- und Bremsverhaltens
Fahrerassistenzsysteme, die hinsichtlich technischer verursachten Gefährdungsbildern wie z.B. Hacking wirken.	Ist wird angenommen, dass solche Fahrerassistenzsysteme bei einem Hacker-Angriff ebenfalls betroffen wären und daher keine positive Wirkung resultiert.

Tabelle 3: Übersicht Fahrerassistenzsysteme sowie deren erwartete Wirkung aufs Unfallgeschehen.

4.4 Abschätzen der Sicherheitsverluste

Zur Abschätzung der Sicherheitsverluste werden neue Gefährdungsbilder identifiziert, die infolge des automatisierten Fahrens erwartet werden. Neue Gefährdungsbilder sind demnach negative, psychologisch- oder technikbedingte Effekte auf die Verkehrssicherheit, die durch eine zunehmende Automatisierung der Fahrfunktion auftreten können und zu einer Reduktion der Sicherheit (bzw. einer Zunahme des spezifischen Unfallgeschehens) führen können.

Insgesamt werden sechs neue Gefährdungsbilder identifiziert, vier psychologisch bedingte und zwei technikbedingte. In der Tabelle 4 sind die neuen Gefährdungsbilder inklusive eines Beschriebs sowie möglicher Ursachen aufgeführt.

Neues Gefährdungsbild		Beschrieb/Beispiel	Mögliche Ursachen
1	Übernahmeproblematik und Beanspruchung	Überforderung, kurze Warn-/Übernahmezeit	Überforderung (in Übernahme- bzw. Notsituationen) durch Unterforderung (im Normalfall)
2	Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems	Vigilanzminderung	Bereitschaft, über längere Zeiträume relevante Veränderung der Umwelt zu entdecken und richtig darauf zu reagieren
		Ablenkung	Fahrbezogene Ablenkungen (Blick auf Display oder Touchscreen), fahrfremde Ablenkungen
		Falsches mentales Modell / Systemverständnis	Fahrer verlässt sich zu stark auf System oder setzt System in nicht geeigneten Situationen ein
		Ungenügendes Systembewusstsein	Durch mangelnde Transparenz der Automation, nicht adäquate Systemrückmeldungen oder Wegfall von Rückmeldungen -> (Fahrer kennt Systemaktivität nicht)
		Kompetenzverlust	--
		Overreliance (blindes Vertrauen)	--
		Mistrust (fehlendes Vertrauen)	Fahrer übernimmt System ohne Bedarf
	Fehlgebrauch / Systemmissbrauch	Z.B. länger fahren mit Müdigkeitsassistent trotz Müdigkeit, Spurassistent zum Ausüben fahrfremder Tätigkeiten nutzen	
3	Mischverkehr: konventioneller und automatisierter MIV	--	Konflikte, Missverständnisse zwischen automatisierten und konventionellen Fahrzeugen bzw. weiteren Verkehrsträgern (z.B. Wegfall Blickkontakt, Provokationen von Unfällen)
4	Mischverkehr: automatisierter MIV und anderer Verkehrsträger (Fahrrad, Fussgänger) ⁹	--	
5	Technische Mängel	Alterung Systeme / Systemkomponenten	--
		Unausgereifte Systeme	'Z.B. nicht Funktionieren bei 'Schnee auf der Fahrbahn, Wanderbaustellen; plötzlichen kritischen Situationen
		Software-Fehler	Z.B. Fehler bei der Detektion und Interpretation von statischen und dynamischen Objekten z.B. Fahrzeug folgt der alten Fahrbahnmarkierung anstelle der orangen Baustellen-Markierung
6	Manipuliertes System	Hacking	Angriff von aussen auf das Fahrzeug, wobei für die Abschätzungen davon ausgegangen wird, dass sich zum Zeitpunkt des Angriffs rund 30% der zugelassenen Fahrzeuge auf dem gesamtschweizerischen Strassennetz befinden. Weil in Level 3 teilweise noch manuell gesteuert wird, ist die Annahme für den Einfluss des Hackings etwas geringer als der Maximalbetrag in Level 4 und 5.

Tabelle 4: Neue Gefährdungsbilder und mögliche Ursachen in Anlehnung an (bfu, 2016)

Zur Abschätzung der Sicherheitsverluste, die sich aus den neuen Gefährdungsbildern ergeben, gelten folgende Annahmen:

- Die Auswirkungen der neuen Gefährdungsbilder auf das zu erwartende Unfallgeschehen bei zunehmender Automatisierung der Fahrfunktionen werden getrennt von den Sicherheitsgewinnen in den Wirkungsfeldern je Automatisierungsstufe geschätzt.

⁹ Wirkungsgrad bei L1 bis L3 bereits in den Abschätzungen zum Gefährdungsbild 1 und 2 enthalten und daher «-»; L4 und L5 nur teilweise enthalten.

— Der mutmasslich negative Einfluss auf das Unfallgeschehen – oder zumindest ein reduzierter positiver Einfluss – durch unterschiedliche Formen des Mischverkehrs (i.S.v. nicht 100% der Fahrzeuge befinden sich in der betrachteten Automatisierungsstufe und Mischung mit Fuss- und Veloverkehr) wird in Form von zwei spezifischen Gefährdungsbildern (Gefährdungsbilder 3 und 4) berücksichtigt.

Die nachfolgende Tabelle beschreibt je Gefährdungsbild die erwartete, negative Wirkung auf das Unfallgeschehen und damit deren Einfluss auf die erwartete Zunahme der Anzahl Unfälle je Automatisierungsstufe.

Neues Gefährdungsbild		Erwartete negative Wirkung aufs Unfallgeschehen
1	Übernahmeproblematik und Beanspruchung	Geringe Wirkung in den Automatisierungsstufen 1, 2. Keine negative Wirkung in Automatisierungsstufen 4 und 5. Grosse negative Wirkung in Automatisierungsstufe 3.
2	Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems	Negative, zunehmende Wirkung bis in die Automatisierungsstufe 3. Geringe Wirkung in den Automatisierungsstufen 4 und 5.
3	Mischverkehr: konventioneller und automatisierter MIV	Moderate Zunahme der negativen Wirkung bis in die Automatisierungsstufe 3. Deutliche Zunahme in der Automatisierungsstufe 4 erwartet, wobei Automatisierungsstufe 5 analog zur 4 beurteilt wird.
4	Mischverkehr: automatisierter MIV, nicht automatisierter MIV und anderer Verkehrsträger (Fahrrad, Fussgänger) ¹⁰	Keine negativen Wirkungen bis in die Automatisierungsstufe 3. Deutliche Zunahme in der Automatisierungsstufe 4, wobei die Automatisierungsstufe 5 analog zur 4 beurteilt wird.
5	Technische Mängel	Negative Wirkung in allen Automatisierungsstufen mit grösster negativer Wirkung in den Automatisierungsstufen 3 bis 5.
6	Manipuliertes System («Hacking»)	Negative Wirkung ab Automatisierungsstufe 1 mit stetiger Zunahme bis in Automatisierungsstufe 5.

Tabelle 5: Neue Gefährdungsbilder und ihre erwartete Wirkung aufs Unfallgeschehen

4.5 Definition zukünftiger Szenarien

Die Definition der Szenarien erfolgt in Anlehnung der in [Schweizerischer Städteverband et al., 2017] definierten (Zukunfts-) Szenarien.

Die Szenarien sind durch Flottenanteile an Fahrzeugen in den verschiedenen Automatisierungsstufen sowie regulativen Faktoren beschrieben. Regulative Faktoren sind beispielsweise gesetzliche Vorgaben, die besagen, dass ab einem gewissen Szenario (z.B. Szenario 3) innerorts nur noch hoch- oder vollautomatisierte Fahrzeuge verkehren dürfen.

Insgesamt werden vier Szenarien differenziert, anhand derer die Sicherheitspotenziale des automatisierten Fahrens, der Notbremsassistenzsysteme und der anderen Fahrerassistenzsysteme abgeschätzt werden (vgl. Kap. 4.6).

Die nachfolgende Tabelle zeigt die jeweiligen Anteile der Automatisierungsstufen je Szenario. Die Szenarien sind anschliessend beschrieben.

¹⁰ Wirkungsgrad bei L1 bis L3 bereits in den Abschätzungen zum Gefährdungsbild 1 und 2 enthalten und daher «-»; L4 und L5 nur teilweise enthalten.

Automatisierungsstufe	Anteil der Automatisierungsstufen an der Fahrzeugflotte			
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
0 (nicht automatisiert)	55%	25%	15%	-
1 (assistiert)	30%	30%	15%	--
2 (teilautomatisiert)	10%	20%	15%	--
3 (bedingt automatisiert)	5%	20%	30%	10%
4 (hochautomatisiert)	--	5%	20%	30%
5 (vollautomatisiert)	--	--	5%	60%

Tabelle 6: Anteile der Automatisierungsstufen an der Fahrzeugflotte je Szenario

Szenario 1

Im Szenario 1 ist die Automatisierungsstufe 3 auf dem gesamten HLS-Netz freigegeben. Zudem ist auf Pilotstrecken des HLS-Netzes die Stufe 4 freigegeben. Auf dem untergeordneten Netz gibt es im geschlossenen Siedlungsraum erste Teststrecken für Automatisierungsstufe 3. Der höchste Flottenanteil liegt mit 55% bei konventionellen (nicht automatisierten) Fahrzeugen. Es gibt noch keine Fahrzeuge der Automatisierungsstufen 4 und 5.

Szenario 2

Im Szenario 2 ist neu das automatisierte Fahren der Automatisierungsstufe 4 auf Autobahnen generell zugelassen. Im untergeordneten Strassennetz ist das automatisierte Fahren der Stufe 4 auf ausgewählten Teststrecken im Siedlungsraum erlaubt. Allerdings darf nicht jedermann die Teststrecken mit seinem eigenen Fahrzeug befahren, sondern es findet eine politische und gesellschaftliche Abwägung bei der Vergabe der Bewilligungen statt: Anwendungen müssen in der Gesamtbilanz Vorteile aufweisen, zum Beispiel für mobilitätseingeschränkte Personen einsetzbar sein oder den Besetzungsgrad erhöhen. Auf Überlandstrassen sind dank Sonderbewilligungen teilweise erstmals Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 3 unterwegs.

Szenario 3

Im Szenario 3 ist das automatisierte Fahren weit vorangeschritten. Der Fahrzeugbestand besteht bereits zu über der Hälfte aus Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 4 und 5. Anders als im Szenario 2 wird in diesem Szenario die Freigabe der Automatisierungsstufe 4 bereits schrittweise in Siedlungsräume ausgedehnt und erweitert. Innerhalb solcher (geschlossener) Siedlungsräume und auf ausgewiesenen HLS-Strecken verkehren zudem Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 5. Zusätzlich kommen beim «Sammel-/Verteilverkehr» ausschliesslich Fahrzeuge der Stufe 5 zum Einsatz.

Szenario 4

Im Szenario 4 ist das hochautomatisierte Fahren der Automatisierungsstufe 4 nun auch auf HVS ausserorts zugelassen. Dabei wird auch der Schritt zur allgemeinen Freigabe von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 5 (auf allen Strassen) verbunden. Dies wiederum bedeutet, dass neu Leerfahrten und auch das Fahren von Fahrzeugen auf L5 ohne Führerausweis überall und jederzeit erlaubt ist. Der grösste Teil der Fahrzeuge befindet sich nun mindestens auf Automatisierungsstufe 4 und über die Hälfte der Be-

standsfahrzeuge verfügt bereits über Technologien der Automatisierungsstufe 5. Wenige ältere Fahrzeuge der Automatisierungsstufen 0-3 verkehren zwar noch, sind aber von untergeordneter Bedeutung.

4.6 Ermittlung des Sicherheitspotenzials

Das Sicherheitspotenzial ergibt sich aus einer Gegenüberstellung des abgeschätzten Sicherheitsgewinns (Kapitel 4.3) und des zu erwartenden Sicherheitsverlusts (vgl. Kapitel 4.4) durch eine Zunahme der automatisierten Fahrzeugsteuerung. Der gesamte Sicherheitsgewinn setzt sich aus der positiven Wirkung des automatisierten Fahrens, der Notbremsassistentensysteme sowie anderer Fahrerassistenzsysteme zusammen. Das Sicherheitspotenzial entspricht damit der bilanzierten Auswirkung des automatisierten Fahrens auf das Unfallgeschehen.

5. Ergebnisse und Erkenntnisse

5.1 Sicherheitspotenzial je Automatisierungsstufe

Abbildung 2 zeigt das Sicherheitspotenzial des automatisierten Fahrens je Automatisierungsstufe im Vergleich zum Zustand der Jahre 2010 bis 2016. Es ist ersichtlich, dass das Sicherheitspotenzial bis zur Automatisierungsstufe 3 abnimmt (durchgezogene, rote Linie). Es wird erwartet, dass unter der Annahme, alle Fahrzeuge in der Schweiz befänden sich in der Automatisierungsstufe 3 insgesamt eine Zunahme des Unfallgeschehens von mehr als 30% auftreten würde. Der oftmals im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahren zitierte positive Effekt auf das Unfallgeschehen ist gemäss Einschätzung der Experten erst in den Automatisierungsstufen 4 und 5 abzusehen (durchgezogene, grüne Linie). Das Unfallgeschehen würde dann um 20% bis 30% reduziert werden.

Berücksichtigt man zusätzlich die erwartete positive Wirkung der Notbremsassistentensysteme und anderer Fahrerassistenzsysteme ist in allen Automatisierungsstufen bilanziert ein Sicherheitsgewinn zu erwarten. Insbesondere in der Automatisierungsstufe 3 gilt jedoch, dass dieser nur erreicht werden kann, wenn entsprechende sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme im Fahrzeug verbaut sind und diese ihre maximale Wirkung entfalten.

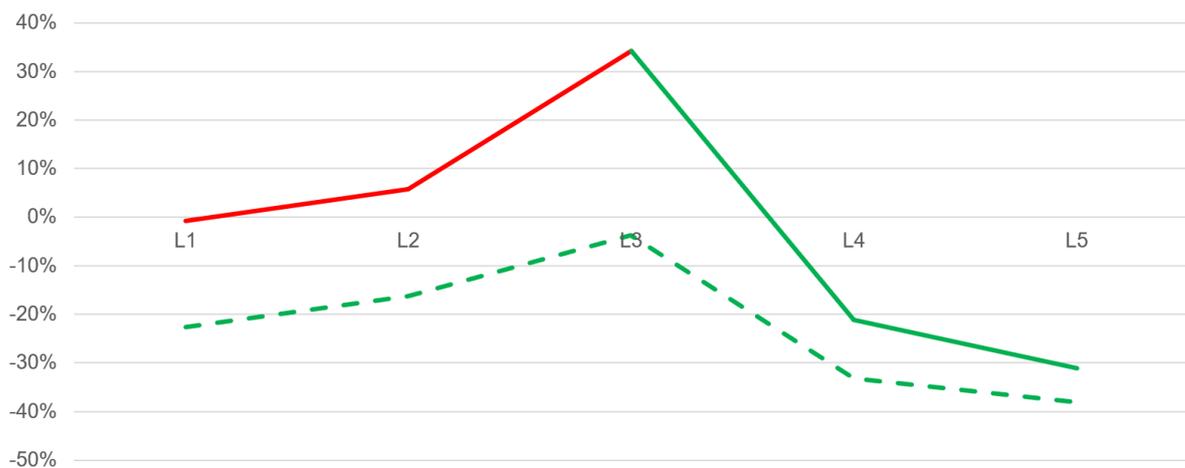


Abbildung 2: Sicherheitspotenzial des automatisierten Fahrens. Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens je Automatisierungsstufe. Durchgezogene Linie ohne Berücksichtigung der Wirkung von Notbremsassistenten und anderen Fahrerassistenzsystemen; gestrichelte Linie mit Berücksichtigung dieser.

Die Abbildung 3 zeigt je Automatisierungsstufe, die in Bezug zum heutigen Unfallgeschehen abgeschätzte Änderung der absoluten Anzahl Unfälle pro Jahr, differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot). Es ist ersichtlich, dass im Vergleich zum erwarteten Sicherheitsgewinn, je nach Automatisierungsstufe die entsprechenden Sicherheitsverluste erheblich sein können. Erst ab Automatisierungsstufe 4 wird erwartet, dass der Sicherheitsgewinn den Sicherheitsverlust übersteigt und aus Sicht Verkehrssicherheit ein spürbarer Gewinn entsteht. Aber selbst dann ist der erwartete Sicherheitsverlust noch beträchtlich. Dies ist insbesondere auf Unfälle infolge des neuen Gefährdungsbildes «Mischverkehr» zurückzuführen, also eine erhöhte Anzahl Unfälle zwischen hoch-/vollautomatisierten Fahrzeuge und konventionellen Fahrzeugen sowie Fussgängern und Velofahrenden. Dieses neue Gefährdungsbild macht ca. 50% des Sicherheitsverlustes aus.

In der Automatisierungsstufe 3 wird, erwartet, dass der Sicherheitsverlust den Sicherheitsgewinn infolge des automatisierten Fahrens übersteigt. Dies insbesondere aufgrund der neuen Gefährdungsbilder «Übernahmeproblematik und Beanspruchung» und «Fehlendes Situations- und Systembewusstsein und Missbrauch des Systems». Diese beiden neuen Gefährdungsbilder sind mutmasslich verantwortlich für ca. 80% des Sicherheitsverlustes in der Automatisierungsstufe 3.

Unter Berücksichtigung anderer Fahrerassistenzsystem (gelb) zeigt sich, dass diese insbesondere in der Automatisierungsstufe 3 eine bedeutende Rolle spielen werden. Auch diese vermögen jedoch die Sicherheitsverluste nur teilweise zu reduzieren und dies nur dann, wenn sie ihre maximale Wirkung entfalten. Die Notbremsassistentensysteme (grau) tragen insbesondere in den Automatisierungsstufen 1 und 2 zum Sicherheitsgewinn bei.

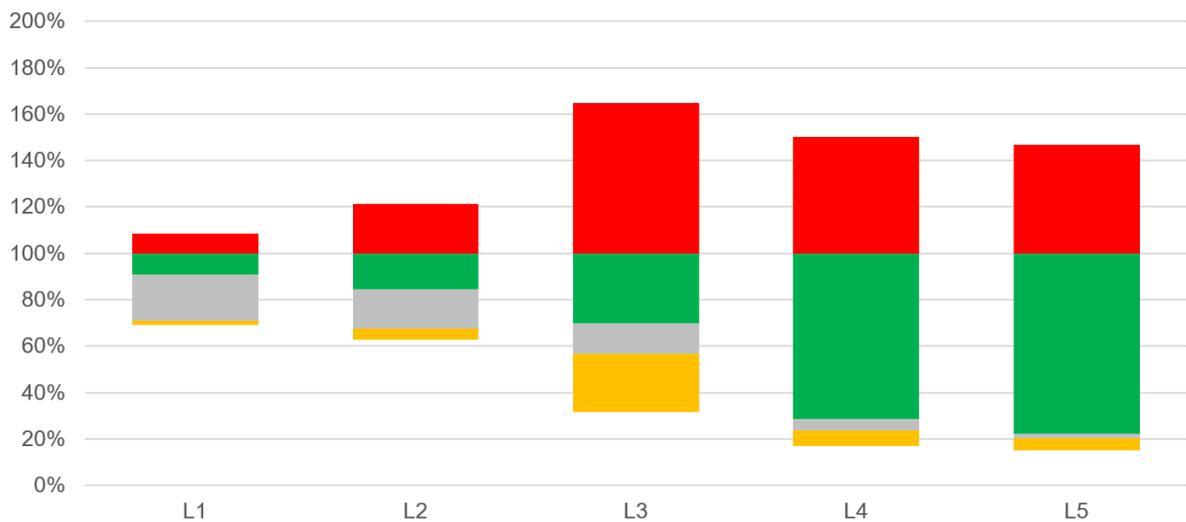


Abbildung 3: Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens in Abhängigkeit der Automatisierungsstufe, differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot) infolge automatisiertem Fahren inkl. Berücksichtigung der Notbremsassistentensysteme (grau) und anderer Fahrerassistenzsysteme (gelb).

5.2 Sicherheitspotenzial je Szenario

Für die in Kapitel 4.5 beschriebenen Szenarien zeigen sich die nachfolgenden Sicherheitspotenziale der Automation des Strassenverkehrs, der Notbremsassistentensysteme und anderer Fahrzeugassistentensysteme. Das Sicherheitspotenzial ist dabei differenziert nach Sicherheitsgewinn und Sicherheitsverlust dargestellt.

Szenario 1

Gemäss Abbildung 4 resultiert im Szenario 1 eine Reduktion des Unfallgeschehens und damit ein Sicherheitspotenzial von ca. 8%. Nicht automatisierte Fahrzeuge machen in diesem Szenario immer noch 55% des Fahrzeugbestandes aus. Der Anteil assistierter Fahrzeuge (Level 1) beträgt 30%.

Dies erklärt die relativ geringen, durch die Automatisierung bedingten Sicherheitsgewinne und -verluste in diesem Szenario. Der erwartete Sicherheitsgewinn von insgesamt ca. 16% ergibt sich insbesondere aus der Automation des Strassenverkehrs sowie der Notbremsassistentensysteme.

Der Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit durch andere Fahrerassistenzsysteme ist eher gering, weil diese insbesondere auf Automatisierungsstufe 3 ihre grösste Wirkung erzielen, diese Automatisierungsstufe in diesem Szenario aber lediglich 5% der Fahrzeugflotte umfasst.

Der Sicherheitsgewinn des automatisierten Fahrens von 6% resultiert zu mehr als 60% aus reduzierten Unfällen im Wirkungsfeld «Menschliches Fehlverhalten im Verkehr, unabsichtlich».

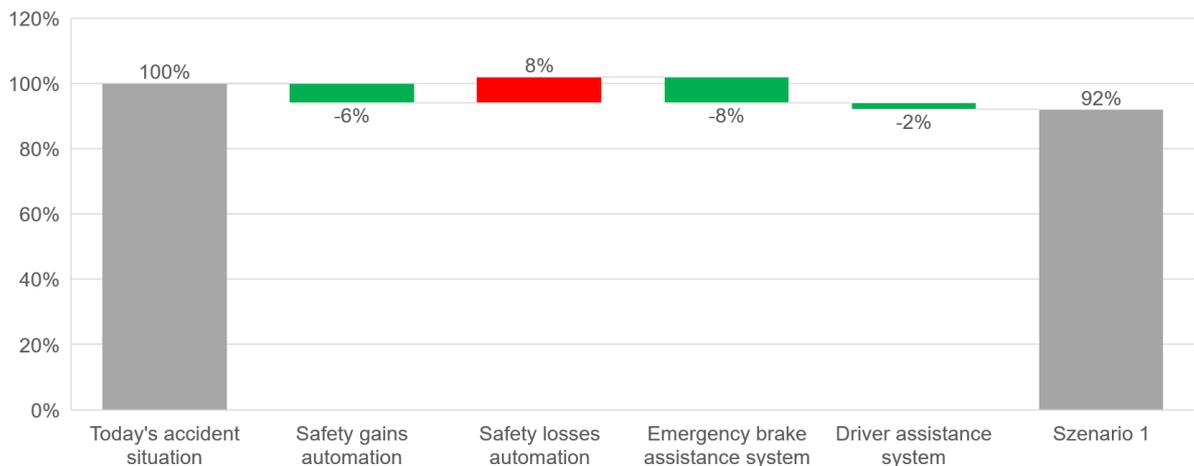


Abbildung 4: Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens im Szenario 1 differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot).

Szenario 2

Im Szenario 2 resultiert eine Reduktion des Unfallgeschehens von insgesamt 12% gemäss Abbildung 5. Aufgrund des relativ hohen Flottenanteils an Fahrzeugen auf Automatisierungsstufe 3 beträgt der geschätzte Sicherheitsverlust knapp über 20%. Er ist somit höher als der entsprechende Sicherheitsgewinn, der durch die positiven Effekte des automatisierten Fahrens bewirkt wird (15%). Die zusätzlichen Unfälle durch teilautomatisierte Fahrzeuge tragen zu fast 60% des Sicherheitsverlustes bei.

Gut 70% des Sicherheitsgewinns werden in den Wirkfeldern «Menschliches Fehlverhalten im Verkehr, unabsichtlich» und «Menschliches Fehlverhalten durch Unaufmerksamkeit» erzielt. Der Sicherheitsgewinn ist im Vergleich zu Szenario 1 höher, weil in diesem Szenario 2 Fahrzeuge, die über Notbrems- oder andere Fahrerassistenzsysteme verfügen, einen vergleichsweise grösseren Anteil an der Fahrzeugflotte einnehmen.

Der Sicherheitsgewinn, durch andere Fahrerassistenzsysteme beträgt ca. 7%; beispielsweise wird durch Fahrerüberwachungssysteme vor allem das neue Gefährdungsbild «Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems» positiv beeinflusst.

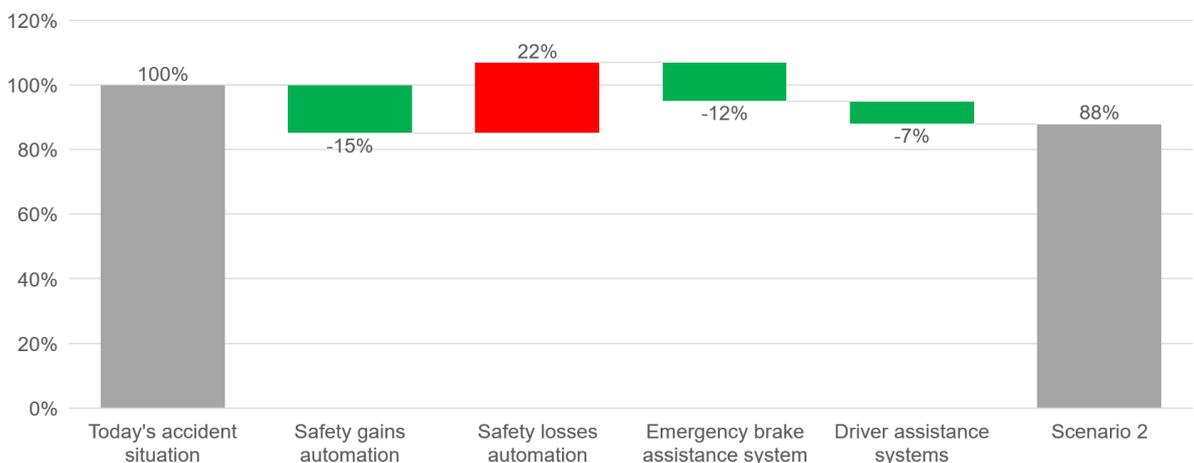


Abbildung 5: Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens im Szenario 2 differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot).

Szenario 3

Das Sicherheitspotenzial beträgt 16%. Der in diesem Szenario immer noch hohe Anteil an Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 3 (30% der Fahrzeugflotte) verursacht einen Grossteil des Sicherheitsverlustes von ca. 36%. Dieser negative Einfluss auf die Verkehrssicherheit wird durch Effekte des Mischverkehrs von Fahrzeugen in Automatisierungsstufe 4 und konventionellen Verkehrsformen verstärkt.

Der rein durch das automatisierte Fahren bewirkte Sicherheitsgewinn beträgt 31%. Er wird zu 80% in den ersten drei Wirkfeldern aus Tabelle 2 erzielt. Der Sicherheitsgewinn anderer Fahrerassistenzsysteme, die die negative Wirkung der neuen Gefährdungsbilder auf das Unfallgeschehen verringern, beträgt in diesem Szenario 3 10%.

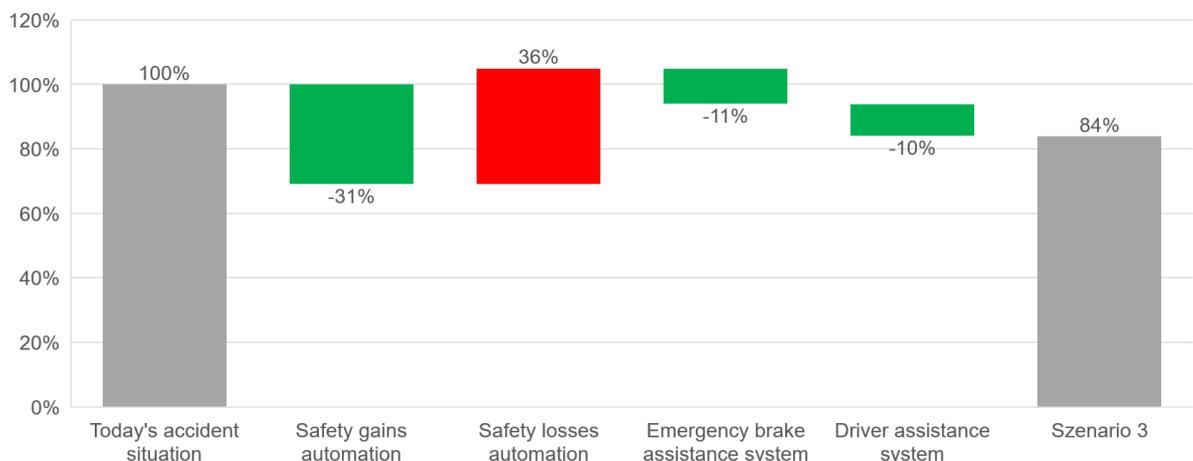


Abbildung 6: Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens im Szenario 3 differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot).

Szenario 4

Im Szenario 4 verkehren ausschliesslich Fahrzeuge der Automatisierungsstufen 3 bis 5. Der Flottenanteil der Automatisierungsstufe 5 beträgt dabei 60%. Durch diesen hohen Anteil resultiert gemäss Abbildung 7 eine Reduktion des Unfallgeschehens von insgesamt ca. 33%.

Der reine Sicherheitsgewinn aufgrund der Automation von mehr als 70% wird durch die Sicherheitsverluste von total 50% stark kompensiert. Erneut leistet das neue Gefährdungsbild «Mischverkehr» einen wesentlichen Beitrag (40%) zur Reduktion des Sicherheitsgewinns. Die positive Wirkung der Notbremsassistenzsysteme ist im Vergleich zu den Szenarien 1 bis 3 deutlich weniger ausgeprägt. Dies lässt sich dadurch begründen, dass mit zunehmender Automation seltener jene gefährlichen Verkehrssituationen entstehen, in denen der Notbremsassistent eingreifen würde.

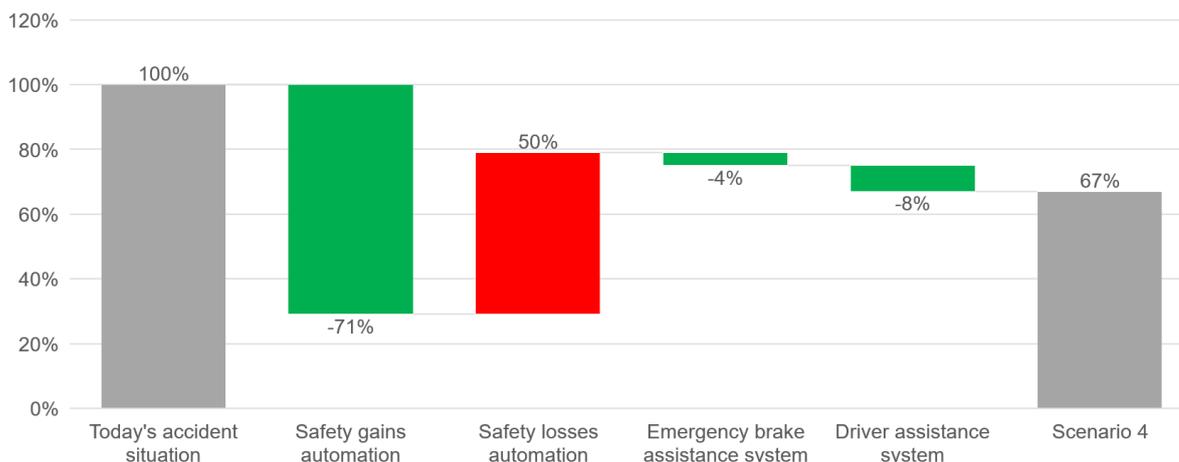


Abbildung 7: Prozentuale Änderung des Unfallgeschehens im Szenario 4 differenziert nach Sicherheitsgewinn (grün) und Sicherheitsverlust (rot).

6. Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

6.1 Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Analyse der Sicherheitsgewinne und -verluste zeigen, dass sich grundsätzlich das automatisierte Fahren positiv auf die Strassenverkehrssicherheit auswirken kann und die Anzahl Unfälle zu reduzieren vermag.

Einzige Ausnahme dieser übergeordneten Schlussfolgerung sind Zukunftsszenarien, in denen ein besonders hoher Anteil an teilautomatisierten Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 3 vorhanden ist. Neue Gefährdungsbilder, die mit der Nutzung von Fahrzeugen dieser Automatisierungsstufe verbunden sind, können zu einer Überkompensation der Sicherheitsgewinne durch Automation und Assistenzsysteme führen – und somit sogar zu einer Zunahme des erwarteten Unfallgeschehens.

Zusammenfassend können bezüglich der Sicherheitsgewinne folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Die positive Wirkung des automatisierten Fahrens auf die Strassenverkehrssicherheit nimmt mit zunehmender Automatisierung in der Tendenz zu.
- Die rein durch automatisierte Fahrfunktionen erzielten Sicherheitsgewinne zeigen ihre positive Wirkung insbesondere in den Wirkungsfeldern 1 bis 4.
- Mit Zunahme des Automatisierungsgrades übersteigen die Sicherheitsgewinne durch das automatisierte Fahren diejenigen, die sich durch die Notbremsassistenzsysteme und anderen Fahrerassistenzsysteme ergeben.
- Notbremsassistenzsysteme leisten insbesondere in den «tieferen» Automatisierungsstufen einen entscheidenden Beitrag für die Erhöhung der Verkehrssicherheit.

- Die Bedeutung anderer Fahrerassistenzsysteme ist insbesondere für Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 3 relevant, weil dadurch deren negative Wirkung auf das Unfallgeschehen (Übernahmeproblematik) in Teilen reduziert werden kann.

Die Ergebnisse zeigen weiter, dass mit zunehmender Automation im Strassenverkehr auch neue Gefährdungsbilder zu erwarten sind, die in der Summe zu einem Sicherheitsverlust führen können. Zusammenfassend sind bezüglich der Sicherheitsverluste die folgenden Erkenntnisse festzuhalten:

- Die Automatisierungsstufe 3 trägt am stärksten zum Sicherheitsverlust bei. In dieser Stufe übersteigt der erwartete Sicherheitsverlust den entsprechenden Sicherheitsgewinn. Die Hauptursache für diese im Sinne der Verkehrssicherheit negative Wirkung liegt in den neuen Gefährdungsbildern «Übernahmeproblematik und Beanspruchung» sowie «Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems».
- Doch auch in den niedrigeren Automatisierungsstufen 1 und 2 bestimmt das neue Gefährdungsbild «Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems» massgeblich den abgeschätzten Sicherheitsverlust.
- In den Automatisierungsstufen 4 und 5 ist es vor allem das neue Gefährdungsbild «Mischverkehr», das den Sicherheitsverlust massgeblich verstärkt. Einen zusätzlichen Beitrag zum insgesamt beachtlichen Sicherheitsverlust aufgrund neuer Gefährdungsbilder leisten aber auch die technikbedingten Gefährdungsbilder wie z.B. «Hacking».

6.2 Schlussfolgerungen

Abbildung 8 zeigt eine zusammenfassende Abschätzung, wie sich die Bedeutung der Unfall-Hauptursachen mit Zunahme der Automatisierung im Strassenverkehr verschieben könnte. Heute wird das Unfallgeschehen in der Schweiz zu ca. 93% durch fahrzeugführerbedingte Unfallursachen, zu 5% durch umweltbedingte und zu 2% durch fahrzeugbedingte Unfallursachen bestimmt. Dies Aussage deckt sich zum Beispiel auch mit Untersuchungen aus den USA [NHTSA, 2015].

Mit zunehmender Automatisierung ist zu erwarten, dass die fahrzeug- und umweltbedingten Unfallursachen an Bedeutung gewinnen werden. Das System Verkehrssicherheit wird zunehmend durch eine Verlagerung der Haupteinflussfaktoren – weg vom Fahrer – hin zum Fahrzeug und zur Umwelt geprägt:

Die drei Kategorien beinhalten beispielsweise Unfall-Hauptursachen wie:

- Kategorie «fahrzeugführerbedingt»: Zustand des Lenkers, mangelhafte Bedienung des Fahrzeuges, Unaufmerksamkeit, Überholen,
- Kategorie «fahrzeugbedingt»: Mangelhafter Unterhalt des Fahrzeuges, technische Defekte des Fahrzeuges,
- Kategorie «umweltbedingt»: Momentan äusserer Einfluss wie Aquaplaning, Nebel oder Hindernis auf Fahrbahn.

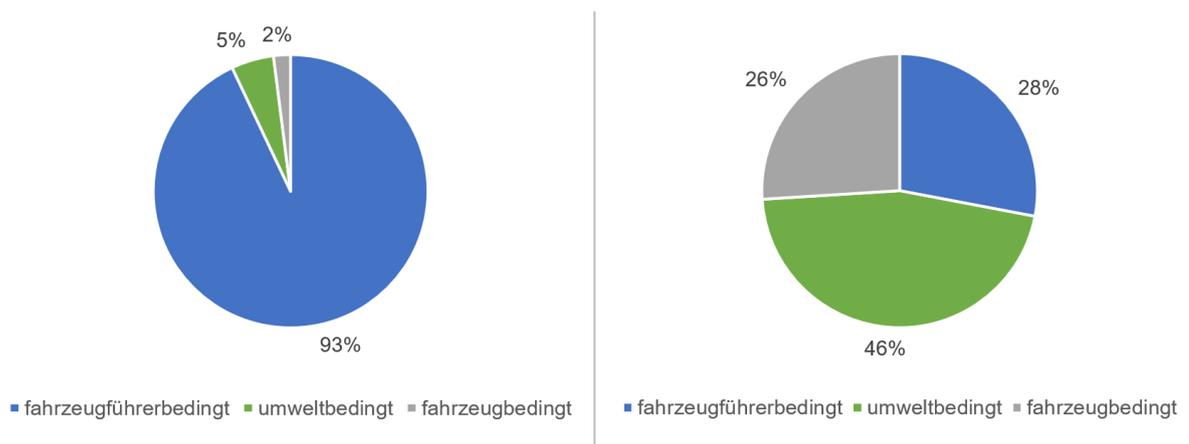


Abbildung 8: Prozentualer Anteil der Unfall-Hauptursachen am Gesamtunfallgeschehen im Ist-Zustand (links) und im Szenario 4 (rechts).

Bei der Interpretation des rechten Diagrammes der Abbildung 8 (Szenario 4) gilt es zu berücksichtigen, dass die zusätzlichen Unfälle, die durch das neue Gefährdungsbild «Mischverkehr» erwartet werden, den umweltbedingten Unfallursachen zugeordnet sind.

7. Handlungs- und Forschungsbedarf

Aus einer übergeordneten Perspektive lässt sich aus der vorhergehenden Abbildung 8 ableiten, dass sich zukünftige Handlungsfelder des Verkehrssicherheitsmanagements stärker an Massnahmen zur Reduktion von fahrzeug- und umweltbedingten Unfallursachen orientieren sollten.

Insbesondere auf Grundlage der in Kapitel 4.4 durchgeführten Identifikation und Wirkungsanalyse von neuen Gefährdungsbildern, die durch eine zunehmende Automatisierung des Strassenverkehrs hervorgerufen werden, leitet sich der folgende Handlungsbedarf ab.

Handlungsbedarf kurzfristig

Mit einer eher kurzfristigen Perspektive wird ein Handlungsbedarf für Unfallursachen besonders im Zusammenhang mit der Nutzung und Verbreitung von Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 1 und 2 sowie 3 gesehen. Der Handlungsbedarf besteht

- im Erarbeiten und Aufzeigen von Lösungen zum Umgang mit der bestehenden Übernahmeproblematik und den damit verbundenen besonderen Beanspruchungen durch die Fahrzeuglenkenden (unerwartete Übernahme in Extremsituationen) sowie zum Umgang mit dem Gefährdungsbild.
- in einer Förderung des Bewusstseins der Fahrzeuglenkenden hinsichtlich der mit dem automatisierten Fahren verbundenen Risiken und neuen Gefährdungsbildern, wie z.B. «Fehlendes Situations- und Systembewusstsein, Missbrauch des Systems».

Handlungsbedarf mittel- bis langfristig

Auf einer eher mittel- bis langfristigen Zeitskala wird der Handlungsbedarf vor allem bei regulativen und politischen Weichenstellungen gesehen. Dies beinhaltet Fragen zu den zwingenden Anforderungen und Voraussetzungen an die zur Diskussion stehenden Fahrzeuge, aber auch zur Verfügbarkeit der erforderlichen Infrastruktur und Gewährleistung der Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden und der Datenströme.

Um wie im oben dargestellten Szenario 3 die Inverkehrsetzung und Zulassung von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 4 und 5 auf dem Schweizer Strassennetz zu ermöglichen, wird Handlungsbedarf in folgende Richtungen gesehen:

- Gewährleistung eines möglichst risikoarmen Nebeneinanders von verschiedenen Verkehrsformen und Automatisierungsstufen. Die Resultate des vorliegenden Berichts zeigen, dass mit zunehmendem Anteil von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen am Flottenmix ganz besonders der Mischverkehr als neues Gefährdungsbild in Erscheinung tritt und einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheitsverluste ausübt.
- Ebenfalls einhergehend mit dem neuen Gefährdungsbild «Mischverkehr» drängt sich der Bedarf nach Lösungen für eine intuitions-kompatible Kommunikationsform z.B. zwischen Fussgängern und vollautomatisierten Fahrzeugen auf: Wie kommuniziert beispielsweise das vollautomatisierte Fahrzeug dem Fussgänger, dass es ihn über die Strasse lässt?
- Dass Mischverkehr eine wichtige zu lösende Fragestellung im Kontext des automatisierten Fahrens ist, wurde auch durch vorhergehende Forschungsarbeiten des ASTRA erkannt [ASTRA, 2017]. Es wird empfohlen, das Thema in kommenden Forschungsausschreibungen aufzugreifen und Lösungsansätze zu erarbeiten. Es gilt dabei gemäss [Riederer, 2016] zu berücksichtigen, dass die durch den Mischverkehr bedingten Herausforderungen nur teilweise mittels Technologie in mit kooperativen Systemen ausgerüsteten Fahrzeugen aufgefangen werden können. Zusätzlich gilt es alle Verkehrsteilnehmenden umfassend über die Stärken und Schwächen von solchen kooperativen Systemen zu informieren oder sogar auszubilden.
- Mit zunehmendem Automatisierungsgrad wird auch ein zunehmender Anteil der Fahraufgaben durch eine Software gesteuert. Je nach Automatisierungsstufe bis zu 100%. Es liegt auf der Hand, dass solche Systeme hinsichtlich eines externen Eingriffs in die Fahrzeugsteuerung stark gefährdet sind. Auch sind Angriffe auf zentrale Rechenzentren, die mit privaten oder markenabhängige Fahrzeugverbände kommunizieren denkbar. Es besteht ein ausgeprägter Handlungs-, Forschungs- und auch regulativer Kontrollbedarf, um die Risiken durch dieses Gefährdungsbild («Hacking») zu minimieren.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass durch Fahrerassistenzsysteme – insbesondere durch jene, die die Aufmerksamkeit des Fahrers überwachen oder den Fahrer bei der Übernahme der Fahrzeugsteuerung unterstützen – als positives Gegengewicht zu den negativen Wirkungen der neuen Gefährdungsbilder verstanden werden können. Es wird daher

empfohlen, die Weiterentwicklung solche Fahrerassistenzsysteme parallel zu den technischen – eher komfortbezogenen (weniger sicherheitsbezogenen) Entwicklungen in der Automatisierung der Fahrzeuge voranzutreiben. Beispielhaft könnte dies durch ein Obligatorium für Neuzulassungen erzwungen werden und würde bedeuten, dass Fahrzeuge der kritischen Automatisierungsstufen (insbesondere Stufe 3) nur dann zugelassen werden, wenn sie mit den entsprechenden risikomindernden Fahrerassistenzsystemen ausgestattet sind.

Welche weiteren Fahrerassistenzsysteme oder regulatorische Vorgaben erforderlich sind, um die mit dem automatisierten Fahren erwarteten Sicherheitsverluste zu reduzieren, wird im vorliegenden Projekt nicht weiter untersucht, sollte aber in zukünftigen Forschungsfragen geklärt werden.

Risiken des automatisierten Fahrens infolge der Gefährdungsbilder «Technische Mängel» und «Manipuliertes System (Hacking)» können in diesem Forschungsprojekt ebenfalls nicht abschliessend abgeschätzt werden. Weil diese neuen Gefährdungsbilder jedoch für die zukünftige Entwicklung des Unfallgeschehens zunehmende Relevanz erhalten (siehe Abbildung 8), werden weitergehende Untersuchungen zu diesen Themen empfohlen.

Weiter lässt sich aufgrund der Projektergebnisse und der Diskussionen mit der Begleitgruppe (vgl. Impressum) der folgende Forschungsbedarf für die Schweiz ableiten:

— Ergänzung der Analyse der Auswirkungen aufs Unfallgeschehen:

- Berücksichtigung der erwarteten Änderung der Schweregrade der Unfälle mit Differenzierung in leicht, schwer und tödliche Verletzungen.
- Berücksichtigung möglicher Entwicklungen der Mobilität, die sowohl die Mobilitätsbedürfnisse als auch die denkbaren Angebotsformen verändern werden.
- Abschätzung der volkswirtschaftlichen Konsequenzen aus einem zukünftig veränderten und nach Schweregraden differenzierten Unfallgeschehen.
- Entwickeln ergänzender Szenarien, die die bestehenden Unsicherheiten zur Entwicklung der Automatisierungsstufe 3 noch differenzierter berücksichtigen: Zurzeit finden auf Ebene EU wie auch in der Schweiz Diskussionen zu möglichen Szenarien statt. Dabei wird insbesondere auch die Automatisierungsstufe 3 diskutiert. Es ist denkbar, dass diese Automatisierungsstufe «nicht gefördert» und damit «übersprungen» wird bzw. einem sehr geringen Anteil an der gesamten Fahrzeugflotte zukünftig ausmachen wird.

— Vertiefende Untersuchung der neuen Gefährdungsbilder sowie Analyse der dadurch zu erwarteten Unfalltypen. Damit verbunden ist die Ableitung geeigneter Massnahmen, um auffällig häufigen oder neuen Unfalltypen entsprechend entgegenzuwirken.

— Evaluation und Priorisierung von erforderlichen und geeigneten Massnahmen zur Reduktion der erwarteten Sicherheitsverluste, die sich durch die

neuen Gefährdungsbilder beim automatisierten Fahren ergeben. Abklären, welche Massnahmen eine aktive Steuerung, z.B. durch die Bewilligungsbehörde zur Inverkehrsetzung erfordern und zu welchem Zeitpunkt eine solche vorzunehmen ist.

- Prüfung der Kosten-Wirksamkeit von Massnahmen durch eine Gegenüberstellung der volkswirtschaftlichen Kostenersparnisse durch eine Reduktion des Unfallgeschehens mit den Kosten für die dafür erforderlichen Massnahmen.
- Definition des kritischen Sicherheitsniveaus, das aus Sicht des Bundes durch den Stand der Technik nachweislich erreicht werden muss, damit z.B. eine Entlastung des Lenkers zugelassen wird. Z.B. Festlegung einer minimalen Übernahmezeit für die Zulassung von Fahrzeugen auf Automatisierungsstufe 3.
- Über alle Bereiche der 4E¹¹ der Unfallprävention sollte eine umfassende Auslegeordnung und Beurteilung von Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Kontext des automatisierten Fahrens geprüft werden.

11 In der Strassenverkehrssicherheit werden die Handlungsoptionen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit häufig den 4 Handlungsfeldern Engineering, Education, Enforcement und Economy zugeordnet. Das bedeutet, dass Massnahmen über alle Bereiche, von der Gestaltung der Infrastruktur und Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik (Engineering), bis zur Sensibilisierung der Verkehrsteilnehmer hinsichtlich der Risiken im Kontext des automatisierten Fahrens (Education) und zur polizeilichen Überwachung der gesetzlichen Vorgaben + Normung (Enforcement) sowie finanziellen Anreizsystemen für die Mobilitätsnutzer (Economy) zu prüfen sind.