
Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte

Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit



Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte

Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit

Von

Sven Altenburg
Hans-Paul Kienzler
Alex Auf der Maur

Im Auftrag des

ADAC e. V.

Abschlussdatum

August 2018

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie - unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft - durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 150 Experten ist das Unternehmen an acht Standorten vertreten: Basel, Berlin, Düsseldorf, Bremen, München, Stuttgart, Freiburg und Brüssel. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

Berlin HRB 87447 B

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

DE 122787052

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Gründungsjahr

1959

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 5170 46-510
Fax: +49 421 5170 46-528

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 23
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Fax: +32 280 89 - 947

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Schwanenmarkt 21
40213 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

info@prognos.com | www.prognos.com | www.twitter.com/prognos_ag

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund der Studie	- 1 -
2	Methodischer Ansatz	- 3 -
3	Heutiger Pkw-Bestand	- 5 -
3.1	Status Quo-Analyse	- 5 -
3.2	Bestandsentwicklung	- 7 -
4	Pkw-Prognose bis 2050	- 9 -
5	Markthochlauf der Funktionen	- 13 -
6	Bestandsdurchdringung bis 2050	- 16 -
6.1	Bestandsdurchdringung nach Automatisierungsfunktion	- 16 -
6.2	Bestandsdurchdringung nach Automatisierung je Straßentyp	- 22 -
7	Differenzierte Fahrleistungsprognose bis 2050	- 30 -
7.1	Rahmenprognose	- 30 -
7.2	Fahrleistungen nach Automatisierungsgrad	- 32 -
7.3	Automatisierte Fahrleistungen nach Straßentyp	- 33 -
8	Effekte auf die Verkehrssicherheit bis 2050	- 40 -
8.1	Expost-Analyse zur Verkehrssicherheit	- 40 -
8.2	Fortschreibung der Unfallindikatoren ohne Automatisierung	- 42 -
8.3	Zusätzlicher Sicherheitseffekt der Automatisierung	- 43 -
9	Schlussbetrachtung	- 47 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rahmenannahmen zur Prognose 2050	- 11 -
Tabelle 2: Durchdringung im Gesamtbestand: Pessimistisches Szenario	- 21 -
Tabelle 3: Durchdringung im Gesamtbestand: Optimistisches Szenario	- 21 -
Tabelle 4: Automatisierungspotentiale der drei Technologien	- 23 -
Tabelle 5: Anteil der automatisiert erbrachten Fahrleistung 2050: Pessimistisches Szenario	- 39 -
Tabelle 6: Anteil der automatisiert erbrachten Fahrleistung 2050: Optimistisches Szenario	- 39 -
Tabelle 7: Entwicklung der Unfallindikatoren 2008-2017	- 40 -
Tabelle 8: Entwicklung der Unfallindikatoren bis 2050 ohne Automatisierungsfunktionen	- 42 -
Tabelle 9: Kumulierte Sicherheitseffekte 2020 bis 2050 in den Szenarien	- 46 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hemmnisse bei der Einführung des automatisierten Fahrens	- 1 -
Abbildung 2: Methodisches Grundkonzept	- 3 -
Abbildung 3: Bestand 2018 nach KBA-Segmenten	- 5 -
Abbildung 4: Zusammensetzung der vier Segmente	- 6 -
Abbildung 5: Bestand 2018 nach eigenen Segmenten	- 6 -
Abbildung 6: Fahrleistung 2017 nach eigenen Segmenten	- 7 -
Abbildung 7: Bestandsentwicklung nach eigenen Segmenten	- 8 -
Abbildung 8: Entwicklung der Neuzulassungen nach eigenen Segmenten	- 8 -
Abbildung 9: Entwicklung des Pkw-Bestands 2008 bis 2017	- 9 -
Abbildung 10: Bestandsprognose 2050 nach eigenen Segmenten	- 11 -
Abbildung 11: Entwicklung des Pkw-Durchschnittsalters in Jahren	- 12 -
Abbildung 12: Anteil Autobahn-pilot an den Neuzulassungen nach Segmenten	- 13 -
Abbildung 13: Anteil City-Pilot an den Neuzulassungen nach Segmenten	- 14 -
Abbildung 14: Anteil Tür-zu-Tür-Pilot an den Neuzulassungen nach Segmenten	- 14 -
Abbildung 15: Anteil der Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen an den Neuzulassungen	- 15 -
Abbildung 16: Grundlegender Aufbau des Prognos-Kohortenmodells	- 16 -
Abbildung 17: Bestandsdurchdringung bis 2050: Innovationstreiber	- 17 -
Abbildung 18: Bestandsdurchdringung bis 2050: Frühe Mehrheit	- 18 -
Abbildung 19: Bestandsdurchdringung bis 2050: Späte Mehrheit	- 19 -
Abbildung 20: Bestandsdurchdringung bis 2050: Nachzügler	- 20 -
Abbildung 21: Bestandsdurchdringung bis 2050: Gesamtbestand	- 22 -
Abbildung 22: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion auf Autobahnen: Pessimistisches Szenario	- 24 -
Abbildung 23: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion auf Autobahnen: Optimistisches Szenario	- 25 -

Abbildung 24: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion innerorts: Pessimistisches Szenario	- 26 -
Abbildung 25: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion innerorts: Optimistisches Szenario	- 27 -
Abbildung 26: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion im Gesamtnetz: Pessimistisches Szenario	- 28 -
Abbildung 27: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion im Gesamtnetz: Optimistisches Szenario	- 29 -
Abbildung 28: Entwicklung der (Inländer)-Fahrleistung bis 2050	- 30 -
Abbildung 29: Anteile der Straßentypen an der Gesamtfahrleistung	- 31 -
Abbildung 30: Fahrleistungen nach Automatisierung bis 2050: Pessimistisches Szenario	- 32 -
Abbildung 31: Fahrleistungen nach Automatisierung bis 2050: Optimistisches Szenario	- 33 -
Abbildung 32: Automatisierungspotentiale der Technologien	- 34 -
Abbildung 33: Theoretisch automatisierbare Fahrleistungen nach Straßentypen: Pessimistisches Szenario	- 35 -
Abbildung 34: Theoretisch automatisierbare Fahrleistungen nach Straßentypen: Optimistisches Szenario	- 36 -
Abbildung 35: Angenommene Einsatzintensitäten der Technologien bis 2050	- 37 -
Abbildung 36: Fahrleistung 2050 nach Straßentyp und Automatisierung: Pessimistisches Szenario	- 38 -
Abbildung 37: Fahrleistung 2050 nach Straßentyp und Automatisierung: Optimistisches Szenario	- 38 -
Abbildung 38: Verteilung der Unfallindikatoren nach Straßentyp (Mittelwerte 2008-2017)	- 41 -
Abbildung 39: Entwicklung der Unfallindikatoren bis 2050 ohne Automatisierungsfunktionen, indiziert auf 2017 = 100	- 43 -
Abbildung 40: Entwicklung der Unfälle mit Sachschäden mit und ohne Automatisierung	- 44 -
Abbildung 41: Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden mit und ohne Automatisierung	- 44 -
Abbildung 42: Entwicklung der Verletzten mit und ohne Automatisierung	- 45 -
Abbildung 43: Entwicklung der Getöteten mit und ohne Automatisierung	- 45 -

Literaturverzeichnis

BCG und Prognos (2018): Klimapfade für Deutschland

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Bericht 2017

CosmosDirekt (2018): Faktencheck Autonomes Fahren: Was die Deutschen über die neue Technik denken

Follmer, R. et al. (2013): Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen

Kraftfahrtbundesamt (2018): Durchschnittsalter der Personenkraftwagen wächst.
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/2018_b_kurzbericht_fz_alter_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Shell (2014): Pkw-Szenarien bis 2040: Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität

Statistisches Bundesamt (2018): Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2017

Vorwort ADAC

Automatisierung und fahrerlose Fahrzeuge werden den Straßenverkehr tiefgreifend verändern. Diese Entwicklung ist weniger eine Frage des „ob“, als vielmehr des „wie“. Viele können heute individuellen oder öffentlichen Straßenverkehr zeitweise oder regelmäßig nicht nutzen. Automatisierung eröffnet hier neue Mobilitätsoptionen. Stadt und Land können so lebenswerter, der Verkehr effizienter, für die Menschen komfortabler und vor allem sicherer werden.

Unsicherheit herrscht, wie schnell die Veränderungen sich einstellen werden. In der grafischen Umsetzung von Visionen heutiger Technik-Pioniere werden regelmäßig futuristische Innenstädte gezeigt, in denen nur wenige fahrerlose Fahrzeuge auf fast leeren Straßen dahingleiten. Schon bald, so der Eindruck, werde die Technologie dafür überall genutzt, selbst gesteuerte Pkw und der Erwerb des Führerscheins hingegen überflüssig.

Offen bleibt dabei, welcher Weg von der heutigen Situation mit 46 Mio. manuell gesteuerten Pkw in Deutschland in diese neue mobile Welt führen soll. Wie schnell setzen sich neue Systeme in der Flotte durch? Wie lange wird die Phase des Nebeneinanders von Fahrzeugen mit und ohne Fahrer sein? Darauf geben Visionen in der Regel keine Antworten. Für das Verkehrssystem ist die Frage aber sehr relevant.

Für den ADAC war dies Anlass, eine Abschätzung der Entwicklung bis 2050 vornehmen zu lassen und wesentliche Sachverhalte zu vertiefen. Bis wann stehen welche Automatisierungsfunktionen voraussichtlich zur Verfügung? Wie schnell könnten sie sich in bestimmten Fahrzeugkategorien realistisch verbreiten? In welchem Umfang könnte zukünftig automatisiert gefahren werden und welche Potenziale für die Verkehrssicherheit ergeben sich dadurch?

Die Prognos AG hat jahrzehntelange Erfahrung in der Modellierung der Pkw-Flotte. Sie hat sehr interessante Ergebnisse ermittelt, die u. a. verdeutlichen, dass wir eine lange Phase des Mischverkehrs haben werden. Ich wünsche Ihnen viele weitere neue Erkenntnisse bei der Lektüre.

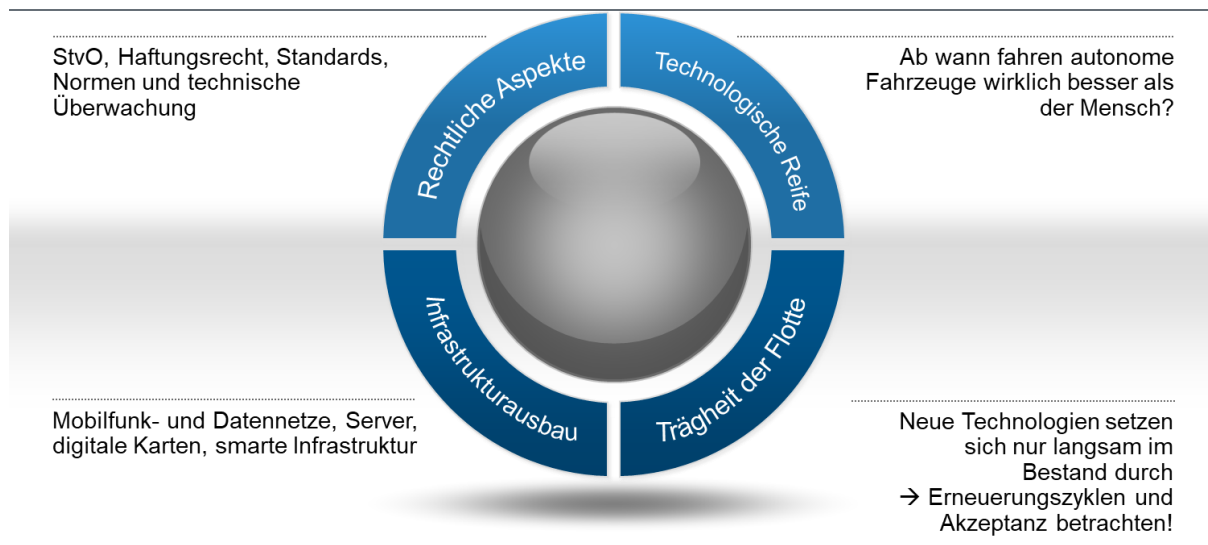
München, im Oktober 2018

Ulrich Klaus Becker
ADAC Vizepräsident für Verkehr

1 Hintergrund der Studie

Automatisiertes oder gar autonomes Fahren sind die Technologien, die im Verkehrsbereich aktuell in besonders hohem Maße Gegenstand von Zukunftsbildern und Diskussionen sind. Die Aussicht auf uneingeschränkt für andere Aktivitäten nutzbare Fahrzeit, ein wesentlicher Beitrag zur Verkehrssicherheit und mögliche positive Effekte auf den Verkehrsfluss verleihen ihnen eine Faszination, die sowohl auf Hersteller- als auch auf Nutzerseite ein ausgesprochen hohes Interesse erzeugt. Dieses Interesse zeigt sich auch in der Vielzahl von Veröffentlichungen und Artikeln zum Thema nicht nur in der Fachpresse, sondern auch in den Massenmedien. Der mögliche Zeitpunkt, ab dem hoch automatisierte Fahrzeuge verfügbar sein werden, wird dort zum Teil ausgesprochen optimistisch diskutiert. Dabei wird die Komplexität dieser Frage oftmals sehr verkürzt dargestellt, denn seriöse Aussagen dazu sind nur unter Beachtung diverser Rahmenannahmen möglich (vgl. Abb. 1).

Abbildung 1: Hemmnisse bei der Einführung des automatisierten Fahrens



© Prognos AG 2018

- Nach aktueller **Rechtslage** (insbesondere StVO) sind hohe Automatisierungsstufen derzeit gesetzlich untersagt. Bis wann diese legislative Grundvoraussetzung (auch international im Wiener Übereinkommen) geschaffen werden kann, ist unklar
- Weitere für den Alltagsbetrieb wichtige **Konventionen** (Haftungsrecht, Normung, technische Überwachung) existieren bislang allenfalls in Ansätzen und werden im Rahmen von Forschungsprojekten thematisiert. Auch hier stehen noch substantielle ungeklärte Fragen einem Massenmarkt entgegen
- Die **technologische Reife** von Fahrfunktionen der höchsten Automatisierungsgrade ist Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Diskussionen. Auch wenn die enorme technologische Ent-

wicklung insbesondere im Bereich der Fahrerassistenzsysteme außer Frage steht, so bestehen heute noch erhebliche Unsicherheiten, ab wann sich Fahrzeuge alleine auch in hoch komplexen Umfeldern wie urbanen Räumen bewegen werden können. Die Ethikkommission automatisiertes und vernetztes Fahren¹ hat dazu formuliert: "Die Zulassung von automatisierten Systemen ist nur vertretbar, wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zumindest eine Verminderung von Schäden im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht." Es ist noch unklar, ab wann automatisierte Fahrzeuge diesem Anspruch gerade auch im Mischverkehr mit menschlichen Akteuren gerecht werden können.

- Abhängig von der sensorischen Ausstattung der Fahrzeuge sind autonome Fahrzeuge auf vernetzte **Infrastruktur** (z.B. smarte Ampeln und Verkehrsschilder) und/oder auf hochgradig detaillierte digitale Karten angewiesen, zu deren zügiger und lückenloser Übertragung hochwertige Breitbandnetze unerlässlich sind. Es stellt sich daher auch die Frage, wie schnell die benötigte Infrastruktur für hohe Automatisierungsgrade flächendeckend bereitgestellt werden kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Diffusion neuer Technologien bei Fahrzeugen ist die hohe **Persistenz** und damit die "Trägheit" des Bestands. Fahrzeuge binden hohe Kapitalbeträge und stellen insbesondere bei privaten Haushalten langfristige Investitionen dar: Laut KBA beträgt das Durchschnittsalter der Fahrzeuge in Deutschland derzeit 9,3 Jahre.² Erfahrungen mit früheren technologischen Entwicklungen (z.B. ABS und ESP) zeigen, dass diese nur allmählich in den Bestand "einsickern", wenn alte Fahrzeuge sukzessive durch neue ersetzt werden, die mit der betreffenden Technologie ausgestattet sind. Da diese Erneuerungszyklen recht lang sind, kann sich eine neue Technologie grundsätzlich nur sehr verzögert im Bestand durchsetzen. Entscheidend ist dabei, welcher Anteil der Neuzulassungen über diese Technologie verfügt.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel dieses Projekts, die Trägheit des Pkw-Bestands gezielt zu analysieren und diese in zwei Szenarien zum Markthochlauf automatisierter Fahrfunktionen bis 2050 in angemessener Weise zu berücksichtigen. Aufbauend auf den so hergeleiteten künftigen Fahrzeugbeständen sollen Kennzahlen zur Fahrleistung dieser Fahrzeuge sowie deren Beitrag zur Verkehrssicherheit abgebildet werden.

Im Wesentlichen beschäftigt sich die Studie mit zwei Kernfragen:

- Mit welcher Geschwindigkeit werden sich drei definierte Automatisierungsgrade im Pkw-Bestand bis 2050 durchsetzen?
- Welchen Anteil an der Verkehrsleistung werden sie haben und welche Effekte im Unfallgeschehen werden sich dadurch zeigen?

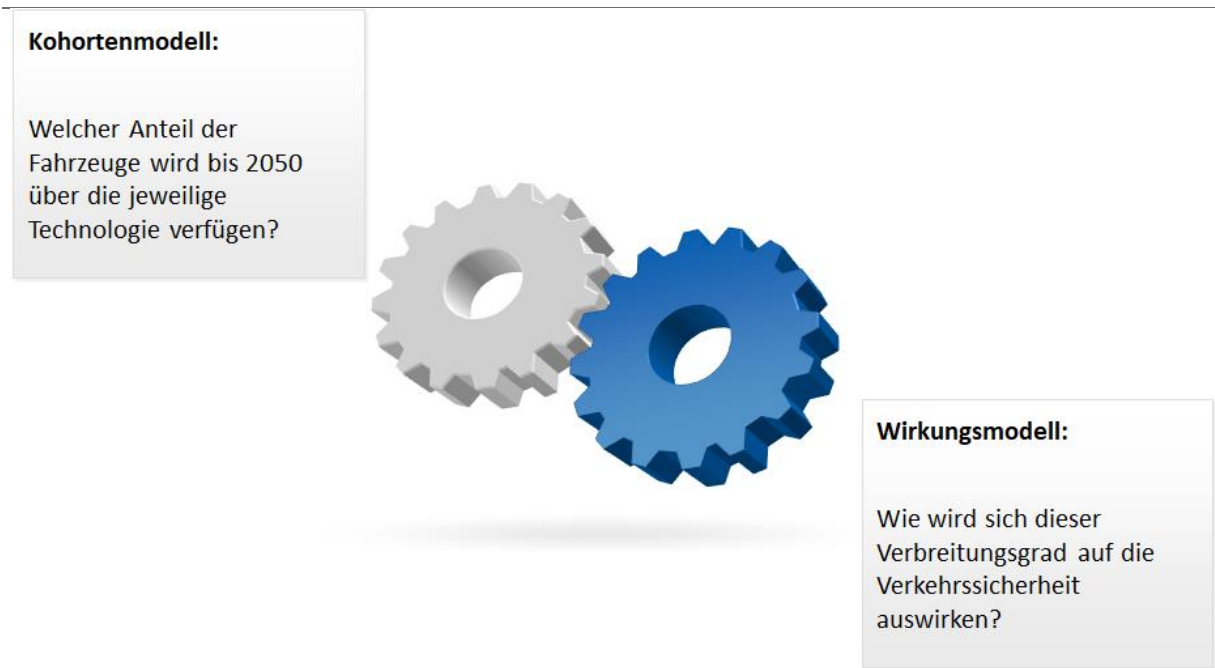
¹ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Bericht 2017. S. 10

² Kraftfahrtbundesamt (2018): Durchschnittsalter der Personenkraftwagen wächst. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugaalter/2018_b_kurzbericht_fz_alter_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3

2 Methodischer Ansatz

Den Kernfragen des Projekts entsprechend wird eine zweistufige Methodik angewandt (vgl. Abb. 2). Dabei greift eine Simulation zur Entwicklung des Pkw-Bestands ("Kohortenmodell") mit einem Wirkungsmodell zur Abschätzung der Effekte auf die Verkehrssicherheit ineinander. Die Verbindung dieser beiden Modelle kann dadurch geleistet werden, dass das Kohortenmodell nicht nur die Anzahl der Fahrzeuge, sondern auch deren Fahrleistung nach Merkmalen und Straßentyp berechnet. Diese Fahrleistungen werden anschließend zur Abbildung der Unfallzahlen herangezogen.

Abbildung 2: Methodisches Grundkonzept



© Prognos AG 2018

Mit Hilfe dieser Methodik sollen drei verschiedene, generische Automatisierungsfunktionen betrachtet werden, die aufeinander aufbauen:

- **Autobahnpiilot:** Der Autobahnpiilot ermöglicht das hochautomatisierte Fahren der Stufe 4 auf allen Autobahnen. Diese Automatisierungsstufe ermöglicht es, dass sich das Fahrzeug auf diesem Straßentyp völlig ohne Überwachung oder gar Eingriff des Fahrers bewegen kann. Beim Verlassen der Autobahn übergibt das Fahrzeug die Steuerung zurück an den menschlichen Fahrer.
- **City-Pilot:** Der City-Pilot kann nicht nur auf Autobahnen, sondern auch im gesamten urbanen Umfeld die Steuerung bis zu einer Geschwindigkeit von 50 km/h übernehmen. Auf Landstraßen, die keine bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen haben und die nicht dem innerörtlichen Tempolimit unterliegen, muss die Fahraufgabe von einem Menschen übernommen werden.
- **Tür-zu-Tür-Pilot:** Diese weitreichendste Automatisierungsfunktion erlaubt es Fahrzeugen, das gesamte Straßennetz ohne Eingriff des Fahrers im automatisierten Modus zu befahren. Auch hier wird die Automatisierung die Stufe 4 umfassen. Stufe 5 und somit das autonome Fahren ohne Menschen an Bord ist nicht vorgesehen.

Diese drei Automatisierungsstufen sollen bzgl. ihrer Bestandsdurchdringung und der Effekte auf die Verkehrssicherheit abgebildet werden. Zielhorizont der Betrachtungen ist das Jahr **2050**. Um die Spannweite der möglichen Diffusionspfade abzudecken, sind dazu zwei Szenarien vorgesehen:

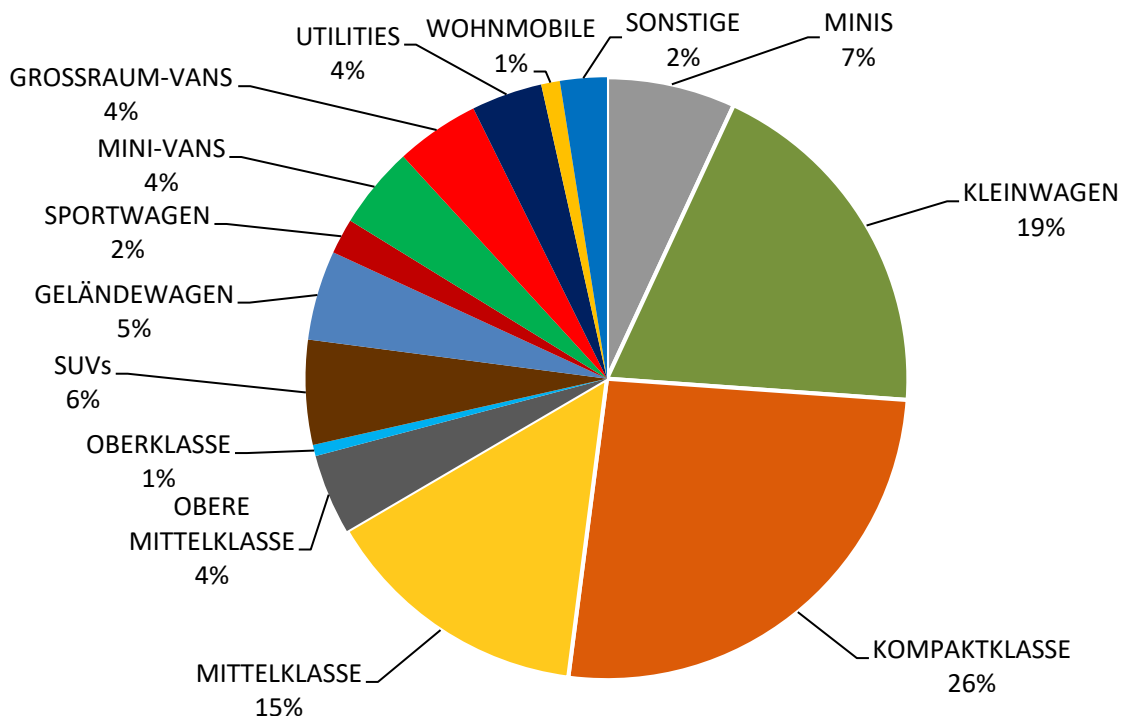
- **Pessimistisch:** Bei Markteinführung der einzelnen Technologien dominieren eindeutig die „frühen Segmente“ und erst deutlich später sind die Technologien im gesamten Markt zu finden. Die Nachfrage beginnt zunächst zögerlich und baut sich in den Folgejahren kontinuierlich auf.
- **Optimistisch:** Das Angebot ist zügiger auch in „späteren Segmenten“ vorhanden. Die Nachfrage wächst schneller an.

3 Heutiger Pkw-Bestand

3.1 Status Quo-Analyse

Ausgangspunkt der Szenarien ist die derzeitige Pkw-Flotte (Stand (01.01.2018)). Das KBA differenziert den aktuellen Bestand von rund 46,5 Mio. Pkw derzeit nach 14 Segmenten:

Abbildung 3: Bestand 2018 nach KBA-Segmenten



© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

Die Fortschreibung von 14 Segmenten bis zum Jahr 2050 ist nicht zielführend. Daher wurden sie zu vier eigenen Segmenten aggregiert. Das Kriterium bei der Clusterung bestand in der Adaptionsgeschwindigkeit neuer Technologien. Untersuchungen zum Verbreitungsgrad bereits verfügbarer Technologien (z.B. ESP oder ACC) weisen deutliche Unterschiede auf, wie weit diese Technologien nach einem gewissen Zeitraum in den einzelnen Segmenten vertreten sind³. Auf Basis dieser Erfahrungen wurden die 14 KBA-Segmente wie folgt zugeteilt:

³ vgl. beispielhaft Follmer, R. et al. (2013): Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen

Abbildung 4: Zusammensetzung der vier Segmente

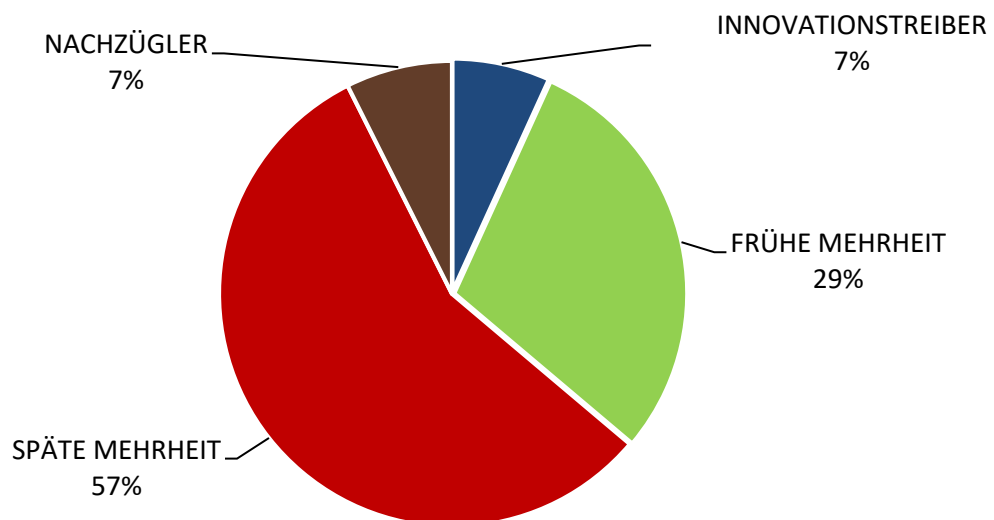
„Innovationstreiber“	„Frühe Mehrheit“	„Späte Mehrheit“	„Nachzügler“
Oberklasse	Mittelklasse	Kompaktklasse	Utilities
Obere Mittelklasse	SUV	Minis	Wohnmobile
Sportwagen	Großraum-Vans	Kleinwagen	Sonstige
	Geländewagen	Mini-Vans	



© Prognos AG 2018

Wird diese Einteilung auf den derzeitigen Bestand angewendet, so ergeben sich folgende Anteile der Segmente am Bestand:

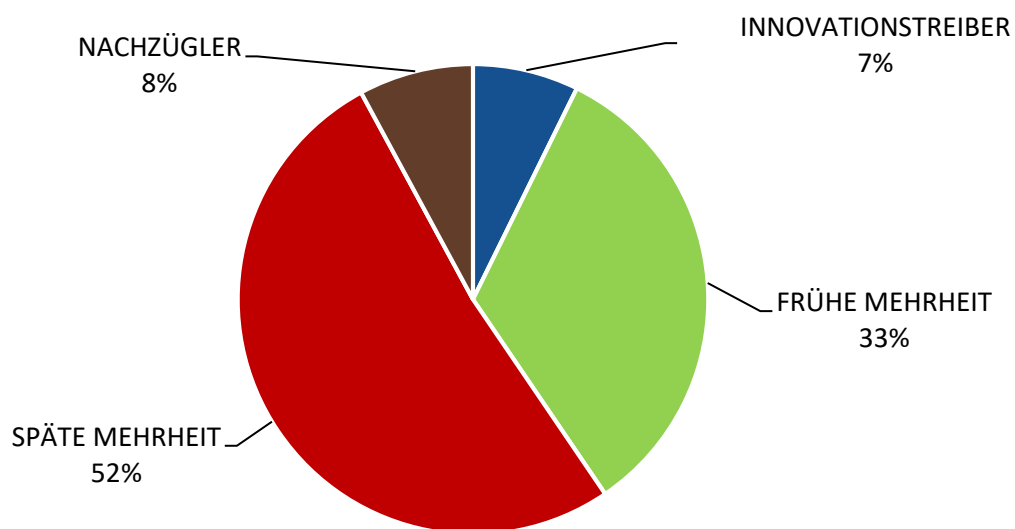
Abbildung 5: Bestand 2018 nach eigenen Segmenten



© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

Für die KBA-Segmente sind auch die durchschnittlichen Fahrleistungen eines Pkw nach Segment verfügbar, die zwischen 9.100 km (Sportwagen) und 20.000 km (Oberklasse) pro Jahr deutlich schwanken⁴. Für die eigenen Segmente wurden diese Mittelwerte ebenfalls gewichtet hergeleitet und auf die Gesamtfahrleistung 2017 hochgerechnet. Aufgrund der hohen Aggregation liegt hier die Spannweite zwischen 12.300 km (Späte Mehrheit) und 15.200 km (Frühe Mehrheit) dichter beieinander. Werden diese Daten zu Grunde gelegt, so lassen sich folgende Anteile der Segmente an der Fahrleistung ermitteln. Die leichten Abweichungen zwischen den Abb. 5 und 6 tragen den unterschiedlichen Fahrleistungen der Segmente Rechnung:

Abbildung 6: Fahrleistung 2017 nach eigenen Segmenten



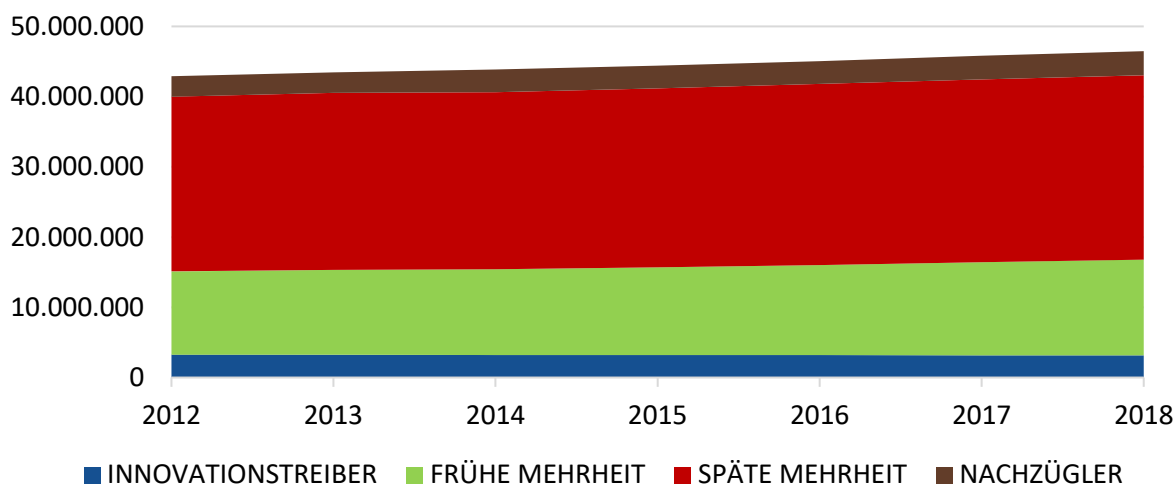
© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

3.2 Bestandsentwicklung

Die Entwicklung der einzelnen Segmente kann in den KBA-Daten nur in einem begrenzten Zeitraum nachvollzogen werden, da im Jahr 2012 durch die Einführung des SUV-Segments die jüngste Modifizierung vorgenommen wurde. Gleichwohl lassen sich aus diesem Zeitraum einige Trends ableiten. Während der Gesamtbestand an Pkw seit 2012 von 42,9 Mio. auf 45,8 Mio. angestiegen ist, hat sich die Bedeutung der Segmente leicht verschoben:

⁴ Fahrleistungserhebung der Bundesanstalt für Straßenwesen 2014

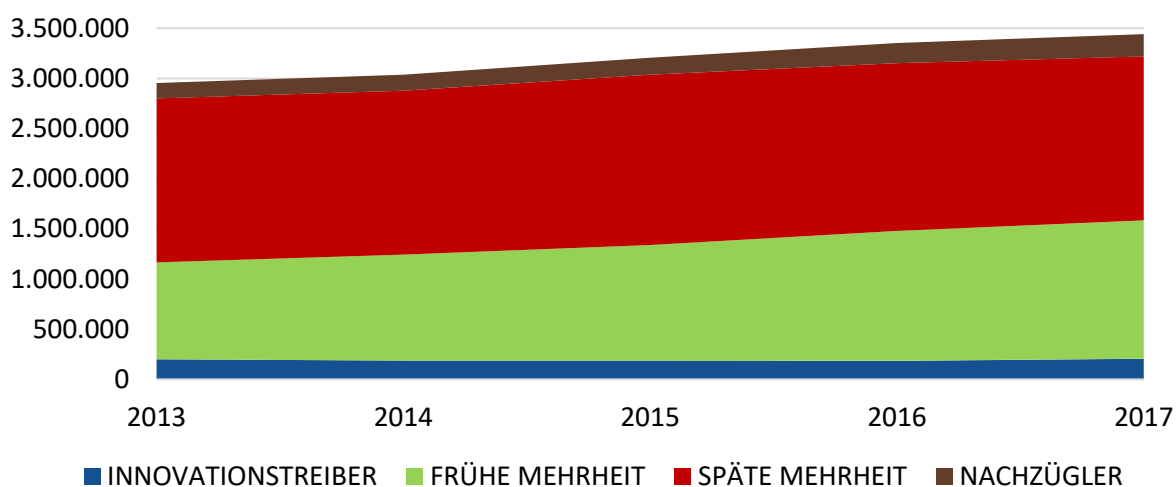
Abbildung 7: Bestandsentwicklung nach eigenen Segmenten



© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

Diese Verschiebungen haben ihre Ursache in unterschiedlichen Dynamiken bei den Neuzulassungen. Während bei der Frühen Mehrheit und den Nachzüglern ein stetiges Wachstum der Neuzulassungen zu verzeichnen ist, herrscht bei der Späten Mehrheit und den Innovationstreibern nahezu Stagnation (vgl. Abb. 8). Dies schlägt sich naturgemäß auch im Bestand nieder: Frühe Mehrheit und Nachzügler zeigten in den letzten Jahren solide Wachstumswahlen von um die 2% p.a. Demgegenüber waren die Innovationstreiber sogar leicht rückläufig (vgl. Abb. 7).

Abbildung 8: Entwicklung der Neuzulassungen nach eigenen Segmenten



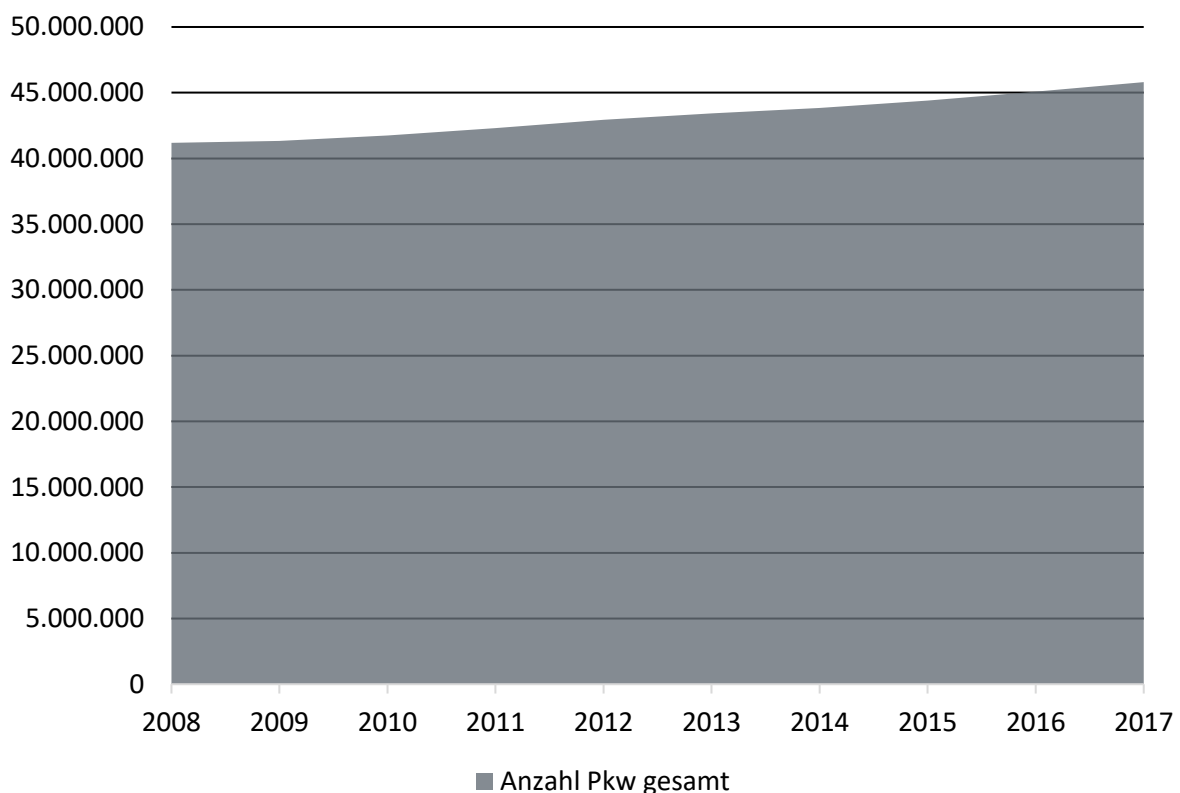
© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

4 Pkw-Prognose bis 2050

Ausgehend von der ex post-Analyse des vorherigen Abschnitts wird im Folgenden der Fahrzeugbestand bis 2050 prognostiziert. Dazu soll zunächst eine Rahmenprognose zum Gesamtbestand erstellt werden, die anschließend auf die Segmente aufgeteilt wird. Ex-Post-Analysen dazu lassen sich anhand der KBA-Daten ohne statistische Brüche seit dem Jahr 2008 betreiben. In diesem Jahr wurde eine methodische Anpassung bei der Erfassung vorgenommen. Dieser methodische Bruch wurde hier im Analysezeitraum ausgeschlossen.

Es zeigt sich, dass der Pkw-Bestand in den letzten 10 Jahren um fast 5 Mio. Fahrzeuge angewachsen ist (vgl. Abb. 9). Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 1,1%, das insbesondere in den letzten 5 Jahren noch einmal etwas angezogen hat.

Abbildung 9: Entwicklung des Pkw-Bestands 2008 bis 2017



© Prognos AG 2018 nach Daten des Kraftfahrtbundesamts

Die Prognos AG hat in den letzten Jahren verschiedene Prognosen zu den Fahrzeugbeständen durchgeführt, u.a. „Shell Pkw Prognose bis 2040“ (2014), „Stand und Perspektiven der Verwertung von Altfahrzeugen“ im Auftrag der Verwertungsindustrie für Altfahrzeuge (2018) und im Rahmen der „Klimapfade für Deutschland“ im Auftrag des BDI (2018). Diese Studien unterscheiden sich untereinander z.T. deutlich bzgl. der Rahmenannahmen (z.B. Bevölkerungsentwicklung, regulatorische Eingriffe, Preisentwicklungen oder Annahme eines „Individuellen Mobilitätswandels“) und zeigen daher auch unterschiedliche mögliche Entwicklungspfade auf, wobei keines dieser Zukunftsbilder bislang die Verfügbarkeit von Automatisierungsfunktionen berücksichtigt hat. Insbesondere in den regelmäßigen Veröffentlichungen von Prognos wird eine vergleichsweise vorsichtige weitere Entwicklung des Fahrzeugbestands angenommen, für den mittelfristig sogar leicht sinkende Fahrzeugzahlen prognostiziert werden. Die Kritik an diesen Prognosen zielt im Wesentlichen darauf, dass von einem „Peak Car“ ausgegangen wird, während der Bestand in den letzten Jahren kontinuierlich weiter gestiegen ist. Die Gegenposition von Prognos ist dazu, dass sich mittelfristig der Bedeutungswandel des privaten Pkw (v.a. bei der jungen und urbanen Bevölkerung) und die Alterung der Gesellschaft auch in geringeren Pkw-Besitzquoten niederschlagen werden. Darüber hinaus zielt die Digitalisierung im Verkehr auf eine verknüpfte, multimodale Nutzung der Mobilitätsangebote (Car-Sharing, ÖPNV, Langsamverkehr), die einen Pkw-Besitz tendenziell weniger attraktiv erscheinen lässt.

Für das vorliegende Projekt ist Prognos von seinen ansonsten eher vorsichtigen Annahmen abgewichen. Dies ist darin begründet, dass die hier betrachteten Automatisierungsfunktionen durchaus als Argument angesehen werden können, dass Autofahren im Mobilitäts-Portfolio der Menschen auch in Zukunft seinen hohen Stellenwert deutlicher behaupten könnte. Diesem Umstand wird durch (leicht) weiter wachsende Bestände bis zum Jahr 2050 Rechnung getragen: wir gehen davon aus, dass sich der Bestand bis 2050 auf 48,9 Mio. Fahrzeuge erhöhen wird. Bis 2020 wird das derzeit beobachtbare Wachstum anhalten, danach wird es sich deutlich abkühlen und der Bestand wird noch um durchschnittlich 0,1% p.a. zunehmen.

Auf Basis dieser Rahmenprognose kann auch die weitere Entwicklung der einzelnen Segmente errechnet werden. Dabei werden folgende Rahmendaten angenommen:

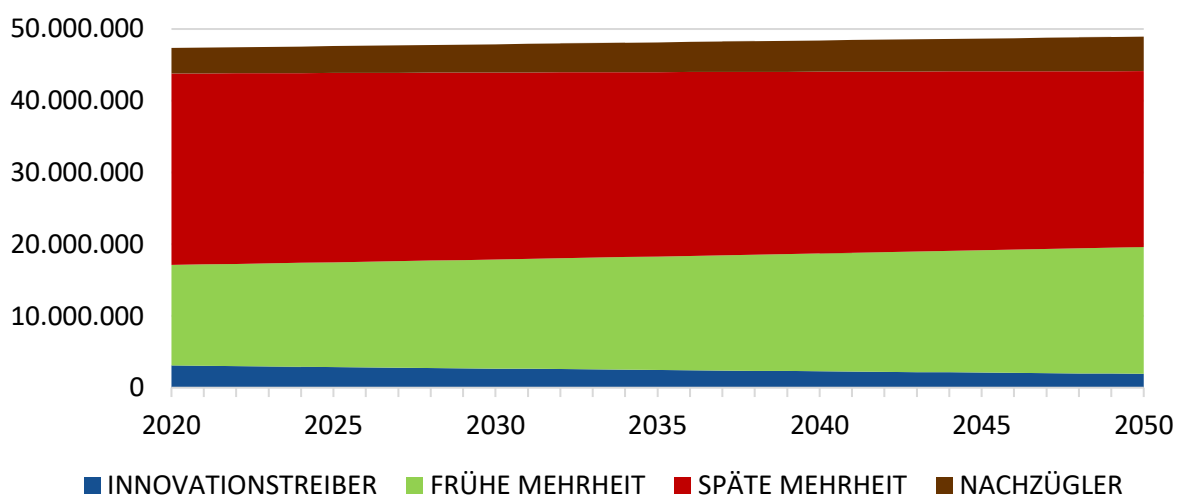
Tabelle 1: Rahmenannahmen zur Prognose 2050

Segment	Bestand 01/2018	Anteil am Bestand 2018	Änderung p.a. 2018-2050	Bestand 2050	Anteil am Bestand 2050
Innovations-treiber	3,2 Mio.	6,8%	-1,5%	1,9 Mio.	4,0%
Frühe Mehrheit	13,6 Mio.	29,4%	+0,8%	17,7 Mio.	36,1%
Späte Mehrheit	26,2 Mio.	56,4%	-0,2%	24,5 Mio.	50,1%
Nachzügler	3,4 Mio.	7,3%	+1,1%	4,8 Mio.	9,8%
Gesamt	46,5 Mio.		+0,2%	48,9 Mio.	

© Prognos AG 2018

Entsprechend wird sich der Bestand nach Segmenten wie folgt entwickeln:

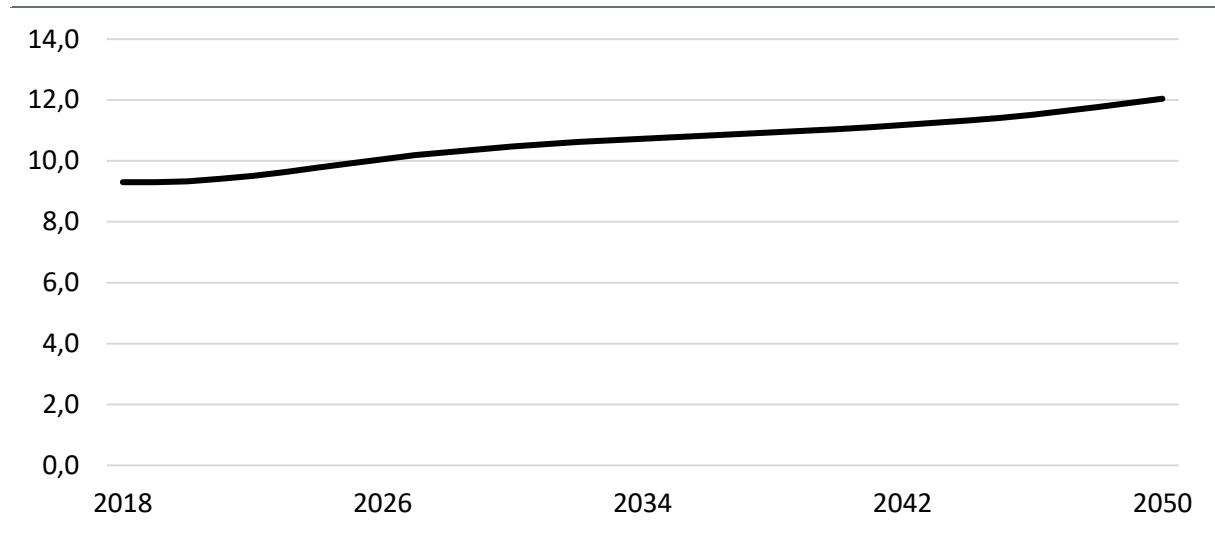
Abbildung 10: Bestandsprognose 2050 nach eigenen Segmenten



© Prognos AG 2018

Der nur noch langsam wachsende Bestand wird sich auch darin zeigen, dass das durchschnittliche Alter der Fahrzeuge bis 2050 deutlich ansteigen wird:

Abbildung 11: Entwicklung des Pkw-Durchschnittsalters in Jahren

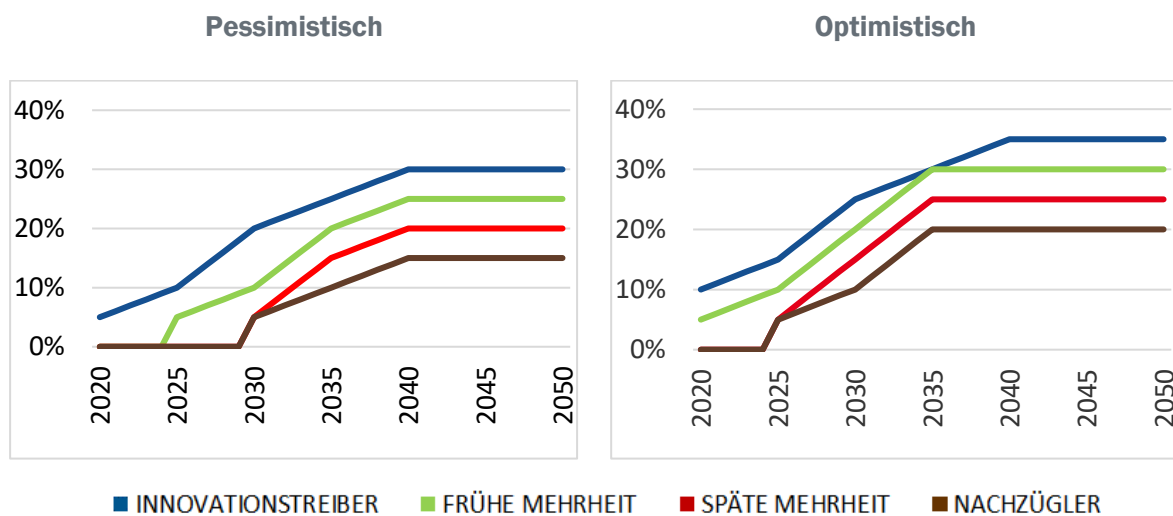


© Prognos AG 2018

5 Markthochlauf der Funktionen

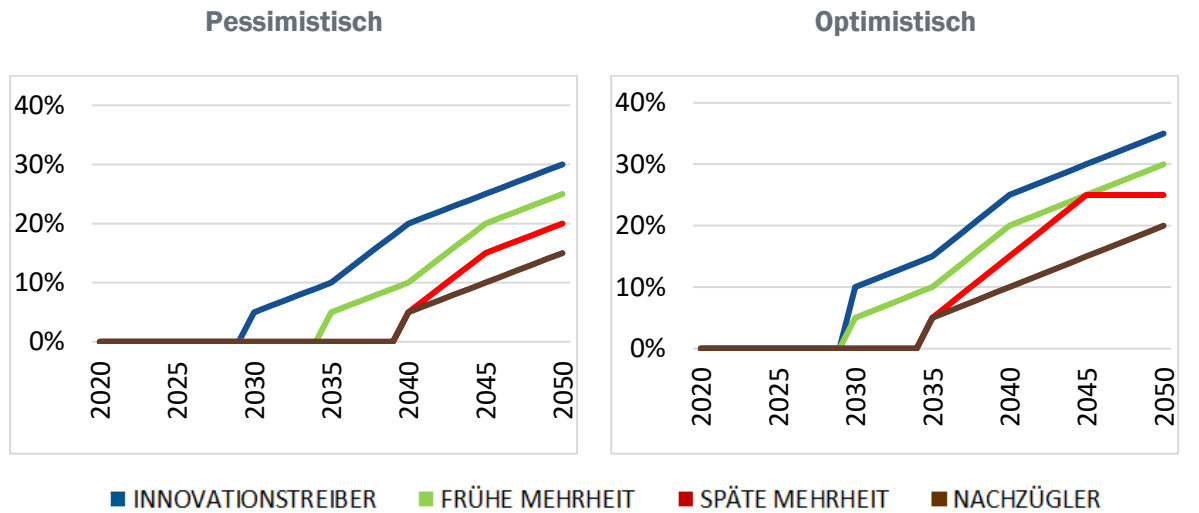
Für die weiteren Modellierungsschritte ist es erforderlich, Annahmen zum Markteintritt der drei Automatisierungsfunktionen festzulegen. Dabei reicht nicht nur das Jahr der Verfügbarkeit am Markt aus, vielmehr müssen Festlegungen dazu getroffen werden, wie viele der neu zugelassenen Fahrzeuge über diese Technologie verfügen werden. Die besondere Herausforderung bestand darin, diese Annahmen für zwei Szenarien im Zeitverlauf für alle Jahresscheiben und differenziert nach Segmenten zu erarbeiten. Während sich beim Zeitpunkt des Markteintritts von Automatisierungsfunktionen an entsprechenden Aussagen von führenden Entwicklern angelehnt werden kann, sind uns keine nutzbaren externen Einschätzungen dazu bekannt, mit welcher Geschwindigkeit sich der Markthochlauf bei den Neuzulassungen in unterschiedlichen Segmenten vollziehen wird. Hier mussten in enger Abstimmung mit dem ADAC eigene Markthochlaufkurven entwickelt werden, die sich an Befunden zur Verbreitung bereits verfügbarer Technologien im Bestand orientieren (v.a. in Follmer et al. 2013).

Abbildung 12: Anteil Autobahnpiilot an den Neuzulassungen nach Segmenten



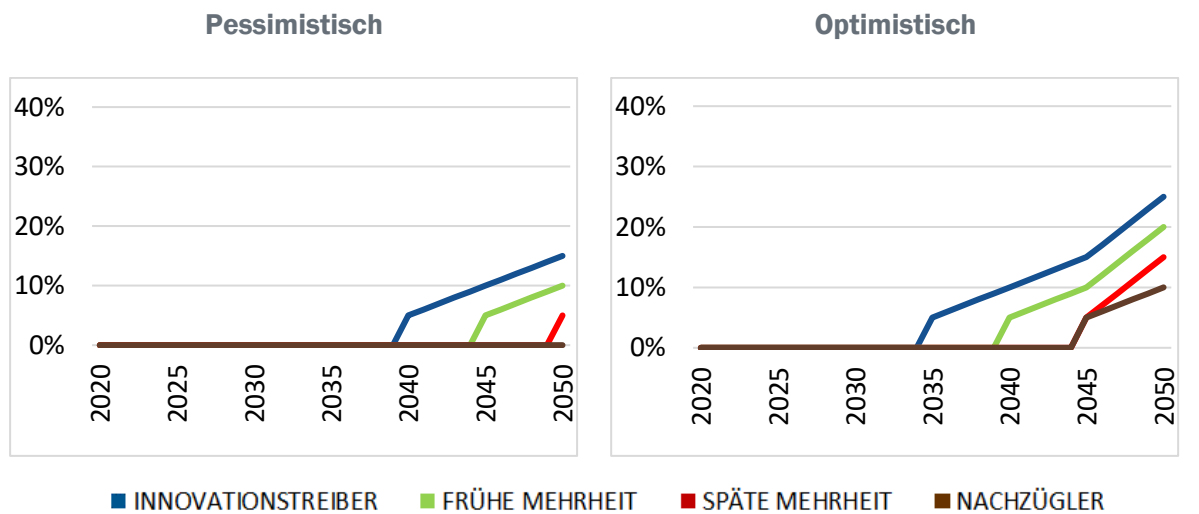
© Prognos AG 2018

Abbildung 13: Anteil City-Pilot an den Neuzulassungen nach Segmenten



© Prognos AG 2018

Abbildung 14: Anteil Tür-zu-Tür-Pilot an den Neuzulassungen nach Segmenten



© Prognos AG 2018

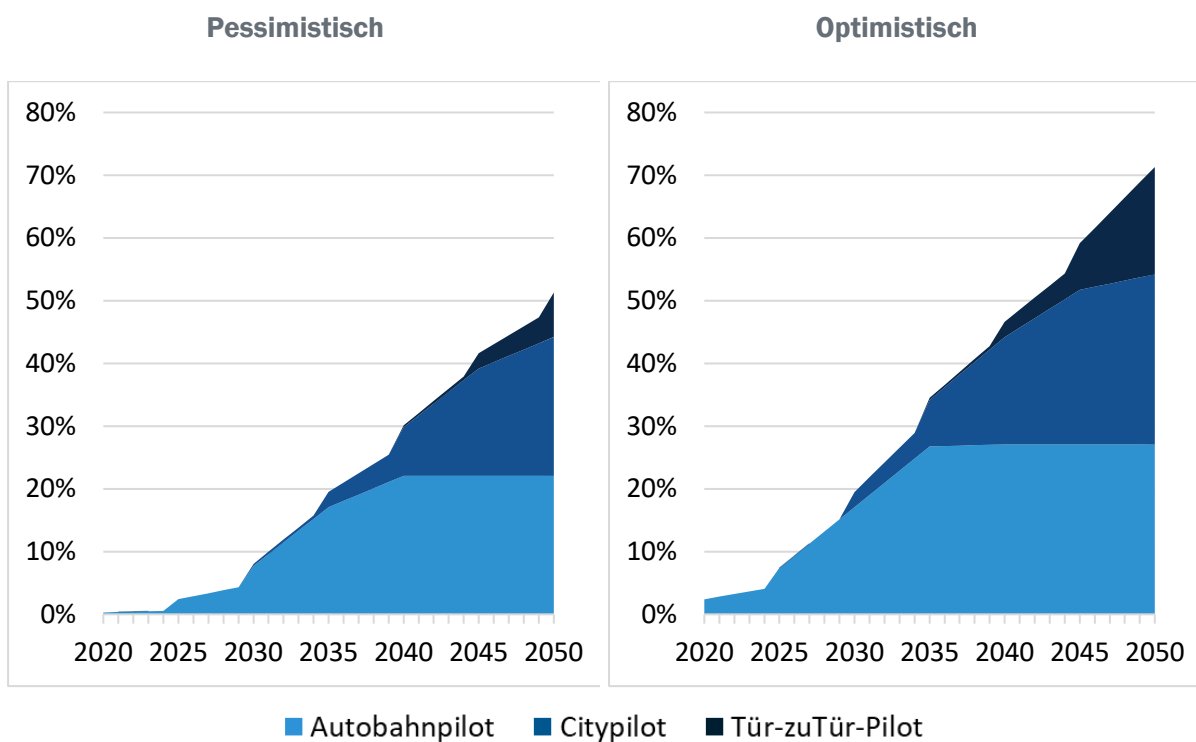
Die in den Kurven (Abb. 12-14) getroffenen Annahmen entsprechen selbst im optimistischen Szenario einer eher vorsichtigen und entsprechend langsamen Diffusion, die für eine Technologie mit unklarem Marktpotential und signifikanten Mehrkosten je Pkw plausibel ist. Der Markthochlauf kann ohne Frage durch eine Vielzahl von Faktoren deutlich positiver verlaufen. Dazu zählt insbesondere eine wesentlich höhere Grundnachfrage der Kunden oder auch die Verpflichtung zum

Einbau sicherheitsrelevanter Automatisierungsfunktionen durch den Gesetzgeber. Derartige Entwicklungen sind aus heutiger Sicht jedoch noch spekulativ.

Zu beachten ist bei den Markthochlaufkurven auch der kumulative Charakter der drei Technologien, der sich sehr deutlich im früh erreichten Plateau beim Autobahnpiloten zeigt (vgl. Abb. 12). Dahinter steckt die Annahme, dass sich die Nachfrage nach einer Technologie abschwächt, sobald eine noch potentialreichere (in diesem Fall der City-Pilot, der die Autobahn mit abdeckt) in den Markt eintritt. Gleichwohl bleibt die Nachfrage auf einem gewissen Niveau erhalten, da die höherwertige Technologie zu höheren Preisen angeboten wird, die nicht alle Kunden zu zahlen bereit sind, z.B. weil sie die Automatisierungsfunktion auf Autobahnen als ausreichend empfinden.

Die durch diese Annahmen gestützten Kurven zum Markthochlauf bei den Neuzulassungen sind der zentrale Input für das Kohorten-Modell im nächsten Schritt. Bezogen auf die gesamten Zulassungen schlagen sich die Kurven der einzelnen Segmente wie folgt nieder:

Abbildung 15: Anteil der Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen an den Neuzulassungen



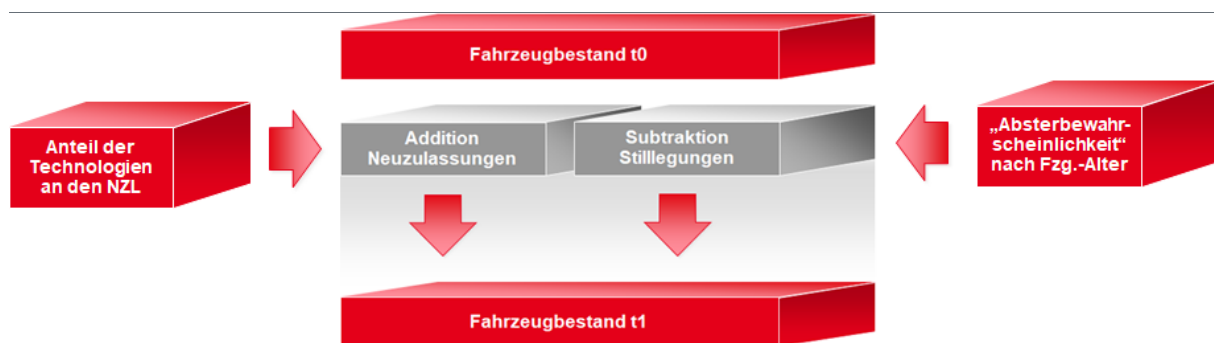
© Prognos AG 2018

6 Bestandsdurchdringung bis 2050

6.1 Bestandsdurchdringung nach Automatisierungsfunktion

Die im vorherigen Schritt gewählten Annahmen fließen als Input in ein Kohorten-Modell ein, das in Jahresscheiben Veränderungen im Bestand simulieren kann. Abb. 16 zeigt dessen grundlegenden Aufbau.

Abbildung 16: Grundlegender Aufbau des Prognos-Kohortenmodells

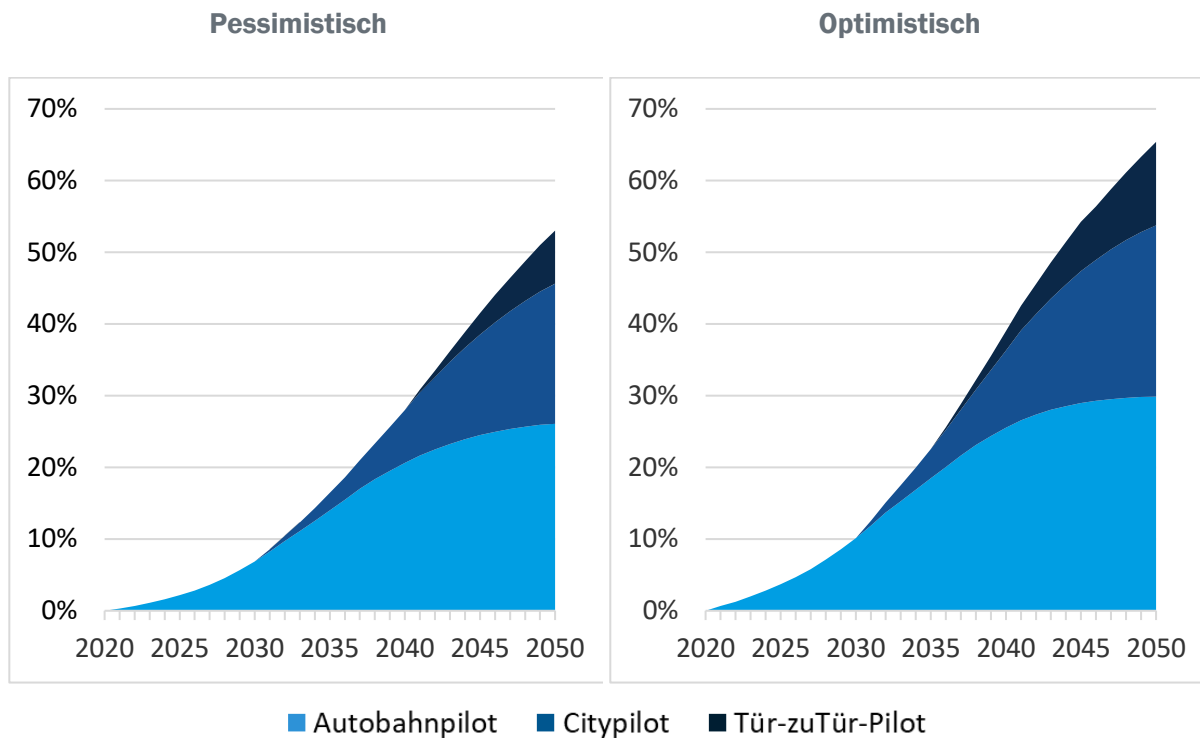


© Prognos AG 2018

Zunächst wird bei der Modellierung die generelle Entwicklung des Fahrzeugbestands sowie der einzelnen Segmente berücksichtigt (vgl. Tab. 1). Darüber hinaus werden alle Daten zu Bestand, Neuzulassungen und Stilllegungen nach Automatisierungsfunktion (keine Automatisierung, Autobahnpilot, City-Pilot, Tür-zu-Tür-Pilot) differenziert betrachtet. Bei den Neuzulassungen fließen unmittelbar die Annahmen aus dem vorherigen Abschnitt ein. Die Modellierung der ausscheidenden Fahrzeuge erfolgt auf Basis von "Sterbekurven", die die Wahrscheinlichkeit einer Stilllegung für jedes Fahrzeugalter berücksichtigen. Durch Verrechnung von Neuzulassungen und Stilllegungen wird von Jahr zu Jahr der Gesamtbestand und die Anteile der drei Automatisierungsfunktionen modelliert. Dieser Schritt wird sowohl für die einzelnen Segmente als auch für den Gesamtbestand vorgenommen.

Im Ergebnis stellt sich die Bestandsdurchdringung in den Segmenten erwartungsgemäß recht unterschiedlich dar:

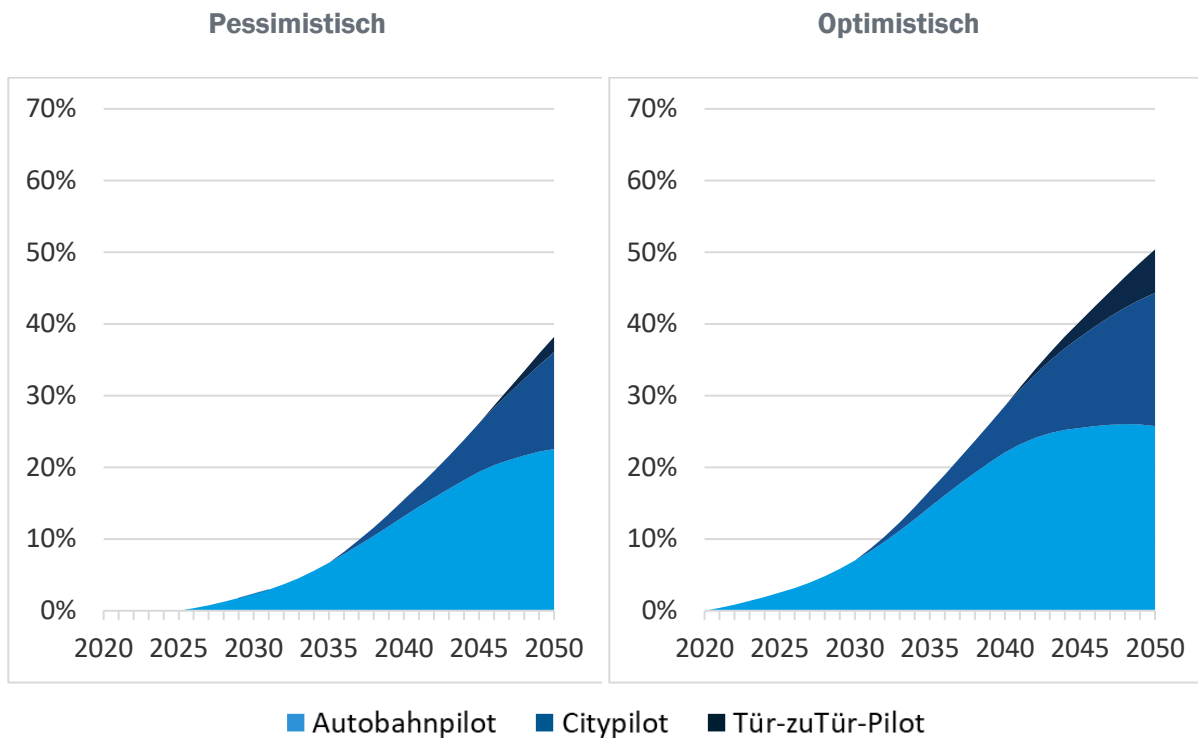
Abbildung 17: Bestandsdurchdringung bis 2050: Innovationstreiber



© Prognos AG 2018

Bei den Innovationstreibern bauen sich die Fahrzeuge mit Autobahn-piloten schon ab 2020 langsam auf, ab 2030 kommen City-Piloten hinzu. Bei den Tür-zu-Tür-Piloten beginnt die Diffusion ab 2035 (optimistisches Szenario) bzw. 2040 (pessimistisches Szenario). Deutlich zu erkennen ist die Wachstumsgrenze des reinen Autobahn-piloten etwa ab 2040, wenn zunehmend die beiden höheren Automatisierungen verfügbar sind. Insgesamt werden bis 2050 je nach Szenario 53,0% bzw. 65,4% der Innovationstreiber über eine der drei Technologien verfügen. Bezogen auf deren Bestand 2050 wären dies 1,0 bzw. 1,3 Mio. Fahrzeuge.

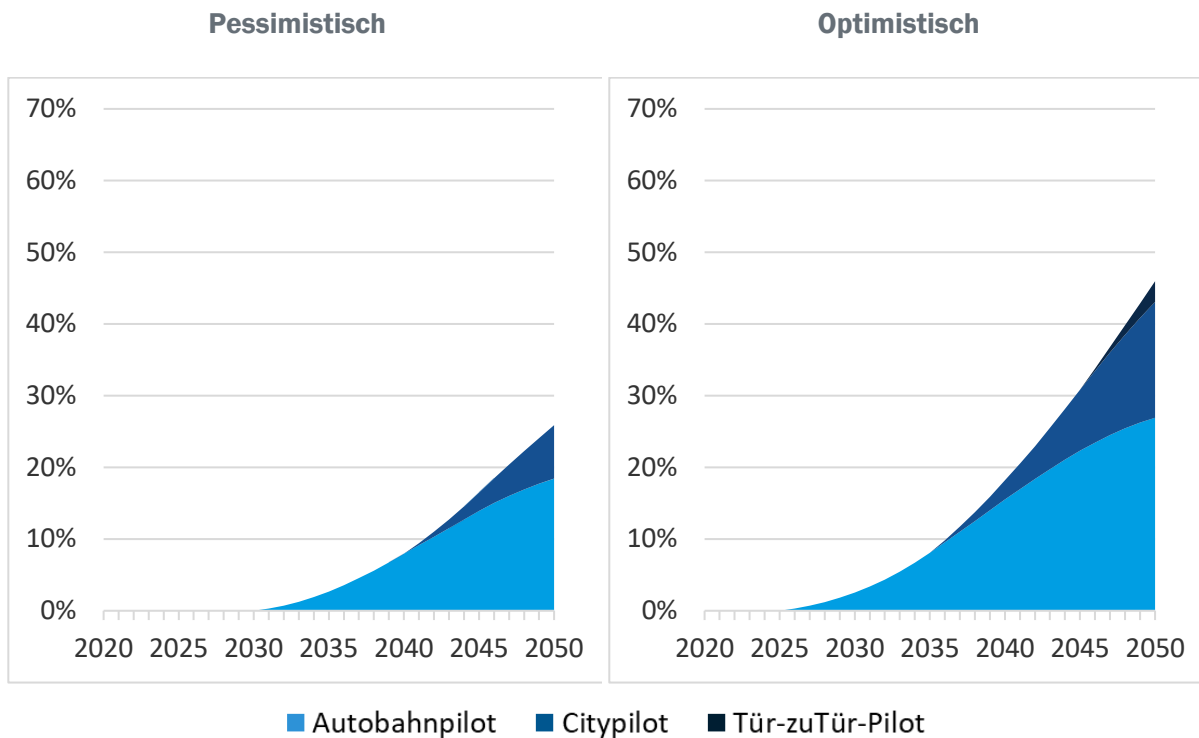
Abbildung 18: Bestandsdurchdringung bis 2050: Frühe Mehrheit



© Prognos AG 2018

Schon bei der Frühen Mehrheit verläuft die Diffusion signifikant langsamer, was insbesondere an dem etwa um 5 Jahre verzögerten Markteintritt der Technologien in diesem Segment geschuldet ist. Gleichwohl kann selbst der Tür-zu-Tür-Pilot bereits erste Bestandsanteile erreichen. Zumindest im pessimistischen Szenario ist auch hier die beschriebene Sättigungsgrenze des Autobahn-piloten erkennbar. Bis 2050 werden 38,2% bzw. 50,4% der Frühen Mehrheit eine Automatisierungsfunktion haben. In absoluten Zahlen würde dies in diesem zahlenmäßig vergleichsweise großen Segment 6,8 Mio. bzw. 8,9 Mio. Pkw entsprechen.

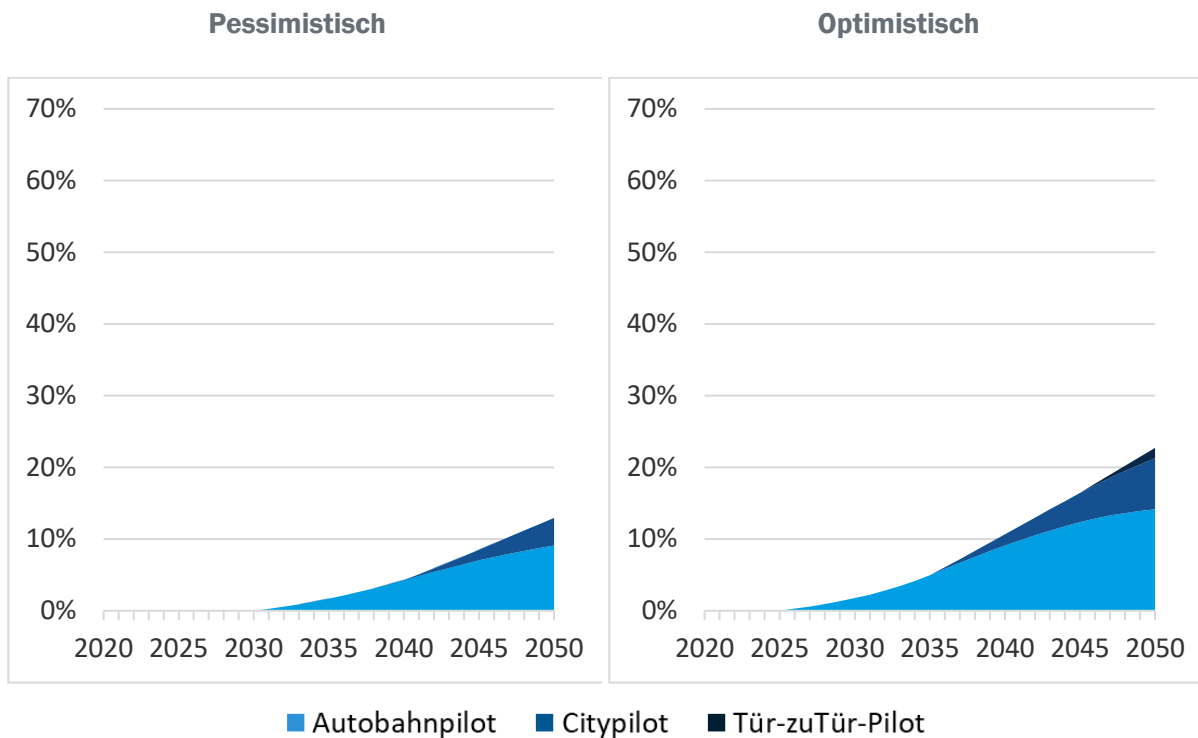
Abbildung 19: Bestandsdurchdringung bis 2050: Späte Mehrheit



© Prognos AG 2018

Die Späte Mehrheit weist noch weiter verzögerte Markteintritte auf. Im pessimistischen Szenario findet der Tür-zu-Tür-Pilot entsprechend noch gar nicht in dieses Segment, im optimistischen beginnt dessen Diffusion hingegen bereits. Insgesamt werden bis 2050 in diesem Segment 25,9% bzw. 46,0% der Fahrzeuge über eine der Automatisierungsfunktionen verfügen. Aufgrund der absoluten Größe dieses Segments entspräche dies bereits 6,3 bzw. 11,3 Mio. Fahrzeugen.

Abbildung 20: Bestandsdurchdringung bis 2050: Nachzügler



© Prognos AG 2018

Die Nachzügler sind durch eine besonders zögerliche Adaption neuer Technologien charakterisiert. Selbst im optimistischen Szenario verläuft die Diffusion im Bestand nur langsam. Daher erreicht dieses Segment auch 2050 nur geringe Automatisierungsanteile: Lediglich 13,0% bzw. 22,7% der Fahrzeuge werden über eine der Funktionen verfügen, was einer Anzahl von 0,6 bzw. 1,1 Mio. Fahrzeugen entsprechen würde.

Die unterschiedlichen Durchdringungsgrade bei den einzelnen Segmenten summieren sich in den beiden Szenarien folgendermaßen im Gesamtbestand (vgl. dazu auch Abb. 21):

Tabelle 2: Durchdringung im Gesamtbestand: Pessimistisches Szenario

	2025	2030	2040	2050
Fahrzeuge mit Autobahnpilot	0,1 Mio.	0,5 Mio.	4,8 Mio.	9,4 Mio.
Fahrzeuge mit Citypilot	0	0	0,5 Mio.	4,8 Mio.
Fahrzeuge mit Tür-zu-Tür-Pilot	0	0	0	0,5 Mio.

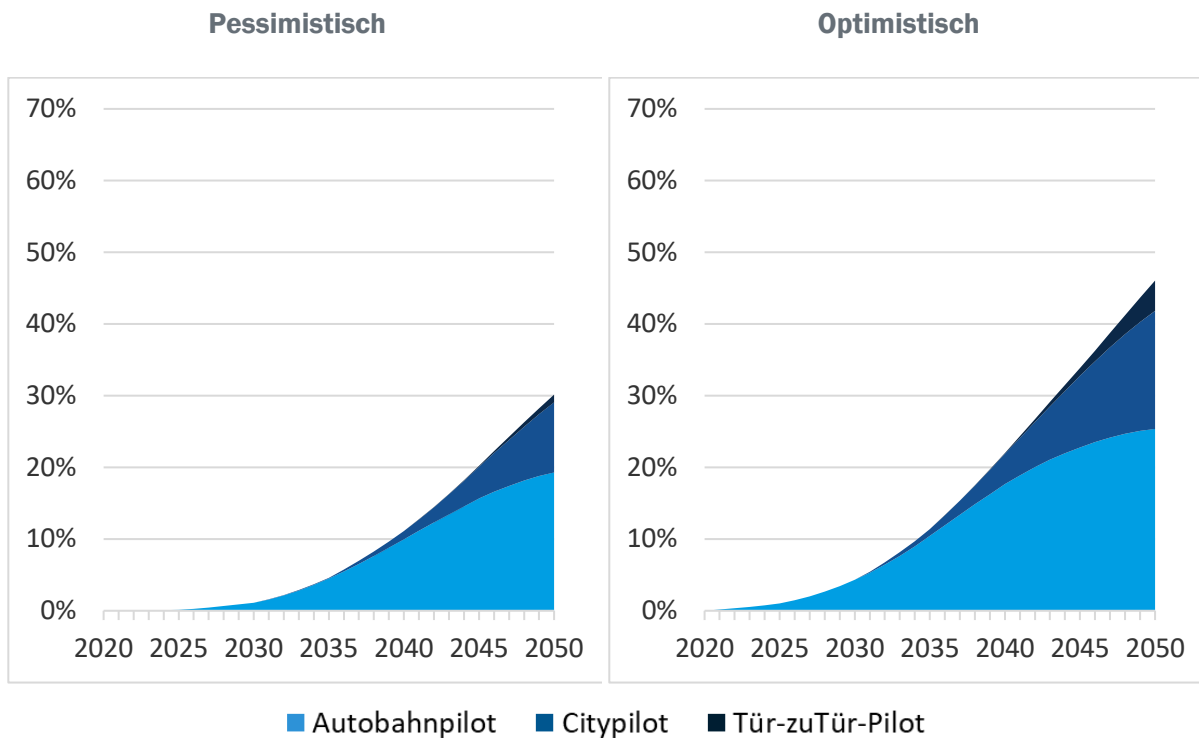
© Prognos AG 2018

Tabelle 3: Durchdringung im Gesamtbestand: Optimistisches Szenario

	2025	2030	2040	2050
Fahrzeuge mit Autobahnpilot	0,5 Mio.	2,1 Mio.	8,6 Mio.	12,4 Mio.
Fahrzeuge mit Citypilot	0	0	2,1 Mio.	8,0 Mio.
Fahrzeuge mit Tür-zu-Tür-Pilot	0	0	0,1 Mio.	2,1 Mio.

© Prognos AG 2018

Abbildung 21: Bestandsdurchdringung bis 2050: Gesamtbestand



© Prognos AG 2018

6.2 Bestandsdurchdringung nach Automatisierung je Straßentyp

Für die weiteren Schritte ist einmal mehr der kumulative Charakter der Technologien zu beachten. Da höherwertige Technologien die Fähigkeiten der früheren mit einschließen, ist es für die Modellierung der Fahrleistungen sinnvoll, nicht nach den originären Technologien zu differenzieren, sondern danach, auf welchen Straßentypen potentiell automatisiert gefahren werden kann. Dies soll noch einmal anhand der folgenden Tabelle verdeutlicht werden:

Tabelle 4: Automatisierungspotentiale der drei Technologien

	Autobahnen	Innerorts	Außerorts ohne Auto- bahnen
Autobahnpilot	✓	✗	✗
City-Pilot	✓	✓	✗
Tür-zu-Tür-Pilot	✓	✓	✓

© Prognos AG 2018

Zur Differenzierung nach Automatisierungspotentialen bezogen auf die Fahrleistung können die Funktionen daher wie folgt aufsummiert werden:

Abbildung 22: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion auf Autobahnen: Pessimistisches Szenario

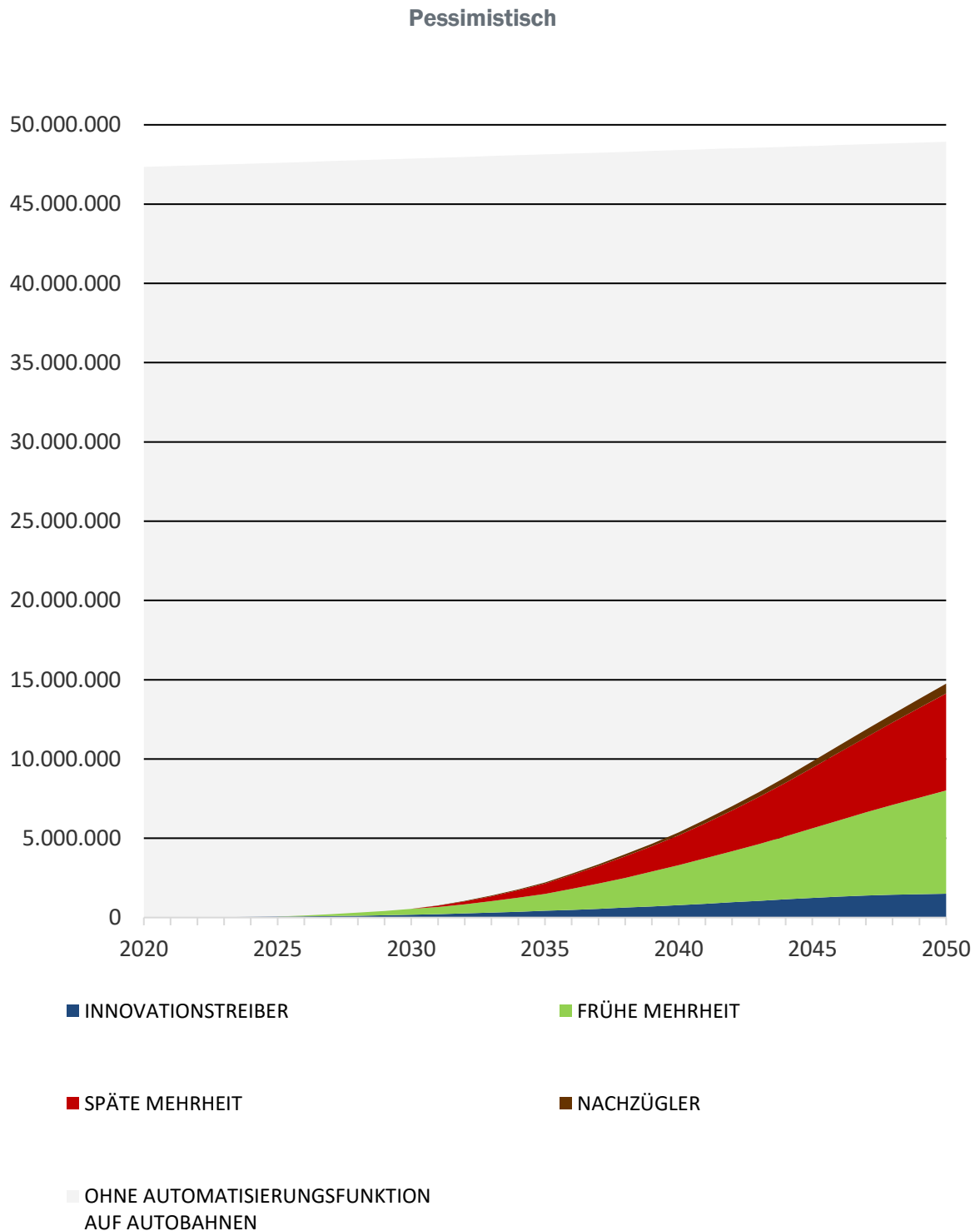


Abbildung 23: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion auf Autobahnen: Optimistisches Szenario

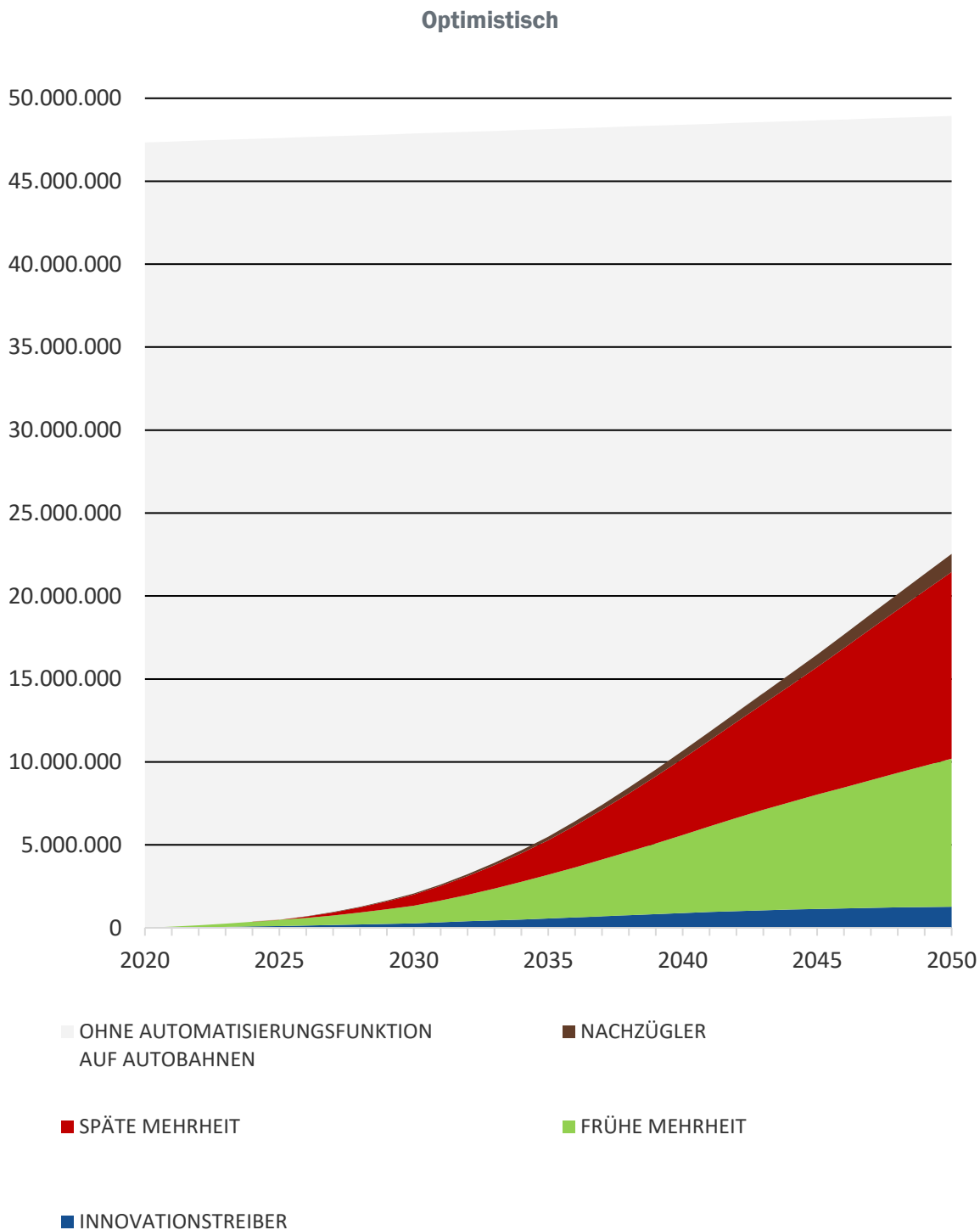


Abbildung 24: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion innerorts: Pessimistisches Szenario

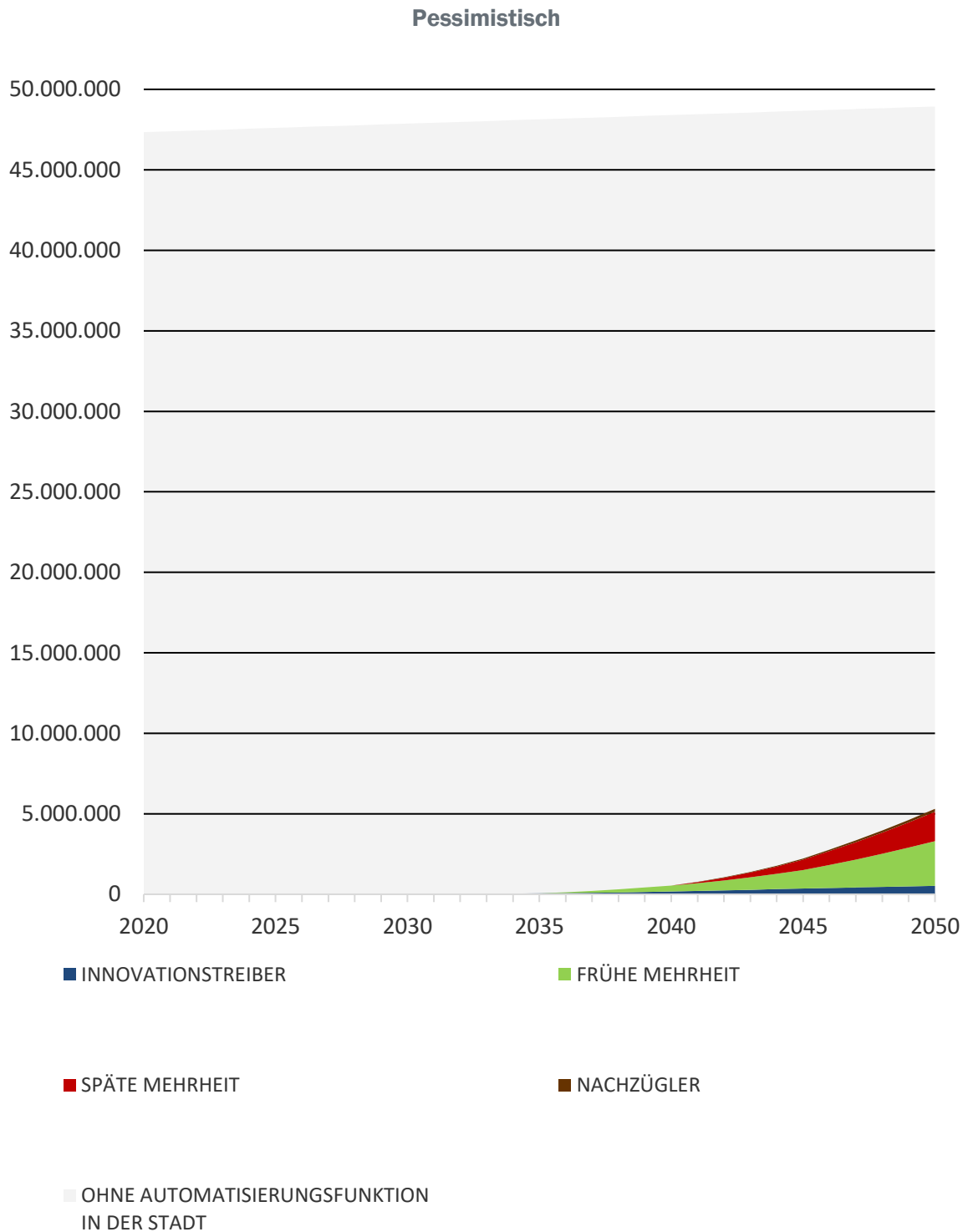


Abbildung 25: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion innerorts: Optimistisches Szenario

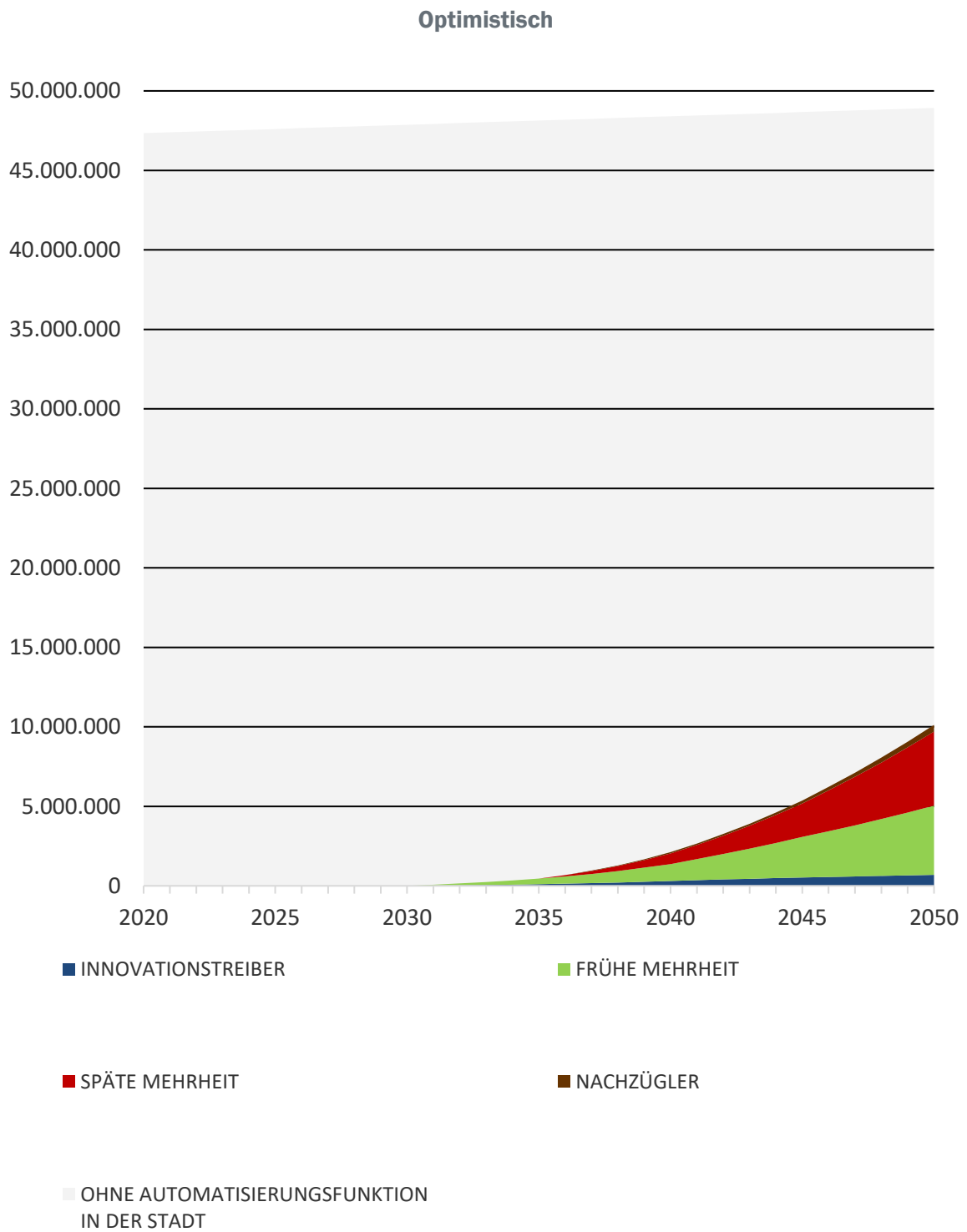


Abbildung 26: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion im Gesamtnetz: Pessimistisches Szenario

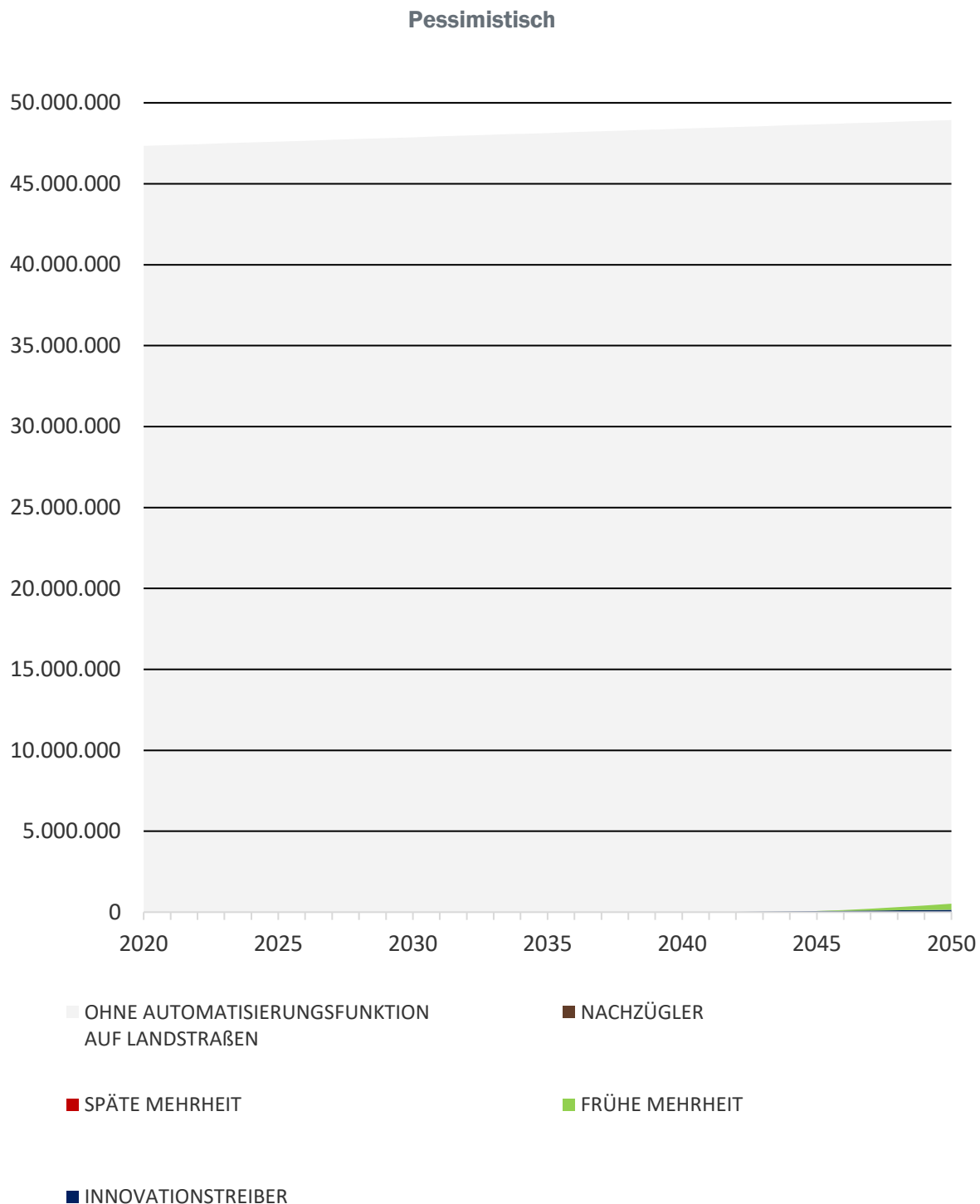
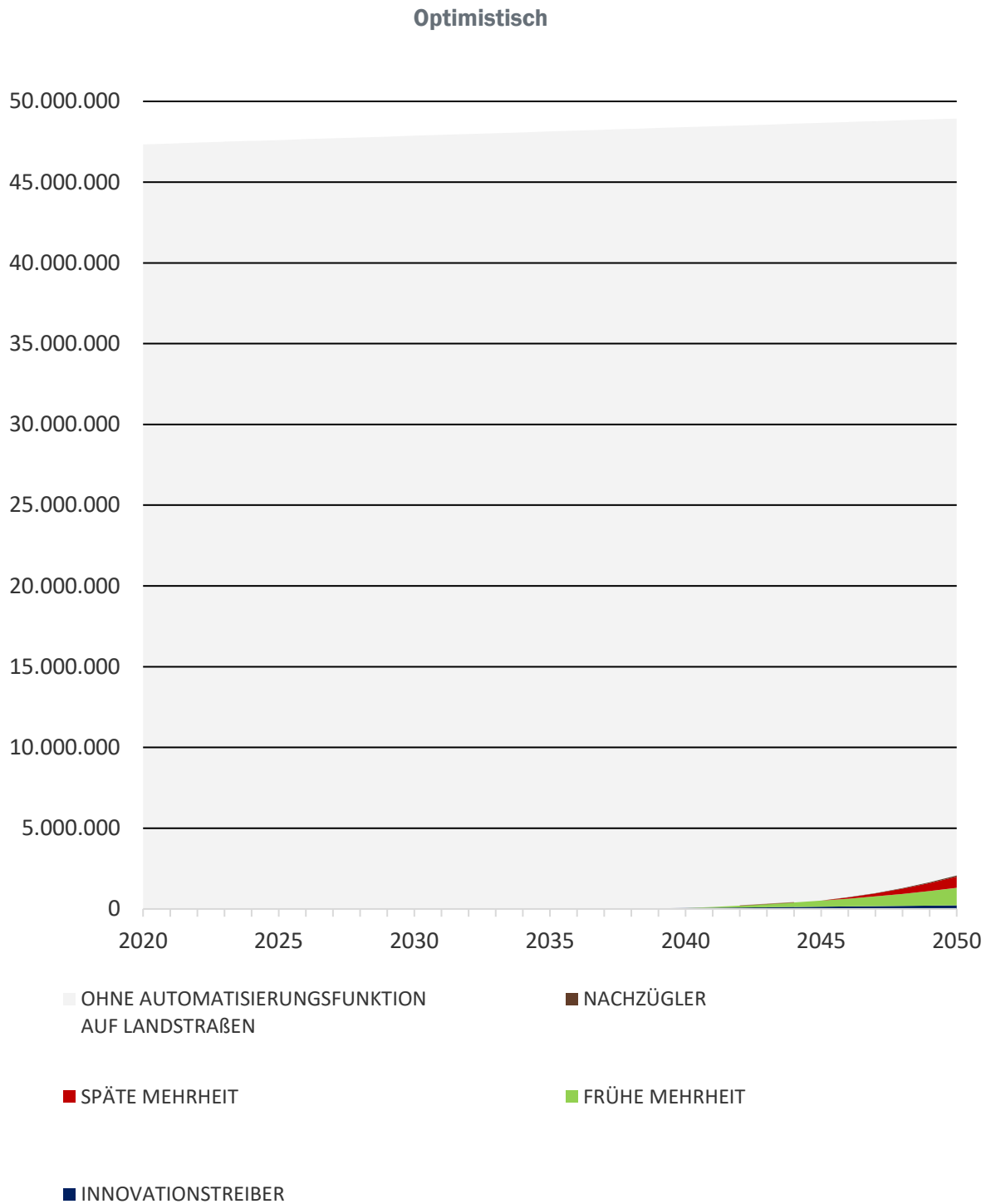


Abbildung 27: Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktion im Gesamtnetz: Optimistisches Szenario

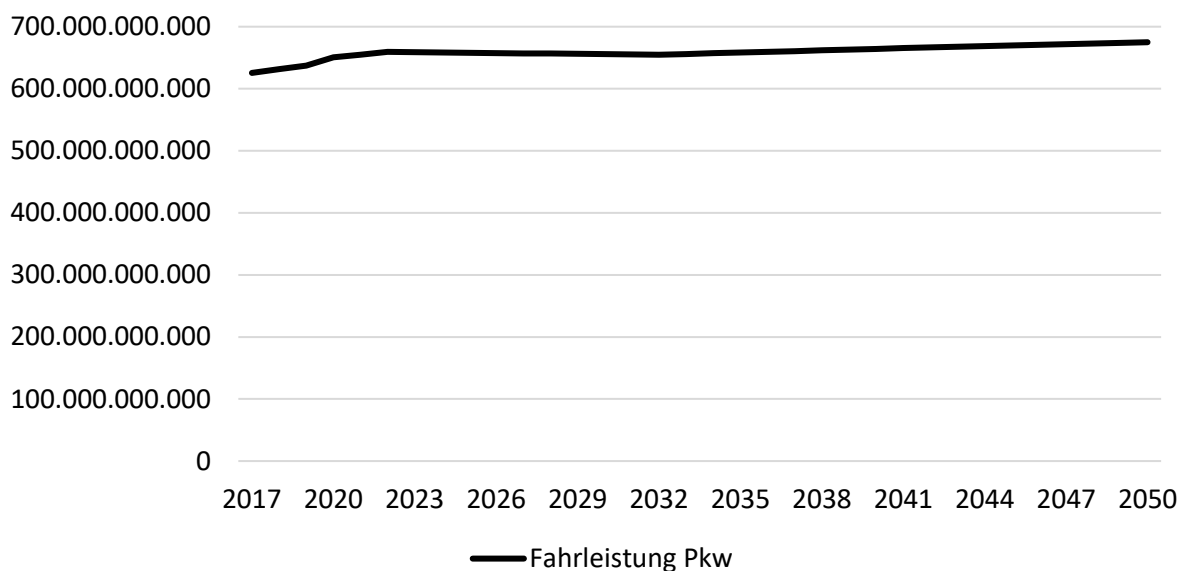


7 Differenzierte Fahrleistungsprognose bis 2050

7.1 Rahmenprognose

Um im letzten Schritt Abschätzungen zu den Auswirkungen der Automatisierungsfunktionen erstellen zu können, muss zunächst eine differenzierte Fahrleistungsprognose bis 2050 erstellt werden. Dazu soll zunächst eine Rahmenprognose erfolgen, die bzgl. der Fahrleistungsannahmen je Pkw an ein aktuelles Prognos-Mandat (BDI 2018) angelehnt ist. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Fahrleistung je Pkw bis 2050 relativ konstant ist und zwischen 13.600 und 13.800 km schwanken wird. Diese sehr geringen jährlichen Schwankungen werden für jede Jahresscheibe auf die durchschnittlichen Fahrleistungen der hier verwendeten Segmente (vgl. Ausführungen S. 7) übertragen und mit den jeweiligen Bestandszahlen multipliziert. Im Ergebnis kann eine Rahmenprognose der Fahrleistung errechnet werden, die in Abb. 28 dargestellt ist. Die relativ konstante Fahrleistung je Fahrzeug über die Jahre sowie die nur moderaten Zunahmen des Gesamtbestands führen dazu, dass auch die Gesamtfahrleistung weitgehend unverändert bleibt und nur leicht auf etwa 670 Mrd. Fzg-km ansteigt:

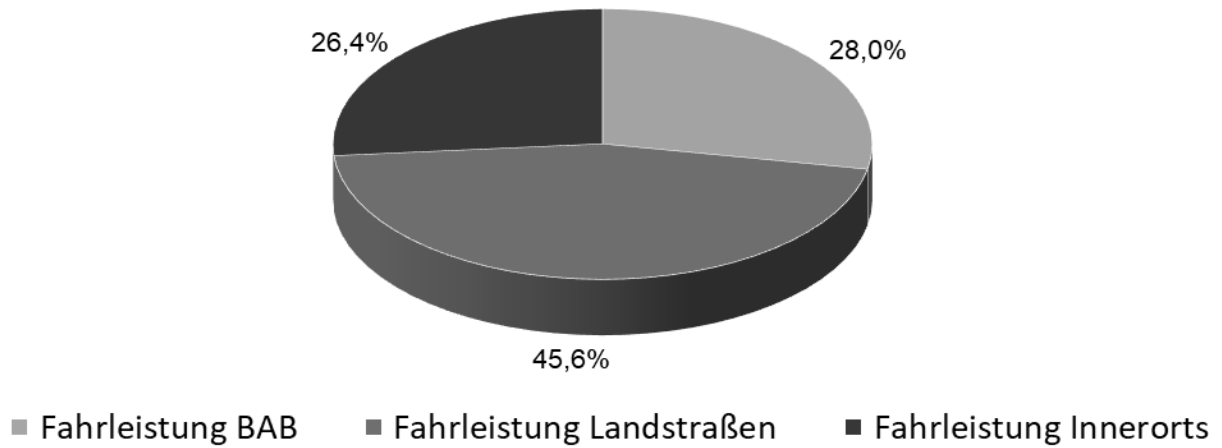
Abbildung 28: Entwicklung der (Inländer)-Fahrleistung bis 2050



© Prognos AG 2018 auf Basis von BAST 2014

Die Gesamtfahrleistung wird zu bestimmten Anteilen auf den drei Straßentypen BAB, innerorts und außerorts (ohne Autobahnen) erbracht. In der Fahrleistungserhebung 2014 der BAST verteilt sich die Pkw-Fahrleistung wie folgt auf diese Straßentypen:

Abbildung 29: Anteile der Straßentypen an der Gesamtfahrleistung



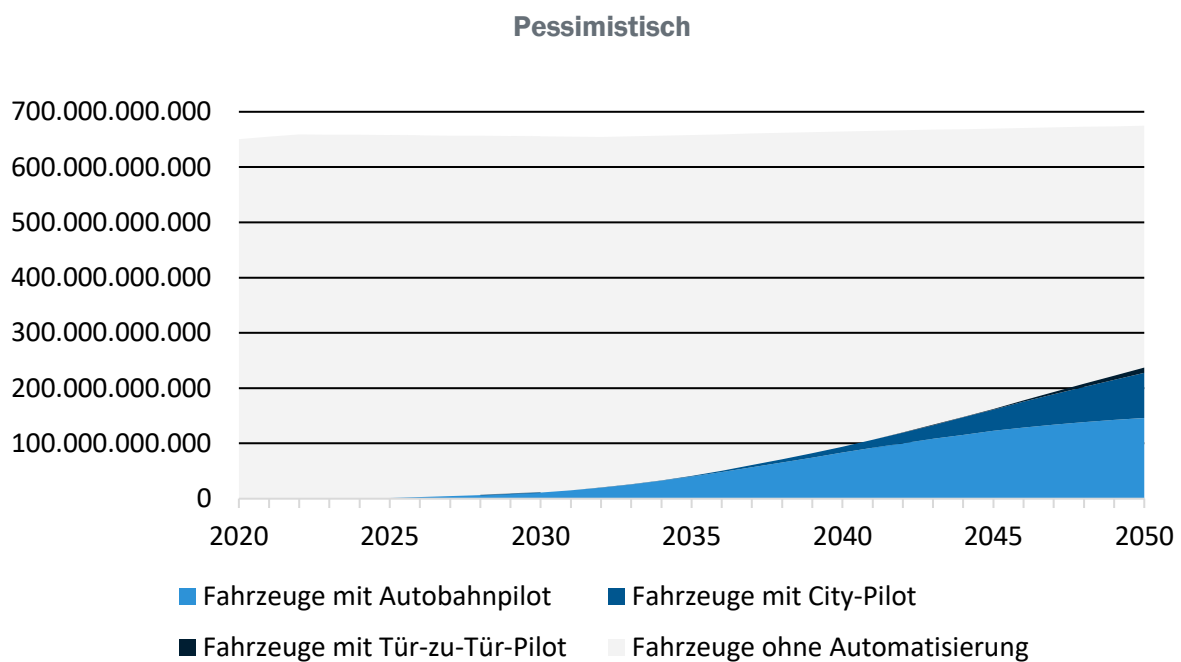
© Prognos AG 2018 auf Basis von BASt 2014

Bei der Aufteilung der Fahrleistung auf die Straßentypen in der Prognose wird diese Verteilung als konstant angesehen, da nach unserer Einschätzung keine Gründe für eine signifikante Verschiebung zwischen den Straßentypen (z.B. starke strukturelle Veränderung der Pendelbeziehungen) absehbar sind.

7.2 Fahrleistungen nach Automatisierungsgrad

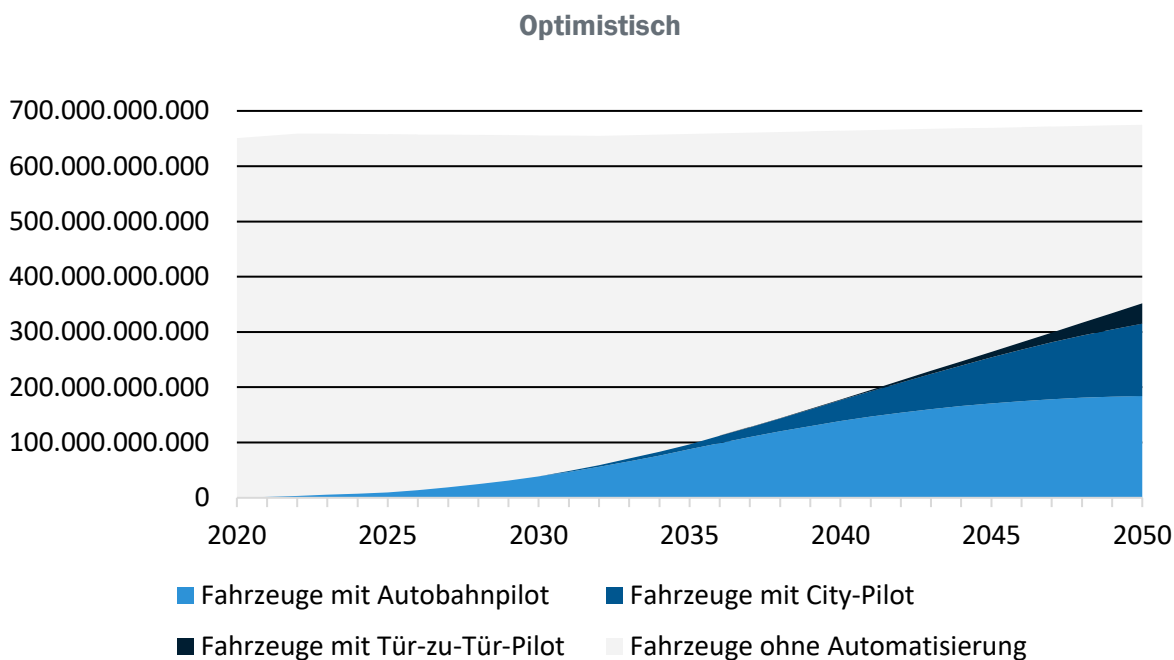
Das verwendete Kohortenmodell berechnet nicht nur die Bestandszahlen, sondern auch die damit verknüpften Fahrleistungen. Dabei wird durch baujahrspezifische Auf- bzw. Abschläge berücksichtigt, dass neue Fahrzeuge zunächst deutlich größere Fahrleistungen erbringen und sich erst in den Folgejahren dem Durchschnitt annähern. Zudem wurden bei der Modellierung auch die unterschiedlichen spezifischen Fahrleistungen der vier Segmente berücksichtigt. Auch wenn diese aufgrund der hohen Aggregation (vgl. Kapitel 3.1) eine deutlich geringere Streuung aufweisen als die altersspezifischen Faktoren, so sind sie bei den Modellierungen durchaus relevant, da gerade die frühesten Segmente der Innovationstreiber und der Frühen Mehrheit jene mit (leicht) erhöhten spezifischen Fahrleistungen sind. Diese Faktoren zeigen sich in den Ergebnissen bei einem Vergleich der Abb. 31 mit der Abb. 21: Während Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen im optimistischen Szenario 2050 nur 46,1% des Bestands ausmachen, sind sie bereits für 51,4% der Fahrleistung verantwortlich:

Abbildung 30: Fahrleistungen nach Automatisierung bis 2050: Pessimistisches Szenario



© Prognos AG 2018

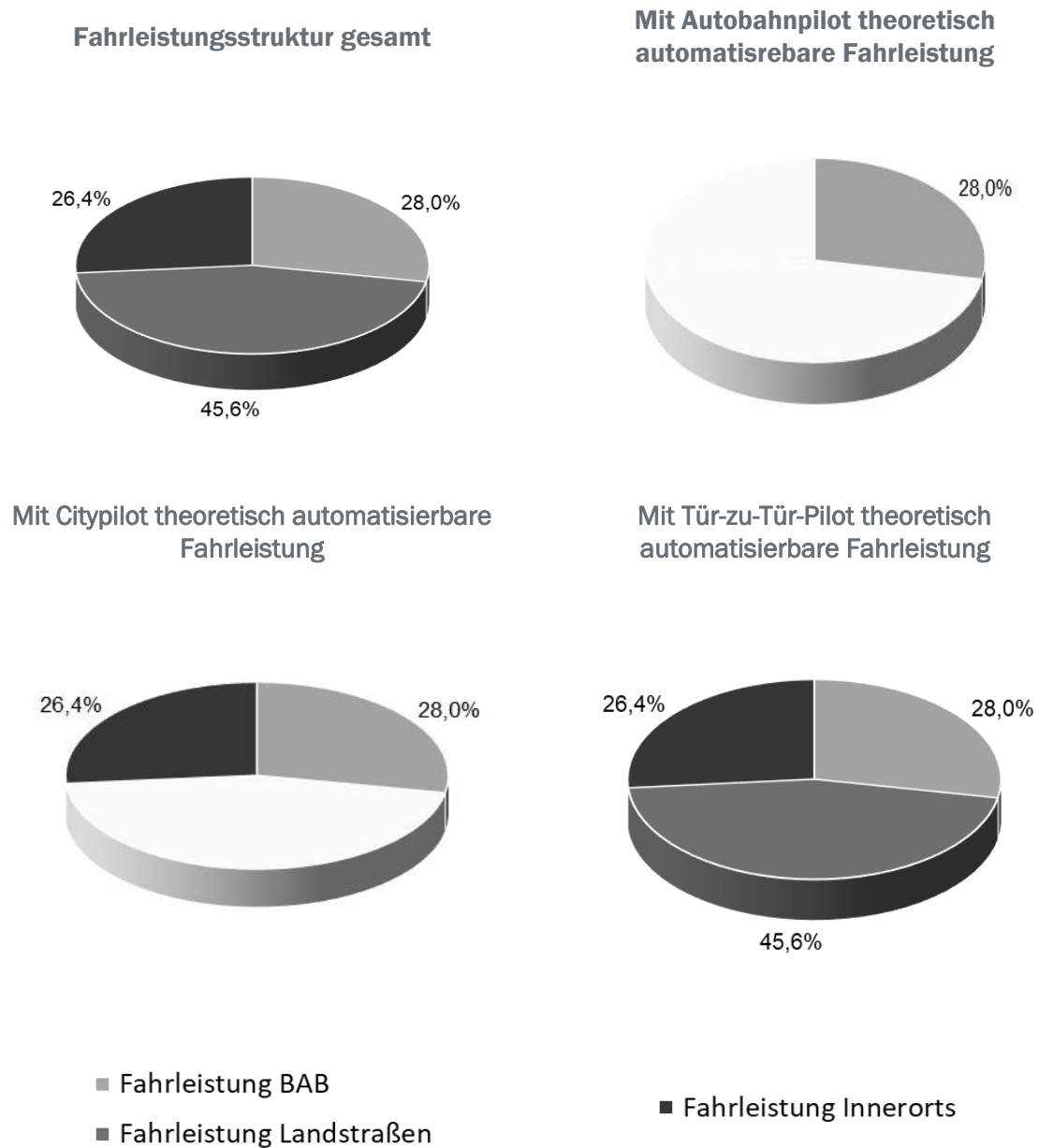
Abbildung 31: Fahrleistungen nach Automatisierung bis 2050: Optimistisches Szenario



7.3 Automatisierte Fahrleistungen nach Straßentyp

Demnach wird 2050 also in beiden Szenarien bereits ungefähr die Hälfte der Fahrleistung durch Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen erbracht. Dabei ist aber zu bedenken, dass (abgesehen vom Tür-zu-Tür-Piloten) die Technologien nicht in der Lage sind, die gesamte von ihnen erbrachte Fahrleistung auch potentiell automatisiert zu fahren, denn nur bestimmte Anteile werden auf Straßentypen erbracht, für die eine geeignete Automatisierungsfunktion vorhanden ist. In Anlehnung an Abb. 29 werden hier noch einmal die potentiell automatisierten Fahrleistungsanteile der drei Technologien verdeutlicht:

Abbildung 32: Automatisierungspotentiale der Technologien

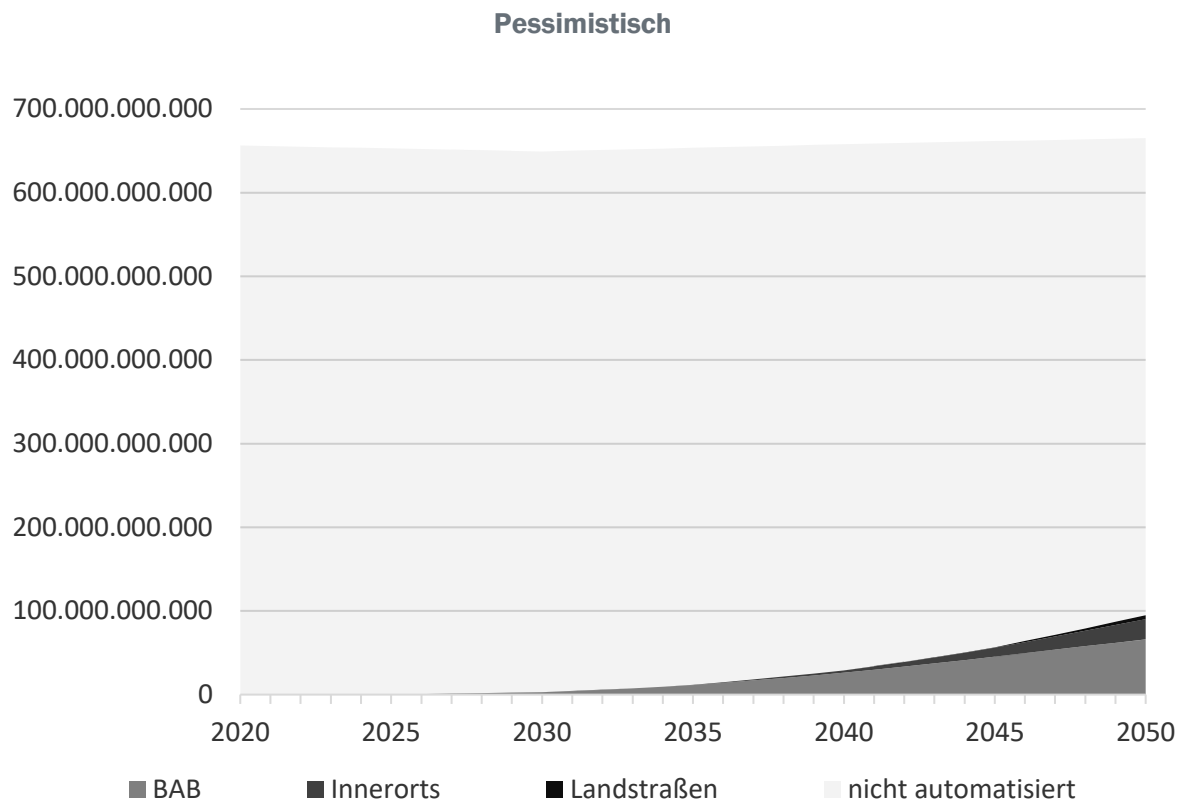


© Prognos AG 2018

Als Resultat dieser eingeschränkten Automatisierungspotentiale bezogen auf die Gesamtfahrleistung reduziert sich die theoretisch automatisierbare Fahrleistung gegenüber Abb. 30 und 31 deutlich. Selbst im optimistischen Szenario könnten nur etwa 24% der gesamten Fahrleistung automatisiert erbracht werden, was etwa 160 Mrd. Fzg-km entsprechen würde. Davon entfällt wenig

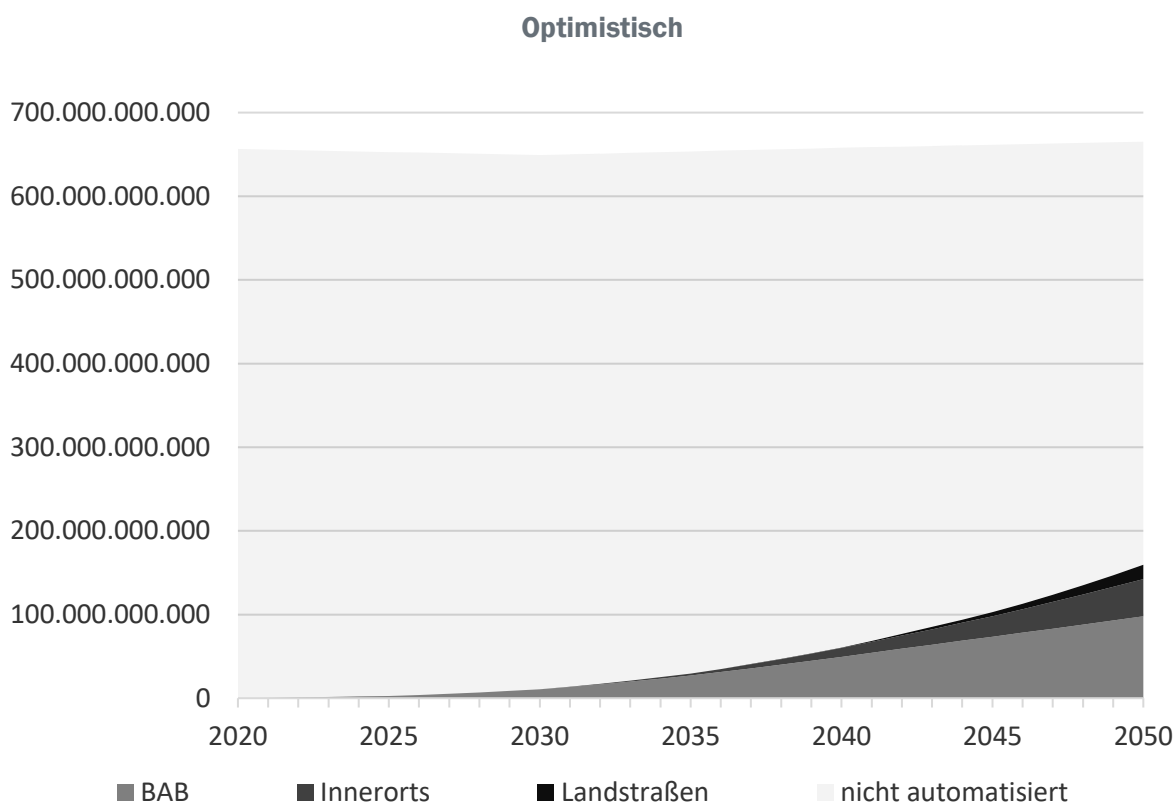
überraschend der Löwenanteil auf die Autobahnen: Hier könnten im optimistischen Szenario bereits 98 Mrd. km automatisiert erbracht werden, in den Innenstädten sind es 44 Mrd. km, auf Landstraßen erst 17 Mrd. km:

Abbildung 33: Theoretisch automatisierbare Fahrleistungen nach Straßentypen: Pessimistisches Szenario



© Prognos AG 2018

Abbildung 34: Theoretisch automatisierbare Fahrleistungen nach Straßentypen: Optimistisches Szenario



© Prognos AG 2018

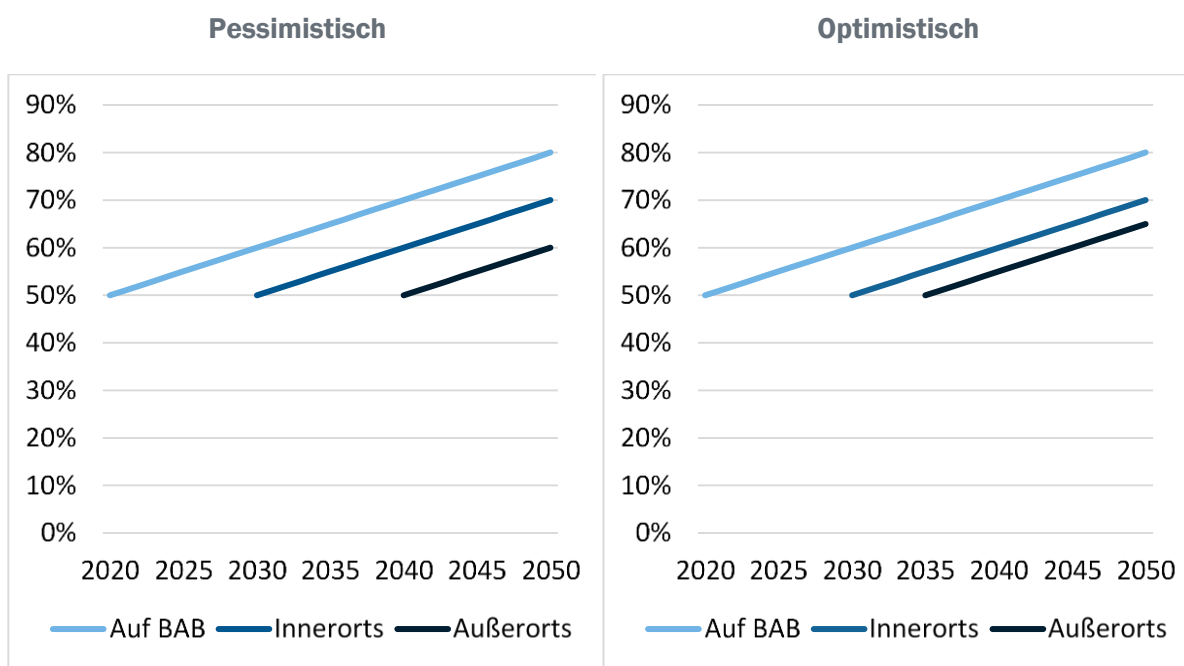
Abb. 33 und 34 verdeutlichen, dass mangels "passender" Automatisierungsfunktion nur ein Bruchteil der Fahrleistungen auch tatsächlich im automatisierten Modus erbracht werden könnte. Zudem kann nicht davon ausgegangen werden, dass die verfügbaren Funktionen in 100% der möglichen Anwendungsfälle an Bord der Fahrzeuge eingeschaltet sein werden. In einer repräsentativen Umfrage⁵ im Auftrag von CosmosDirekt im Juli 2017 antworteten lediglich 50% der Menschen, dass sie autonom fahrende Autos auf Autobahnen "zur Unterstützung ganz besonders sinnvoll fänden". In Innenstädten und auf Landstraßen waren es sogar nur etwa 20%. Diese Werte deuten darauf hin, dass eine neu verfügbare Automatisierungsfunktion in Fahrzeugen wohl nur in bestimmten Fällen auch wirklich eingesetzt würde. Fraglos nimmt diese Nutzungsintensität zu, je länger diese Technologie verfügbar ist ("Gewöhnungseffekt").

Zur Modellierung der letztlich tatsächlich automatisiert erbrachten Fahrleistung war es daher nötig, generische Annahmen dazu zu entwickeln, in welchem Umfang die vorhandenen Technologien eingesetzt werden. Aufgrund der hohen Unsicherheiten und gestützt auf die Befragungsergebnisse von CosmosDirekt wird davon ausgegangen, dass zunächst nur 50% der theoretisch

⁵ CosmosDirekt (2018): Faktencheck Autonomes Fahren: Was die Deutschen über die neue Technik denken

möglichen Fahrleistung in der Realität automatisiert erbracht werden. Diese Einsatzintensität wird für das Jahr der Markteinführung angenommen und steigt danach linear an:

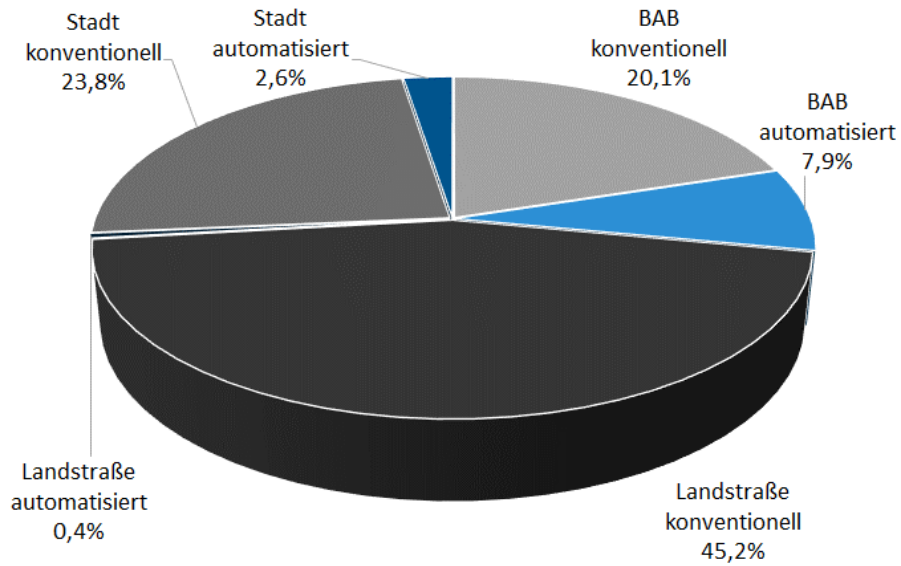
Abbildung 35: Angenommene Einsatzintensitäten der Technologien bis 2050



© Prognos AG 2018

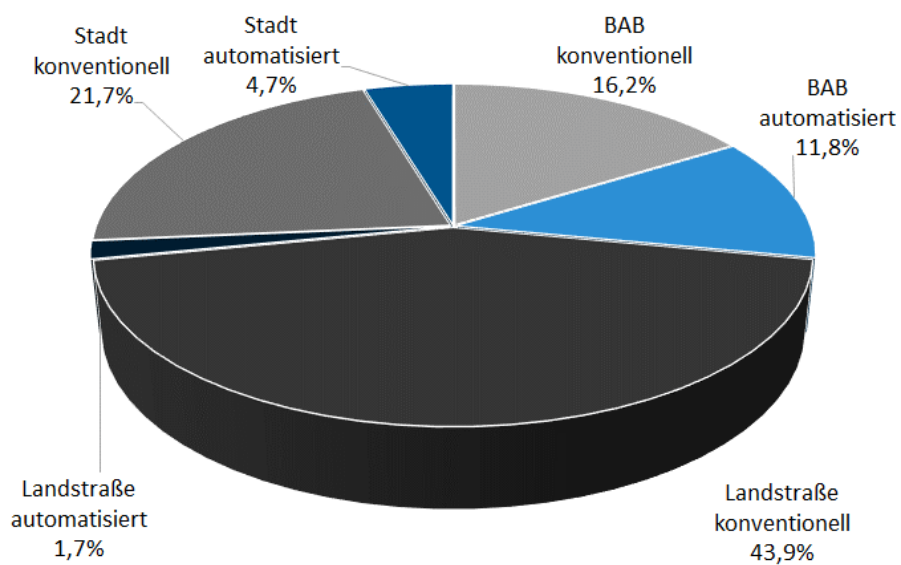
Im letzten Schritt zur Modellierung der automatisiert erbrachten Fahrleistungen nach Straßentyp wurden die in Abb. 35 gezeigten, angenommenen Nutzungsintensitäten mit den theoretisch automatisierbaren Fahrleistungen (Abb. 33 und 34) für jede Jahresscheibe verrechnet. Abb. 36 und 37 zeigen beispielhaft die Ergebnisse für das Jahr 2050 in den beiden Szenarien. Tab. 5 und 6 fassen diese als relative Anteile an den jeweiligen Fahrleistungen zusammen:

Abbildung 36: Fahrleistung 2050 nach Straßentyp und Automatisierung: Pessimistisches Szenario



© Prognos AG 2018

Abbildung 37: Fahrleistung 2050 nach Straßentyp und Automatisierung: Optimistisches Szenario



© Prognos AG 2018

Tabelle 5: Anteil der automatisiert erbrachten Fahrleistung 2050: Pessimistisches Szenario

	Automatisiert	Konventionell
BAB	28,2%	71,2%
Stadt	9,8%	90,2%
Landstraße	0,9%	99,1%
Gesamt	10,9%	89,1%

© Prognos AG 2018

Tabelle 6: Anteil der automatisiert erbrachten Fahrleistung 2050: Optimistisches Szenario

	Automatisiert	Konventionell
BAB	42,1%	57,9%
Stadt	17,8%	82,2%
Landstraße	3,7%	96,3%
Gesamt	18,2%	81,8%

© Prognos AG 2018

8 Effekte auf die Verkehrssicherheit bis 2050

8.1 Expost-Analyse zur Verkehrssicherheit

Zur Abbildung der Effekte auf die Verkehrssicherheit wird der Ansatz gewählt, dass ausgehend von der bis 2050 prognostizierten Fahrleistung in den Jahresscheiben das Unfallgeschehen abgeleitet wird. Dabei werden spezifische Unfallrisiken je Fzg-km, differenziert nach Straßentyp und Unfallindikator (Unfälle mit Sachschäden, Unfälle mit Personenschäden, Getötete und Verletzte) verwendet, die im letzten Schritt auch berücksichtigen, ob die Fahrleistung automatisiert erbracht wird.

Eine Prognose des Unfallgeschehens für die Zukunft ist nicht trivial, denn neben der Fahrleistung müssen auch die spezifischen Unfallrisiken fortgeschrieben werden. Eine ex-post-Analyse der letzten zehn Jahre zeigt bereits deutlich, dass keinesfalls die heutigen Unfallraten je Fzg-km unverändert bis 2050 fortgeschrieben werden dürfen, denn die Häufigkeit der meisten Unfallindikatoren nimmt bezogen auf die Fahrleistung kontinuierlich ab:

Tabelle 7: Entwicklung der Unfallindikatoren 2008-2017

	2008	2017	Entwicklung p.a.	Entwicklung p.a. je Fzg-km
Unfälle nur mit Sachschaden	2,0 Mio.	2,3 Mio.	+ 1,7%	+ 0,6%
Unfälle mit Personenschäden	320.000	300.000	- 0,6%	- 1,6%
Getötete	4.500	3.200	- 3,4%	- 4,4%
Verletzte	410.000	390.000	- 0,5%	- 1,5%

© Prognos AG 2018 nach Daten des Statistischen Bundesamts

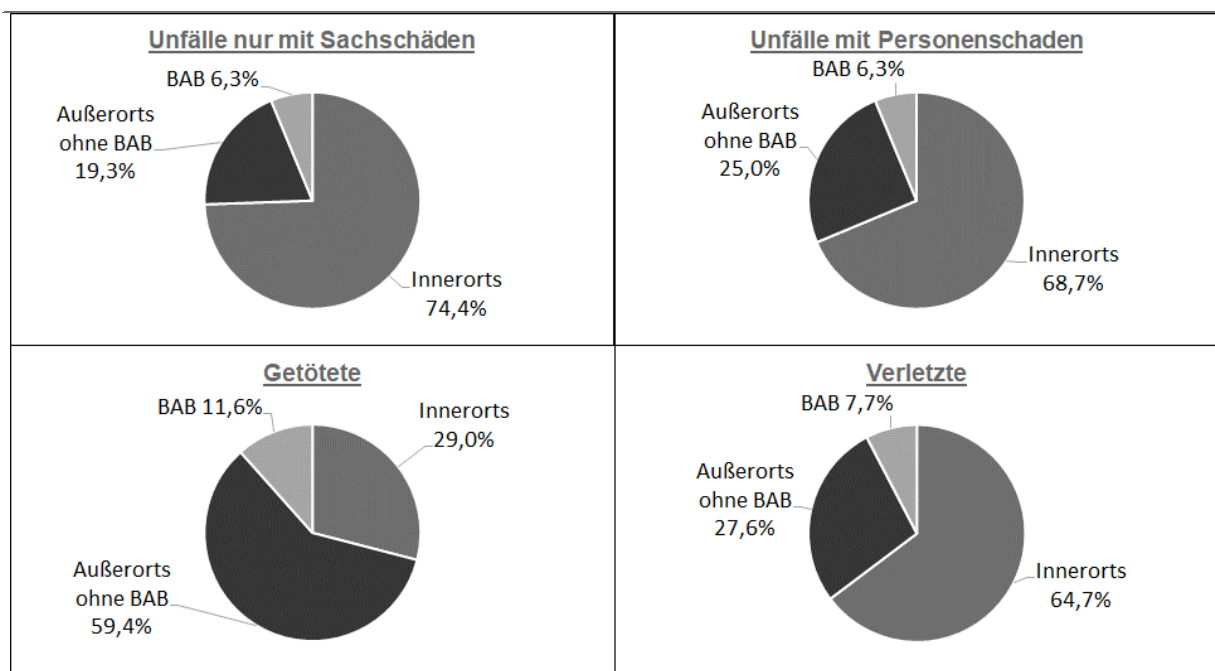
Die Häufigkeit der leichten Unfälle hat demnach sogar zugenommen, während im Bereich der schweren Unfälle deutliche Erfolge erreicht werden konnten. Diese Entwicklung dokumentiert die Effektivität insbesondere von passiven Sicherheitssystemen, die die Folgen von Unfällen in erheblichem Maße abmildern können, obwohl der Unfall selbst nicht immer verhindert werden kann.

Die in Tab. 7 dargestellte Entwicklung der Unfallraten wird bis 2050 fortgeschrieben, denn es ist zu erwarten, dass auch in diesem Zeitraum weitere Sicherheitssysteme entwickelt werden, die die

Schwere der Unfälle weiter reduzieren können, ohne dass sie originär dem Bereich des automatisierten Fahrens zuzurechnen wären. Ein greifbares Beispiel dafür ist der in den nächsten Jahren perspektivisch zur Grundausstattung gehörende Notbremsassistent mit Fußgängererkennung. Derartige Systeme erlauben es, den Trend von weniger Personenschäden trotz höherer Fahrleistung bis 2050 weiter fortzuschreiben. Demgegenüber wird auch der Trend von mehr Unfällen mit Sachschäden fortgeschrieben. Es kann vermutet werden, dass die deutliche Zunahme dieser leichten Unfälle der zunehmenden Verkehrsdichte geschuldet ist. Auch in unseren Szenarien werden steigende Fahrleistungen aufgrund weiter zunehmender Pkw-Bestandszahlen zu noch höheren Verkehrsdichten führen, da die Verkehrsinfrastruktur nicht in gleichem Maße ausgebaut wird.

Bei der Fortschreibung der spezifischen Unfallrisiken je Fzg-km muss berücksichtigt werden, dass sich diese je nach Straßentyp sehr unterschiedlich darstellen. Dies wird in der prozentualen Verteilung der Unfallfolgen nach Straßentyp (Abb. 38) dokumentiert. Da die Verteilung der Fahrleistung auf die drei Straßentypen als konstant angesehen wird (vgl. Abschnitt 7.1), wird auch die Verteilung der Unfallfolgen auf die Straßentypen bis 2050 konstant gehalten.

Abbildung 38: Verteilung der Unfallindikatoren nach Straßentyp (Mittelwerte 2008-2017)



© Prognos AG 2018 nach Daten des Statistischen Bundesamts

8.2 Fortschreibung der Unfallindikatoren ohne Automatisierung

Unter Verwendung der zuvor beschriebenen Methodik wird im Zeitverlauf von folgender Entwicklung der Unfallindikatoren (ohne Berücksichtigung von Automatisierungsfunktionen) ausgegangen:

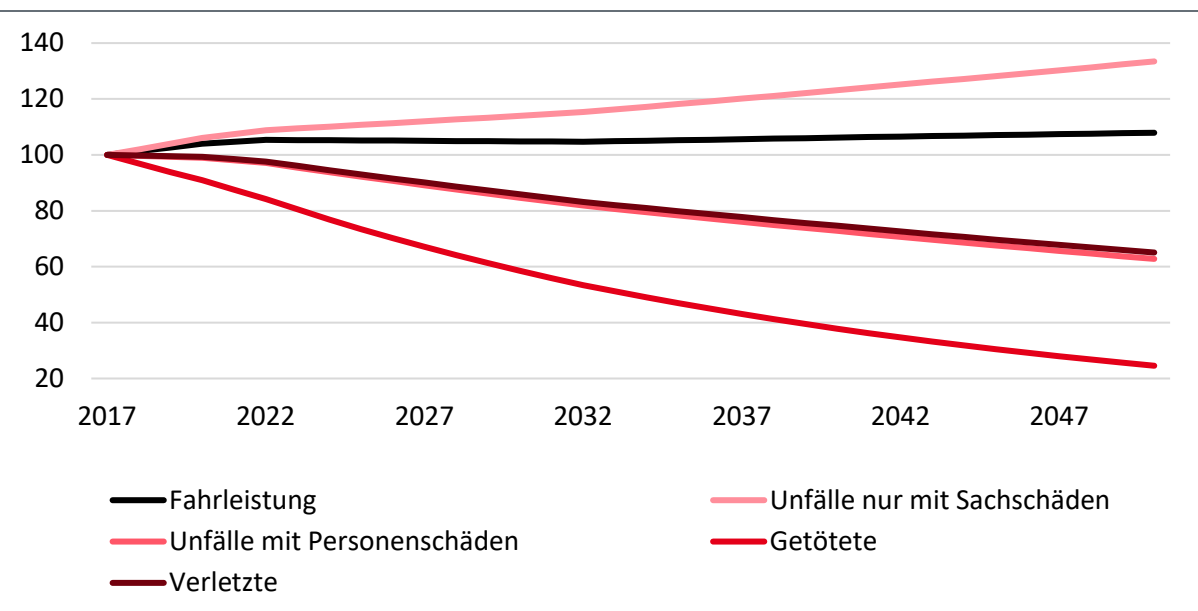
Tabelle 8: Entwicklung der Unfallindikatoren bis 2050 ohne Automatisierungsfunktionen

	2020	2030	2040	2050
Pkw-Fahrleistung in Fzg-km	651 Mrd.	656 Mrd.	664 Mrd.	675 Mrd.
Unfälle nur mit Sachschäden	2,4 Mio.	2,5 Mio.	2,7 Mio.	3,0 Mio.
Unfälle mit Personenschaden	290.000	240.000	210.000	180.000
Getötete	2.800	1.800	1.100	700
Verletzte	370.000	320.000	280.000	240.000

© Prognos AG 2018

Grafisch lässt sich die sehr unterschiedliche Entwicklung der einzelnen Kennzahlen indiziert auf das Niveau von 2017 wie in Abb. 39 darstellen. Es wird deutlich, dass bis zum Jahr 2050 die Unfallfolgen weiter stark abnehmen werden. Dieser Trend ist in der Implementierung von weiteren Sicherheitsmaßnahmen begründet, die unabhängig von einer möglichen Automatisierung der Fahrfunktionen ablaufen. Technische Neuerungen wie etwa der Notbremsassistent mit Fußgängererkennung wirken auch dann, wenn ein Mensch das Fahrzeug steuert. Somit können sie nicht dem Automatisierungseffekt zugerechnet werden. Dieser greift lediglich dann, wenn das Fahrzeug eigenständig die Steuerung übernimmt. Dieser zusätzliche Effekt wird im nächsten Schritt beleuchtet.

Abbildung 39: Entwicklung der Unfallindikatoren bis 2050 ohne Automatisierungsfunktionen, indiziert auf 2017 = 100



© Prognos AG 2018

8.3 Zusätzlicher Sicherheitseffekt der Automatisierung

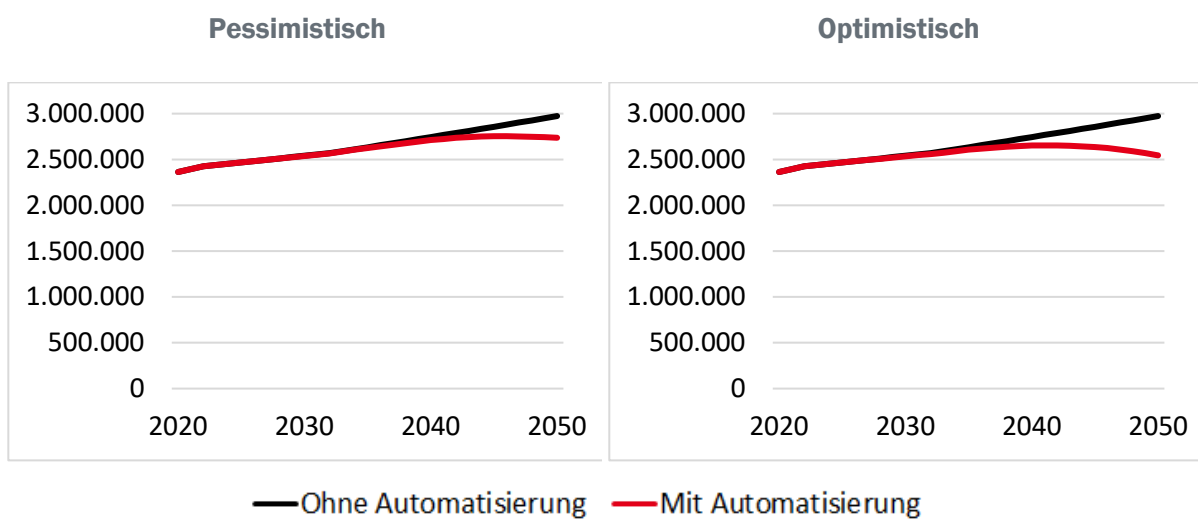
Im finalen Schritt der Studie wird berechnet, welchen zusätzlichen Sicherheitseffekt die Automatisierungsfunktionen beisteuern können. Basis dieser Betrachtung ist die Annahme, dass ein Fahrzeug im automatisierten Fahrmodus keinerlei Unfälle verursacht, die durch menschliches Versagen begründet sind. Laut Statistischem Bundesamt macht das Fehlverhalten von Fahrzeugführern 88% aller erfassten Unfallursachen aus.⁶ Aufbauend auf dieser Zahl wird angenommen, dass sich bei jedem Fzg-km, der automatisiert erbracht wird, die Unfallfolgen um 88% reduzieren. Dabei konnte nicht berücksichtigt werden, in welchem Maße durch Automatisierungsfunktionen neue Unfallursachen (z.B. durch technische Mängel, Ausfälle oder missglückte Interaktionen im Mischverkehr) entstehen werden. Die Größenordnung dieses Automatisierungsrisikos kann bislang nicht belastbar abgeschätzt werden. Zudem sollte bedacht werden, dass die Ethikkommission der Bundesregierung in ihrem Bericht empfohlen hat, derartige Systeme erst dann zuzulassen, wenn sie eine positive Risikobilanz im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen aufweisen können (vgl. dazu Ausführungen auf S. 2 dieses Berichts). Aus diesen Gründen wird hier der beschriebene pauschale Ansatz zur Abbildung der zusätzlichen Sicherheitseffekte verwendet.

Bezogen auf die einzelnen Unfallindikatoren zeigt sich der Effekt der Automatisierungsfunktionen unterschiedlich stark (Abb. 40-43). Während er bei den leichten Unfallfolgen einen deutlich erkennbaren Effekt hat (vgl. Abb. 40), ist der Effekt bei den Getöteten kaum vorhanden. Der Grund dafür ist, dass die Mehrzahl der Verkehrstoten außerorts auf Landstraßen ums Leben kommt und somit dort, wo auch 2050 nur äußerst geringe Anteile der Fahrleistung automatisiert erbracht werden (vgl. Abb. 36 und 37). Insgesamt ist der Effekt der Automatisierungsfunktionen bei allen

⁶ Statistisches Bundesamt (2018): Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2017, S. 11

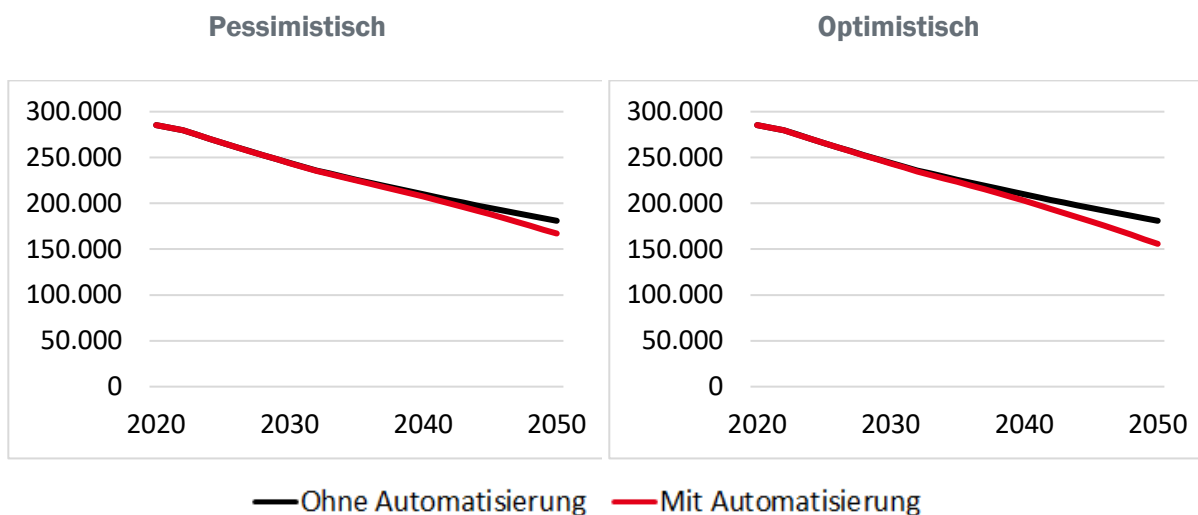
Indikatoren zunächst kaum messbar, baut sich aber erwartungsgemäß bis 2050 im Zuge der zunehmenden Durchdringung sukzessive auf:

Abbildung 40: Entwicklung der Unfälle mit Sachschäden mit und ohne Automatisierung



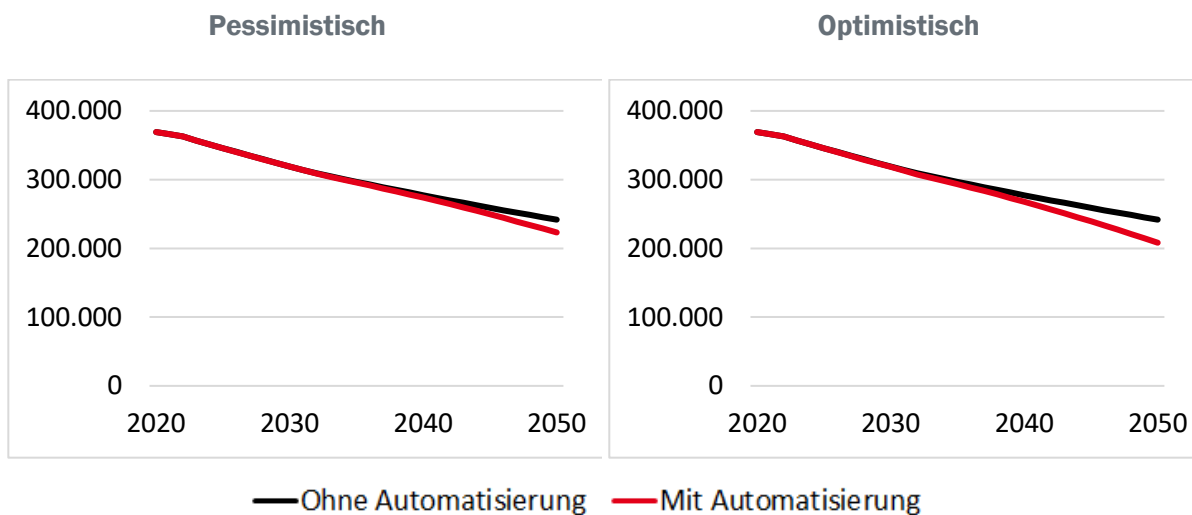
© Prognos AG 2018

Abbildung 41: Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden mit und ohne Automatisierung



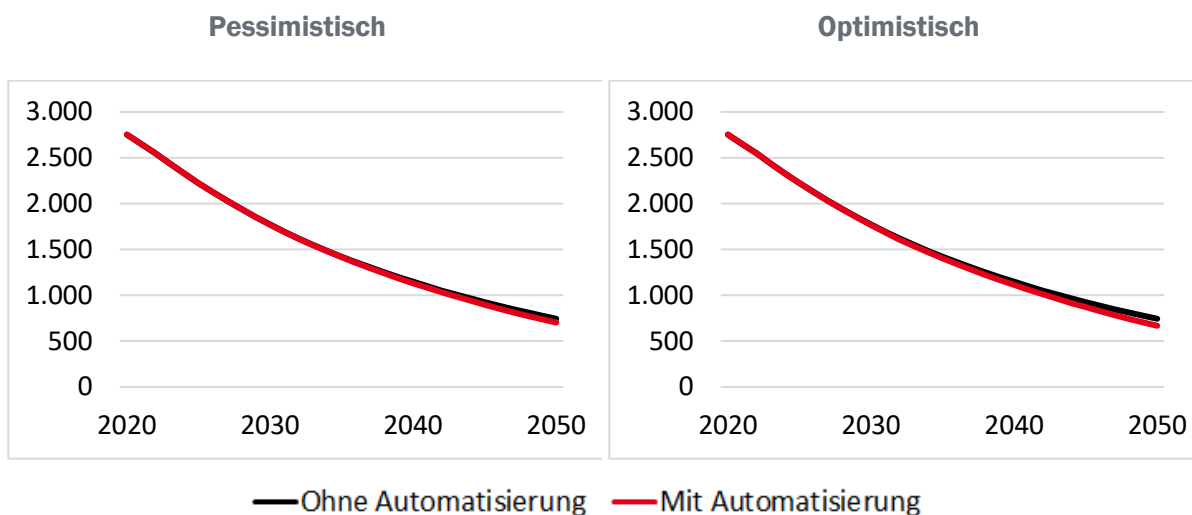
© Prognos AG 2018

Abbildung 42: Entwicklung der Verletzten mit und ohne Automatisierung



© Prognos AG 2018

Abbildung 43: Entwicklung der Getöteten mit und ohne Automatisierung



© Prognos AG 2018

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die kumulierten Effekte der beiden Szenarien im Zeitraum 2020 bis 2050:

Tabelle 9: Kumulierte Sicherheitseffekte 2020 bis 2050 in den Szenarien

	Pessimistisch	Optimistisch
Vermiedene Unfälle mit Sachschäden	1,4 Mio.	2,9 Mio.
Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	120.000	260.000
Vermiedene Sachschäden ⁷	32 Mrd. €	69 Mrd. €
Getötete	370	790
Verletzte	120.000	260.000

© Prognos AG 2018

⁷ Kalkuliert nach Bundesanstalt für Straßenwesen (2018): Volkswirtschaftliche Kosten von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland

9 Schlussbetrachtung

Die Szenarien zeigen, dass unter den gewählten Annahmen die Einführung von Automatisierungsfunktionen keinesfalls disruptiv verlaufen wird, sondern dass diese Funktionen – wie andere Technologien auch – erst langsam in den Bestand "einsickern" werden. Zum Prognosehorizont 2050 wird zwar bereits etwa die Hälfte der Fahrzeuge über eine Automatisierungsfunktion verfügen, in den meisten Fällen wird diese jedoch nur auf Autobahnen nutzbar sein. Eine signifikante Durchdringung mit Fahrzeugen, die im gesamten Netz automatisiert fahren können, ist erst nach 2050 zu erwarten.

Dementsprechend ist bis 2050 auch nur mit sehr geringen Anteilen automatisierter Fahrleistung zu rechnen. Hierbei ist zu bedenken, dass Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen bis 2050 zwar erhebliche Anteile an der Fahrleistung erbringen werden, die Beschränkungen der ausgelieferten Fahrfunktionen führen aber dazu, dass nur ein Bruchteil davon auf Straßentypen stattfindet, für die auch eine passende Automatisierung zur Verfügung steht. Zudem kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Funktionen sofort in vollem Maße eingesetzt werden. Diese beiden Faktoren führen dazu, dass 2050 maximal jeder fünfte Fzg-km automatisiert erbracht werden könnte. Dieser Wert schwankt zwischen den Straßentypen stark: Während auf Autobahnen schon gut 40% der Fahrleistung automatisiert erbracht werden könnte, sind es auf Landstraßen noch weniger als 4%.

Der geringe Anteil automatisiert erbrachter Fahrleistungen beeinflusst auch die Sicherheitswirkungen. Nennenswerte Beiträge kann das automatisierte Fahren erst langsam zum Prognosehorizont hin zeigen. Am ehesten treten diese Effekte bei der Verminderung von Sachschäden auf. Da die schweren Unfallfolgen besonders stark auf Landstraßen auftreten, wo die Automatisierung bis 2050 noch kaum greifen wird, wird der Effekt der Automatisierung bei den Verkehrstoten bis zu diesem Zeitpunkt noch marginal sein.

Ansprechpartner

Ihre Ansprechpartner bei Prognos



Sven Altenburg

Projektleiter

Telefon: +49 30 5200 59-241

E-Mail: svan.altenburg@prognos.com



Hans-Paul Kienzler

Bereichsleiter Mobilität & Transport

Telefon: +49 211 91316-120

E-Mail: hans-paul.kienzler@prognos.com

Impressum

Einführung von
Automatisierungsfunktionen
in der Pkw-Flotte
Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit

Erstellt im Auftrag von

ADAC e.V.
Hansastr. 19
80686 München
www.adac.de

Bearbeitet von

Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin
Telefon: +49 30 52 00 59-210
Fax: +49 30 52 00 59-201
E-Mail: info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/Prognos_AG

Stand: Juli 2018

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, beim Auftraggeber. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung des Auftraggebers.