



Deliverable D5.5

TP5-Abschlussbericht – Teil B-1B

Volkswirtschaftliche Bewertung: Wirkungen von sim^{TD} auf die Verkehrssicherheit und die Verkehrseffizienz

Version	1.0
Verbreitung	Öffentlich
Projektkoordination	Daimler AG
Versionsdatum	24.06.2013



sim^{TD} wird gefördert und unterstützt durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Dieses Dokument wurde erstellt vom Institute for Economic Research and Consulting (IERC) GmbH

Beiträge wurden verfasst von
Professor Dr. rer. pol. habil. Wolfgang H. Schulz
Dr. rer. nat. Nicole Joisten
Miriam Mainka (B.A.)

Projektkoordination
Dr. Christian Weiß
Daimler AG
HPC 050 – X430
71059 Sindelfingen
Germany

Telefon +49 7031 90 47118
Fax +49 711 3052154999
E-Mail christian.a.weiss@daimler.com

Das sim^{TD}-Konsortium übernimmt keinerlei Haftung in Bezug auf die veröffentlichten Deliverables. Änderungen sind ohne Ankündigung möglich. © Copyright 2013 sim^{TD}-Konsortium.

The sim^{TD} consortium will not be liable for any use of the published deliverables. Contents are subject to change without notice. © Copyright 2013 sim^{TD} consortium.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1 Verkehrssicherheitswirkungen.....	2
1.1 Aktualisierung der relevanten Kostensätze	2
1.2 Untersuchungszeitraum.....	3
1.3 MAIS-Bewertung.....	3
1.4 Unfalltypen.....	4
2 Elektronisches Bremslicht	5
2.1 Wirkfeld.....	5
2.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen	5
2.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	6
2.4 Verringerung der Verletzungsschwere	9
2.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen	10
2.6 Übersicht über die Nutzenwirkung.....	11
3 Querverkehrsassistent (A_2.2.4.1).....	12
3.1 Wirkfeld.....	12
3.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen	12
3.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	13
3.4 Verringerung der Verletzungsschwere	15
3.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen	16
3.6 Übersicht über die Nutzenwirkung.....	17
4 Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (A_2.2.1.2).....	18
4.1 Wirkfeld.....	18
4.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen	18
4.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	19
4.4 Verringerung der Verletzungsschwere	21
4.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen	22
4.6 Übersicht über die Nutzenwirkung.....	23
4.7 Gesamter Verkehrssicherheitsnutzen durch sim ^{TD}	23
5 Dynamisierung der Nutzenberechnung.....	24
5.1 Methodische Vorgehensweise.....	24
5.2 Prognose Anzahl der Unfälle mit Personenschaden	26
5.3 Prognose über die Relation der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden zu Unfällen mit Personenschaden	27
5.4 Prognose Relation übrige Sachschäden zu schwerwiegenden Sachschäden	28
5.5 Prognose der Entwicklung der Unfälle mit Personenschäden, schwerwiegenden Sachschäden und übrigen Sachschäden	29

6	Verkehrssicherheitsnutzen durch CX2-Systeme	31
6.1	<i>Vorgehensweise und Annahmen</i>	31
6.2	<i>Maximalnutzen von QVA, EBL und WNBU</i>	32
6.3	<i>Entwicklung der C2X-PKW-Anteile an der gesamten PKW-Flotte</i>	36
6.4	<i>Weitere Verkehrssicherheitswirkungen von sim^{TD} und Gesamtverkehrssicherheitnutzen</i>	40
6.5	<i>Zwischenfazit I: Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrssicherheitseffekte</i> ..	44
7	Verkehrseffizienz	45
7.1	<i>Vorbemerkung</i>	45
7.2	<i>Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse</i>	45
7.3	<i>Zwischenfazit II: Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrseffizienzeffekte</i>	52
8	Kosten für Fahrzeugausstattung und Infrastruktur	53
9	Gesamtergebnisse	54
	Literaturverzeichnis	56
	Abkürzungen	57

Abbildungen

Abbildung 1: Regressionsfunktion für die Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden für den Zeitraum von 1995 bis 2012.....	26
Abbildung 2: Regressionsfunktion für die Entwicklung der Relation der schwerwiegenden Sachschadensunfälle zu den Unfällen mit Personenschaden für den Zeitraum von 1995 bis 2012.....	27
Abbildung 3: Die Entwicklung der Relation zwischen den Unfällen mit übrigen Sachschäden und den Unfällen mit schwerwiegenden Sachschäden für den Zeitraum von 1995 bis 2012.....	28
Abbildung 4: Entwicklung der C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte in Prozent über den Zeitraum von 2015 bis 2025.....	36
Abbildung 5: Anpassungsgüte zwischen kubischem Fortschreibungsmodell und Entwicklung der C2X-Ausstattungsquote an der gesamten PKW-Flotte.....	37
Abbildung 6: Entwicklung der C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte in Prozent über den Zeitraum von 2015 bis 2035.....	37
Abbildung 7: Entwicklung des jährlichen Verkehrssicherheitsnutzens von EBL, QVA und WNBU über den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro.....	38
Abbildung 8: Entwicklung der Nutzen durch vermiedene Unfälle mit Personenschaden durch die übrigen sim ^{TD} -Funktionen (ohne EBL, QVA, WBNU) für den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro.....	40
Abbildung 9: Jährlicher Gesamtnutzen der Verkehrssicherheitsfunktionen von sim ^{TD}	42

Tabellen

Tabelle 1: Entwicklung der Verbraucherpreise von 2009 bis 2012	2
Tabelle 2: Aktualisierte Kostensätze für Personenschäden pro Straßenverkehrsunfall.....	2
Tabelle 3: Kostensätze für Sachschäden pro Straßenverkehrsunfall (BAST-2010).....	3
Tabelle 4: Unfallkostensätze im Jahr 2012 (mit Berücksichtigung der Personen- und Sachschäden)	3
Tabelle 5: Klassen der Verletzungsschwere	4
Tabelle 6: Unfalltypen nach GIDAS und Statistischem Bundesamt	4
Tabelle 7: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für das Elektronische Bremslicht.....	5
Tabelle 8: Relevante Unfalltypen für das Elektronische Bremslicht	6
Tabelle 9: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Elektronisches Bremslicht (2011).....	6
Tabelle 10: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Elektronisches Bremslicht (2011).....	7
Tabelle 11: Ermittlung der Anzahl der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011	8
Tabelle 12: Ermittlung des Nutzens der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011	8
Tabelle 13: Ermittlung der Anzahl von Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011	9
Tabelle 14: Ermittlung des Nutzens durch die Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011	9
Tabelle 15: Wirkungen des Elektronischen Bremslichts auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden.....	10
Tabelle 16: Wirkungen des Elektronischen Bremslichts auf übrige Sachschadensunfälle	10
Tabelle 17: Nutzenwirkungen des Elektronischen Bremslichts.....	11
Tabelle 18: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für den Querverkehrsassistenten	12
Tabelle 19: Relevante Unfalltypen für den Querverkehrsassistent	12
Tabelle 20: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Querverkehrsassistent (2011)	13
Tabelle 21: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Querverkehrsassistent (2011)	14
Tabelle 22: Ermittlung der Anzahl der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011	14
Tabelle 23: Ermittlung der Nutzen der vermeidbar Verletzten durch vermiedene Unfälle	14
Tabelle 24: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011	15
Tabelle 25: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011	15

Tabelle 26: Wirkungen des Querverkehrsassistenten auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden.....	16
Tabelle 27: Wirkungen des Querverkehrsassistenten auf übrige Sachschadensunfälle	16
Tabelle 28: Nutzenwirkungen des Querverkehrsassistenten	17
Tabelle 29: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen.....	18
Tabelle 30: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (2011)	19
Tabelle 31: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (2011)	19
Tabelle 32: Ermittlung der Anzahl vermeidbarer Verletzter durch vermiedene Unfälle infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011	20
Tabelle 33: Ermittlung des Nutzens vermeidbarer Verletzter durch vermiedene Unfälle infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011	20
Tabelle 34: Ermittlung der Anzahl der Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011	21
Tabelle 35: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011	21
Tabelle 36: Wirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden.....	22
Tabelle 37: Wirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen auf übrige Sachschadensunfälle	22
Tabelle 38: Nutzenwirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen.....	23
Tabelle 39: Gesamtübersicht	23
Tabelle 40: Entwicklung der Personenschadensunfälle und der zugehörigen Unfallrelationen	30
Tabelle 41: Jährlicher Nutzen durch das Elektronische Bremslicht für den Zeitraum von 2011 bis 2035.....	32
Tabelle 42: Jährlicher Nutzen durch den Querverkehrsassistenten für den Zeitraum von 2011 bis 2035.....	33
Tabelle 43: Jährlicher Nutzen durch die Warnung bei Nichtbeachtung der Verkehrszeichen für den Zeitraum von 2011 bis 2035.....	34
Tabelle 44: Jährliche Gesamtnutzen durch das Elektronische Bremslicht, durch den Querverkehrsassistenten und durch die Warnung bei Nichtbeachtung der Verkehrszeichen für den Zeitraum von 2011 bis 2035.....	35
Tabelle 45: Entwicklung des jährlichen Verkehrssicherheitsnutzens von EBL, QVA und WNBU über den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro	39
Tabelle 46: Entwicklung der Nutzen durch vermiedene Unfälle mit Personenschaden durch die übrigen sim ^{TD} -Funktionen (ohne EBL, QVA, WBNU) für den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro	41
Tabelle 47: Jährlicher Gesamtnutzen der Verkehrssicherheitsfunktionen von sim ^{TD}	43

Tabelle 48: Jährliche Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrssicherheitseffekte von sim ^{TD}	44
Tabelle 49: Einwohnerzahlen der Großstädte Deutschlands, Stand 31.12.2010.....	50
Tabelle 50: Jährlicher Nutzen von sim ^{TD} durch eine verbesserte Verkehrseffizienz für den Zeitraum von 2015 bis 2035.....	51
Tabelle 51: Jährliche Nutzen und Kosten von sim ^{TD} durch eine verbesserte Verkehrseffizienz für den Zeitraum von 2015 bis 2035	52
Tabelle 52: Kosten über den Zeitraum von 2015 bis 2035.....	53
Tabelle 53: Entwicklung verschiedener Nutzen-Kosten Quotienten von 2015 bis 2035	55

Zusammenfassung

Um die wesentlichen Verkehrssicherheitswirkungen von sim^{TD} zu ermitteln, werden das Elektronische Bremslicht, der Querverkehrsassistent und die Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen untersucht. Es werden die Nutzenwirkungen unter der Prämisse bestimmt, dass diese Systeme ihre vollständige Wirksamkeit durch eine entsprechend hohe Ausstattungsquote entfalten können. Insofern stellen die ausgewiesenen Werte immer das Wirkungspotential dieser Funktionen dar. Die Rechenschritte werden beispielhaft für das Jahr 2011 für jede Anwendung dargestellt, so dass eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit erreicht wird. Da die Systeme in den Markt eingeführt werden, ist mit jährlich steigenden Ausstattungsquoten zu rechnen. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, die Nutzenwirkungen für den Zeitraum von 2012 bis 2035 zu ermitteln. Dazu wird mit Hilfe von Regressionsrechnungen ein signifikantes und robustes Fortschreibungsmodell entwickelt. Hier zeigt sich aber auch, dass sich aufgrund des allgemeinen und trendmäßigen Rückgangs der Unfallzahlen, der Gesamtnutzen im Zeitablauf geringfügig verringert.

Die Effizienzwirkungen werden für die Erweiterte Dynamische Navigation, Umleitungsempfehlung, Lichtsignalanlagensteuerung sowie Ampelphasenassistent ermittelt. Aufgrund eines eingeschränkten Bearbeitungszeitraumes war hier eine Fortschreibung der Nutzenwirkungen über den Zeitraum von 2015 bis 2035 nur unter ceteris-paribus Bedingungen möglich. Damit konnte das erwartete Verkehrsleistungswachstum nicht mitberücksichtigt werden. Insofern wird der Verkehrseffizienznutzen eher unterschätzt.

Die Berechnungen zeigen, dass bei einer 100%-igen Ausstattungsquote mit sim^{TD} ein Nutzen-Kosten-Verhältnis größer als 8 erreicht werden kann. Bei serienmäßiger Markteinführung der sim^{TD}-Systeme über einen Zeitraum von 2015 bis 2035 liegt der Nutzen-Kosten-Quotient über 3.

1 Verkehrssicherheitswirkungen

Die volkswirtschaftlichen Nutzen infolge einer verbesserten Verkehrssicherheit sollen für die nachstehend aufgeführten sim^{TD}-Systeme ermittelt werden:

- Elektronisches Bremslicht
- Querverkehrsassistent
- Verkehrszeichenassistent

1.1 Aktualisierung der relevanten Kostensätze

Die in sim^{TD} hergeleiteten Kostensätze werden auf den Preisstand 2012 aktualisiert.

Die Entwicklung der Verbraucherpreise (=Inflationsrate) stellt sich wie in der folgenden Tabelle wiedergegeben dar.

Jahr	Verbraucherpreisindex (2010=100)	Prozentuale Veränderung gegenüber dem Vorjahr
2009	98,9	--
2010	100,0	+1,11%
2011	102,1	+2,10%
2012	104,1	+1,96%

Tabelle 1: Entwicklung der Verbraucherpreise von 2009 bis 2012
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2013)

In 2012 sind demnach gegenüber dem Jahr 2009 die Verbraucherpreise um insgesamt +5,26% angestiegen.

Die Tabellen 2 bis 4 beinhalten die aktualisierten Unfallkostensätze.

Unfallfolgen	Personenschaden- kostensatz pro Unfall 2009	Personenschadenkostensatz pro Unfall 2012
Getötete	1.209.426 €	1.273.042 €
Schwerverletzte	134.951 €	142.049 €
Leichtverletzte	6.743 €	7.098 €

Tabelle 2: Aktualisierte Kostensätze für Personenschäden pro Straßenverkehrsunfall
(Quelle: simTD; eigene Berechnungen)

Unfallfolgen	Sachschadenskostensätze pro Unfall	
	2009	2012
Getötete	42.325 €	44.551 €
Schwerverletzte	20.295 €	21.363 €
Leichtverletzte	13.606 €	14.322 €
Schwerwiegender Unfall ohne Personenschaden (= nur Sachschaden)	19.741 €	20.779 €
Übrige Sachschadensunfälle	5.826 €	6.132 €

Tabelle 3: Kostensätze für Sachschäden pro Straßenverkehrsunfall (BASt-2010)
(Quelle: sim^{TD}; eigene Berechnungen.)

Unfallfolgen	Unfallkostensätze
Getötete	1.317.593 €
Schwerverletzte	163.412 €
Leichtverletzte	21.420 €
Schwerwiegender Unfall ohne Personenschaden (= nur Sachschaden)	20.779 €
Übrige Sachschadensunfälle	6.132 €

Tabelle 4: Unfallkostensätze im Jahr 2012 (mit Berücksichtigung der Personen- und Sachschäden)
(Quelle: sim^{TD}; Baum, Maßmann, Schulz, Thiele 1992, S. 202; Baum, Maßmann, Pfau, Schulz 1994, S. 26; eigene Berechnungen.)

1.2 Untersuchungszeitraum

Die Ermittlung der Verkehrssicherheitswirkungen wird für das Untersuchungsjahr 2011 exemplarisch durchgeführt, weil zum Berichtszeitpunkt der aktuellste Stand der jährlichen Unfallstatistik das Berichtsjahr 2011 ist.

Der gesamte Untersuchungszeitraum erstreckt sich bis zum Jahr 2035. Es werden daher in einem nächsten Schritt die gesamten Verkehrssicherheitswirkungen für den Zeitraum von 2010 bis 2035 unter Berücksichtigung der prognostizierten Unfallentwicklung berechnet, um daraus den durchschnittlichen jährlichen Nutzenbeitrag für die C2X-Verkehrssicherheitsanwendungen zu ermitteln.

1.3 MAIS-Bewertung

Einen Sonderfall stellt die ausschließlich in den USA angewendete Klassifikation nach MAIS dar. Die MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale) wurde von der American Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) konzipiert und wird laufend überarbeitet. Die Skala reicht vom Level MAIS 0 (unverletzt) bis zu MAIS 6 (medizinisch nicht behandelbar). Die Einstufung der Verletzung erfolgt durch Ärzte. Die Skala gibt dabei den Schweregrad der schwersten vorhandenen Verletzung eines Verunglückten an. Die Klassifizierung nach der MAIS wird gegenwärtig auch in Europa für medizinische Untersuchungen eingesetzt, jedoch ist eine flächendeckende Erfassung der Verletzungsschwere nach MAIS für die Unfallstatistik nicht möglich.

Klassen der Verletzungsschwere	Zustand des Verletzten	Unfallkosten pro Person in US\$ (1994)
MAIS 0	nicht verletzt	146
MAIS 1	gering verletzt	3.777
MAIS 2	mäßig verletzt	31.164
MAIS 3	schwer verletzt	98.011
MAIS 4	ernsthaft verletzt (Lebensgefahr)	221.494
MAIS 5	kritisch verletzt (Überleben unsicher)	697.533
Fatal	tot	822.328

Tabelle 5: Klassen der Verletzungsschwere
(Quelle: Blincoe, L., The Economic Cost of Motor Vehicle Crashes, 1994, NHTSA Technical Report, Washington DC, S. 10.)

1.4 Unfalltypen

In der nachfolgenden Tabelle werden die aus der GIDAS-Datenbank definierten Unfalltypen den entsprechenden offiziellen Unfalltypen des Statistischen Bundesamtes zugeordnet.

Unfalltypen GIDAS	Unfalltypen Statistisches Bundesamt
100 bis 199	Fahrunfall
200 bis 299	Abbiege-Unfall
300 bis 399	Einbiegen/Kreuzungsunfall
400 bis 499	Überschreitungsunfall
500 bis 599	Unfall durch ruhenden Verkehr
600 bis 699	Unfall im Längsverkehr
700 bis 799	Sonstiger Unfall

Tabelle 6: Unfalltypen nach GIDAS und Statistischem Bundesamt
(Quelle: eigene Zusammenstellung.)

2 Elektronisches Bremslicht

2.1 Wirkfeld

Das Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ wurde in sim^{TD} auf der Grundlage der von GIDAS (German In-Depth Accident Study) erhobenen Unfalldaten analysiert. Basierend auf den Verkehrsunfallzahlen für das Jahr 2007 werden die Unfälle mit Personenschäden mit C2X-relevantem Unfallverursacher sowie mit C2X-relevantem Unfallgegner hergeleitet.

Unfalldaten liegen bis 2011 vor. Entsprechend der Herleitungssystematik der GIDAS-Wirkfeldanalyse ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Wirkfelddaten.

	Jahr				
	2007	2008	2009	2010	2011
Unfälle mit Personenschaden	335845	320 614	310 806	288 297	306 266
... Auffahrsszenarien	54400	51933	50344	46698	49609
... mit C2X-relevantem Unfallverursacher	50600	48305	46828	43436	46143
... mit C2X-relevantem Unfallgegner	48100	45919	44514	41290	43864

Tabelle 7: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für das Elektronische Bremslicht
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012; GIDAS-Wirkfeldanalyse; eigene Berechnungen.)

Neben dem Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ besteht natürlich gerade bei der Funktionalität Elektronisches Bremslicht das Wirkfeld „Unfälle nur mit Sachschaden“. Eine Darstellung beziehungsweise Erfassung dieses Wirkfeldes wurde in sim^{TD} nicht durchgeführt.

Es wird daher versucht mit Hilfe der verfügbaren statistischen Daten das Wirkfeld „Unfälle nur mit Sachschaden“ zu ermitteln, um damit auch das Vermeidungspotential für Auffahrunfälle mit Sachschäden zu erfassen.

2.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen

Volkswirtschaftliche Einsparungen ergeben sich aus folgenden Verkehrssicherheitswirkungen des Elektronischen Bremslichts:

- Vermeidung von Unfällen mit Personenschaden,
- Verringerung der Verletzungsschwere für Unfälle, die nicht vermieden werden können,
- Vermeidung von Unfällen mit schwerwiegenden Sachschäden,
- Vermeidung von Unfällen mit übrigen Sachschäden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, welche Unfalltypen nach GIDAS und dem Statistischen Bundesamt relevant sind für das Elektronische Bremslicht

Unfalltypen GIDAS	Unfalltypen Statistisches Bundesamt
201, 204, 231	Abbiege-Unfall
541, 542	Unfall durch ruhenden Verkehr
601 bis 629	Unfall im Längsverkehr

Tabelle 8: Relevante Unfalltypen für das Elektronische Bremslicht
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; GIDAS-Wirkfeldanalyse; eigene Zusammenstellung.)

2.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden

Es ist davon auszugehen, dass 7,3% der Unfälle mit Personenschaden durch den Einsatz des Elektronischen Bremslichts in dem Wirkfeld vermieden werden können [Unfallforschung 2013]. Mit dieser Angabe ist die Ermittlung der Verkehrssicherheitswirkungen möglich.

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Kalkulationsschritte für das Jahr 2011. Die Unfälle mit Personenschaden belaufen sich auf 306.226 Unfälle im Jahr 2011. Entsprechend der systematischen Vorgehensweise der GIDAS-Wirkfeldanalyse errechnen sich 46.143 C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden. Bei einer Vermeidungsquote von 7,3% lassen sich damit 3.368 Unfälle mit Personenschaden vermeiden.

Die folgende Tabelle stellt die Relationen der Verletzungsschwere (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) bezogen auf Unfälle mit Personenschaden für die Gesamtheit aller Unfälle mit Personenschaden und die für das Elektronische Bremslicht relevanten Unfalltypen mit Personenschaden gegenüber. Die typischen Unfälle mit Personenschaden für das Elektronische Bremslicht führen in der Regel zu weniger Getöteten und Schwerverletzten im Vergleich zu der Gesamtheit aller Unfälle. Demgegenüber ist die Anzahl der Leichtverletzten mit mehr als 13,3% deutlich höher als der durchschnittliche Anteil der Leichtverletzten bei Unfällen mit Personenschaden. Die deutlich höhere Anzahl der Leichtverletzten bei für das Elektronische Bremslicht typischen Unfällen führt dazu, dass die Relation der Verletzten insgesamt pro Unfall um 6,4% über dem durchschnittlichen Wert liegt.

Verletzungsschwere pro Unfall	Unfälle mit Personenschaden		Prozentualer Unterschied
	Insgesamt	Relevant für das Elektronische Bremslicht	
Getöteter pro Unfall	0,0131	0,0094	-28,2%
Schwerverletzter pro Unfall	0,2252	0,1718	-23,7%
Leichtverletzter pro Unfall	1,0559	1,1965	+13,3%
Verletzte insgesamt pro Unfall	1,294	1,377	+6,4%

Tabelle 9: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Elektronisches Bremslicht (2011)
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Mit diesen Relationen lassen sich die Reduktionen der Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten berechnen. Hier stellt sich die Frage, ob die Strukturausprägungen über alle Unfälle mit Personenschaden auf die C2X-relevanten Unfälle mit Personenschaden übertragbar sind. Da insgesamt dazu keine endgültig gesicherten empirischen Erkenntnisse vorliegen, könnte daher mit der Durchschnittsannahme gearbeitet werden. Mit dieser Vorgehensweise werden die Sicherheitsgewinne infolge von weniger Verletzten tendenziell überschätzt, wenn dazu die Relationen aus der GIDAS-Auswertung als empirisch relevant interpretiert werden.

Im Rahmen der GIDAS-Auswertung wurden insgesamt 447 Unfälle betrachtet mit 28 Personen, die eine MAIS2+ Verletzung hatten, bei insgesamt 1430 unfallbeteiligten Personen. Damit errechnet sich eine Quote von 0,06264 Verletzten pro C2X-relevantem Unfall mit Personenschaden. Über alle Unfälle mit Personenschaden liegt die Quote der Verletzten im Jahr 2011 pro Unfall jedoch bei 1,294 und sogar bei 1,377 für Unfälle, die für das Elektronische Bremslicht typisch sind. Damit besteht zwischen der GIDAS-Stichprobe und der Grundgesamtheit eine erhebliche Diskrepanz. Von den simulierbaren Unfällen entfallen 8% auf die Autobahn [Unfallforschung 2013]. Im Jahr 2011 fanden demgegenüber tatsächlich 5,97% der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen statt. Unfälle mit Personenschaden auf der Autobahn werden aufgrund der insgesamt höheren Geschwindigkeiten unabhängig vom Unfalltyp ähnliche Verletzungsstrukturen aufweisen. Der höhere Anteil der Autobahnunfälle bei den GIDAS-Unfällen legt nahe, dass bei Verwendung der Durchschnittsannahme, die Unfallwirkungen unterschätzt werden.

Vor dem Hintergrund der GIDAS-Daten, die je nach Sichtweise, die Verkehrssicherheitsgewinne über- oder unterschätzen, ist die empirisch verlässlichere Methode, die Anwendung der Durchschnittswerte aus der amtlichen Verkehrsunfallstatistik.

Für den weiteren Gang der Berechnung wird mit der aus der amtlichen Verkehrsunfallstatistik ermittelten Quote der Verletzten pro Unfall weitergerechnet. Insgesamt können in 2011 dann 4641 Verletzte vermieden werden. Wie sich die Verletzten auf Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte verteilen, kann ebenfalls aus der amtlichen Verkehrsunfallstatistik bestimmt werden (siehe folgende Tabelle) (Statistisches Bundesamt 2012).

Verletzungsschwere pro Anteil an den Verletzten	Unfälle mit Personenschaden		Prozentualer Unterschied
	Insgesamt	Relevant für das Elektronische Bremslicht	
Getötete	0,0101	0,0068	-32,7%
Schwerverletzte	0,1740	0,1247	-28,3%
Leichtverletzte	0,8158	0,8685	+6,4%

Tabelle 10: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Elektronisches Bremslicht (2011)
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht, wie die Anzahl der vermeidbaren Verletzten ermittelt wird.

	Anzahl
Unfälle mit Personenschaden	306 226
C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden	43864
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 7,3% (=vermeidbare Unfälle bezogen auf das Wirkfeld)	3 202
Verletzte pro Unfall	1,377
Vermeidbare Verletzte	4 409

Tabelle 11: Ermittlung der Anzahl der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen, D5-3 Teil 2.)

Tabelle 12 beinhaltet die Aufteilung der vermeidbaren Verletzten auf die Verletzungskategorien Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte. Mit dieser Aufteilung ist es möglich mit den Unfallkostensätzen die gesamte Nutzenwirkung für das Jahr 2011 zu berechnen. Insgesamt liegt der Nutzen bei 211,4 Mio. Euro.

	Anzahl	Nutzen in Millionen Euro
Vermeidbare Getötete	30	39,5
Vermeidbare Schwerverletzte	550	89,9
Vermeidbare Leichtverletzte	3 829	82,0
Gesamt	4 409	211,4

Tabelle 12: Ermittlung des Nutzens der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen, D5-3 Teil 2.)

2.4 Verringerung der Verletzungsschwere

Durch das Elektronische Bremslicht können weiterhin die MAIS2+ Verletzten reduziert werden. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Anzahl von Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere wird in Tabelle 13 wiedergegeben.

	Anzahl
Unfälle mit Personenschaden	306 226
C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden	43 864
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 7,3% (=vermeidbare Unfälle)	3 202
Nicht-vermeidbare Unfälle	40 662
Verletzte pro Unfall	1,3777
Verletzte	55 992
Erwartungswert der Reduktion	43,2%
Verletzte mit einer verringerten Verletzungsschwere	24 189

Tabelle 13: Ermittlung der Anzahl von Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Insgesamt beläuft sich der jährliche Nutzen infolge einer verringerten Verletzungsschwere für das Elektronische Bremslicht auf 1,2 Mrd. Euro.

Anzahl der Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere	24189
Gewichteter Unfallkostensatz in Euro je Verletztem	47928 Euro je Verletztem
Nutzen durch Verringerung der Verletzungsschwere	1.159,3 Mio. Euro

Tabelle 14: Ermittlung des Nutzens durch die Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

2.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen

Analog zu der Vermeidungswirkung des Elektronischen Bremslichts bei Unfällen mit Personenschaden werden auch die Unfälle mit Sachschaden verringert. Die Unfälle mit Sachschaden wurden allerdings nicht in der Wirkfeldanalyse berücksichtigt. Insofern ist es nur möglich für die reinen Sachschadensunfälle anzunehmen, dass die Unfallvermeidungswirkung des Elektronischen Bremslichts anwendbar ist. Da definitionsgemäß keine Personenschäden entstehen, spielt der Effekt des verringerten Verletzungsrisikos keine Rolle.

	2011
Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	81487
Relevant für das Elektronische Bremslicht	23706
Vermeidbare Unfälle	1731
Nutzen in Millionen Euro	35,9

Tabelle 15: Wirkungen des Elektronischen Bremslichts auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden
(Quelle: eigene Berechnungen.)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Wirkungen des Elektronischen Bremslichts auf die übrigen Sachschadensunfälle ermittelt. Eine Aufschlüsselung der übrigen Sachschadensunfälle nach Unfalltypen ist nicht möglich, weil dazu die Angaben in der amtlichen Verkehrsunfallstatistik fehlen. Hier wird die empirische Relation angenommen, dass auf einen schwerwiegenden Unfall 24 übrige Sachschadensfälle kommen. Im Jahr 1995 lag diese Relation bei 13. Seitdem ist sie kontinuierlich und stetig von Jahr zu Jahr angestiegen. Von 1995 bis 2011 hat sich diese Relation um insgesamt +84,6% erhöht. Vergleichsweise ist die Relation der Sachschäden je Personenschaden von 4,7 im Jahr 1995 auf 6,7 im Jahr 2011 angestiegen. Damit hat sich diese Relation um +42,6% erhöht. Diese Entwicklung verdeutlicht, dass der Rückgang der Unfälle mit Personenschäden im Zeitraum von 1995 bis 2011 in Höhe von -21,1% gleichzeitig mit einem Anstieg der Sachschadensunfälle einhergeht. Insofern wird das Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ im Zeitablauf immer geringer, während das leider nicht erfasste Wirkfeld „Unfälle mit Sachschaden“ deutlich zunehmen wird. Aufgrund der unterschiedlichen Veränderungsraten kann aus dem Rückgang der Unfälle mit Personenschaden nicht geschlossen werden, dass der volkswirtschaftliche Ressourcenverlust infolge von Straßenverkehrsunfällen geringer wird. Das spricht insgesamt für eine Dynamisierung der Unfallkostenanalysen.

	2011
Übrige Sachschadensunfälle	1957443
Relevant für das Elektronische Bremslicht	568944
Vermeidbare Unfälle	41533
Nutzen in Millionen Euro	254,7

Tabelle 16: Wirkungen des Elektronischen Bremslichts auf übrige Sachschadensunfälle
(Quelle: eigene Berechnungen.)

2.6 Übersicht über die Nutzenwirkung

Tabelle 17 fasst die Nutzenwirkungen des Elektronischen Bremslichts für das Jahr 2011 zusammen. Insgesamt kann ein maximaler jährlicher Nutzen von 1,7 Mrd. Euro erzielt werden.

Verkehrssicherheitswirkungen	Nutzen in Millionen Euro im Jahr 2011
Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	211,4
Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	1.159,0
Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	35,9
Vermiedene übrige Sachschadensunfälle	254,7
Gesamt	1.661,0

Tabelle 17: Nutzenwirkungen des Elektronischen Bremslichts
(Quelle: eigene Berechnungen.)

3 Querverkehrsassistent (A_2.2.4.1)

3.1 Wirkfeld

Das Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ wurde in sim^{TD} auf der Grundlage der von GIDAS (German In-Depth Accident Study) erhobenen Unfalldaten analysiert. Basierend auf den Verkehrsunfallzahlen für das Jahr 2007 werden die Unfälle mit Personenschäden mit C2X-relevantem Unfallverursacher sowie mit C2X-relevantem Unfallgegner hergeleitet.

Unfalldaten liegen bis 2011 vor. Entsprechend der Herleitungssystematik der GIDAS-Wirkfeldanalyse ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Wirkfelddaten.

	Jahr				
	2007	2008	2009	2010	2011
Unfälle mit Personenschaden	335845	320614	310806	288297	306266
... relevantes Querverkehrsszenario	46600	44487	43126	40003	42496
... mit C2X-relevantem Unfallbeteiligten	29700	28353	27486	25495	27084

Tabelle 18: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für den Querverkehrsassistenten
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012; GIDAS-Wirkfeldanalyse; eigene Berechnungen.)

Neben dem Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ besteht natürlich gerade bei der Funktionalität Querverkehrsassistent das Wirkfeld „Unfälle nur mit Sachschaden“. Eine Darstellung beziehungsweise Erfassung dieses Wirkfeldes wurde in sim^{TD} nicht durchgeführt.

Es wird daher versucht mit Hilfe der verfügbaren statistischen Daten das Wirkfeld „Unfälle nur mit Sachschaden“ zu ermitteln, um damit auch das Vermeidungspotential für Auffahrunfälle mit Sachschaden zu erfassen.

3.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen

Es ergeben sich für die Ermittlung der Nutzenwirkungen des Querverkehrsassistenten dieselben Berechnungsschritte wie für das Elektronische Bremslicht.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, welche Unfalltypen nach GIDAS und dem Statistischen Bundesamt relevant sind für das Elektronische Bremslicht

Unfalltypen GIDAS	Unfalltypen Statistisches Bundesamt
301-304 oder 311-314 oder 321, 322, 331, 351, 352, 355	Einbiegen/Kreuzen-Unfall

Tabelle 19: Relevante Unfalltypen für den Querverkehrsassistent
(Quelle: GIDAS-Wirkfeldanalyse; eigene Zusammenstellung.)

3.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden

Es ist davon auszugehen, dass 54,1% der Unfälle mit Personenschaden durch den Einsatz des Querverkehrsassistenten vermieden werden können [Unfallforschung 2013]. Mit dieser Angabe ist die Ermittlung der Verkehrssicherheitswirkungen möglich.

Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht die Kalkulationsschritte für das Jahr 2011. Die Unfälle mit Personenschaden belaufen sich auf 306.226 Unfälle im Jahr 2011. Entsprechend der systematischen Vorgehensweise der GIDAS-Wirkfeldanalyse errechnen sich 27084 C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden. Bei einer Vermeidungsquote von 54,1% lassen sich damit 14.652 Unfälle mit Personenschaden vermeiden.

Die folgende Tabelle stellt die Relationen der Verletzungsschwere (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) bezogen auf Unfälle mit Personenschaden für die Gesamtheit aller Unfälle mit Personenschaden und die für den Querverkehrsassistenten relevanten Unfalltypen mit Personenschaden gegenüber. Die typischen Unfälle mit Personenschaden für den Querverkehrsassistenten führen in der Regel zu weniger Getöteten und Schwerverletzten im Vergleich zu der Gesamtheit aller Unfälle. Demgegenüber ist die Anzahl der Leichtverletzten mit 3,7% etwas höher als der durchschnittliche Anteil der Leichtverletzten bei Unfällen mit Personenschaden. Die höhere Anzahl der Leichtverletzten wird bei diesem Unfalltyp durch die geringeren Unfallzahlen bei den Getöteten und Schwerverletzten übertroffen, so dass die Relation der Verletzten insgesamt pro Unfall um 0,3% unter dem durchschnittlichen Wert liegt.

Verletzungsschwere pro Unfall	Unfälle mit Personenschaden		Prozentualer Unterschied
	Insgesamt	Relevant für den Querverkehrsassistent	
Getötete pro Unfall	0,0131	0,0070	-46,6%
Schwerverletzte pro Unfall	0,2252	0,1879	-16,6%
Leichtverletzte pro Unfall	1,0559	1,0950	+3,7%
Verletzte insgesamt pro Unfall	1,2940	1,2898	-0,3%

Tabelle 20: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Querverkehrsassistent (2011)
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Tabelle 21 stellt die strukturellen Unterschiede dar, die sich für die Verletzungsschwere pro Anteil an den Verletzten ergeben, wenn die Gesamtheit aller Unfälle mit Personenschaden mit den spezifischen Unfalltypen, auf die der Querverkehrsassistent wirkt, verglichen wird.

Verletzungsschwere pro Anteil an den Verletzten	Unfälle mit Personenschaden	
	Insgesamt	Relevant für den Querverkehrsassistenten
Getötete	0,0101	0,0054
Schwerverletzte	0,1740	0,1457
Leichtverletzte	0,8158	0,8489

Tabelle 21: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Querverkehrsassistent (2011)
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Insgesamt hätten 18897 Verletzte im Jahre 2011 vermieden werden können, wenn der Querverkehrsassistent vollständig wirkt.

	Anzahl
Unfälle mit Personenschaden	306 226
Mit C2X-relevantem Unfallbeteiligten	27084
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 54,1% (=vermeidbare Unfälle)	14.652
Verletzte pro Unfall	1,2898
Vermeidbare Verletzte	18897

Tabelle 22: Ermittlung der Anzahl der vermeidbaren Verletzten durch vermiedene Unfälle infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Der gesamte Nutzen durch vermiedene Verletzte beläuft sich auf 0,9 Mrd. Euro.

	Anzahl	Nutzen in Millionen Euro
Vermeidbare Getötete	102	134,4
Vermeidbare Schwerverletzte	2753	449,9
Vermeidbare Leichtverletzte	16042	343,6
Gesamt	18897	927,9

Tabelle 23: Ermittlung der Nutzen der vermeidbar Verletzten durch vermiedene Unfälle
(Quelle: eigene Berechnungen.)

3.4 Verringerung der Verletzungsschwere

Durch den Querverkehrsassistenten können weiterhin die MAIS2+ Verletzten um 65,9% reduziert werden [Unfallforschung 2013].

	Anzahl
Unfälle mit Personenschaden	306 226
Mit C2X-relevantem Unfallbeteiligten	27084
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 54,1% (=vermeidbare Unfälle)	14.652
Nicht-vermeidbare Unfälle	12432
Verletzte pro Unfall	1,2898
Verletzte	16035
Reduktion der Verletzten	65,9%
Vermiedene Verletzte	10567

Tabelle 24: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Nachstehend wird der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere durch den Querverkehrsassistenten ermittelt. Der jährliche Nutzen liegt bei 0,5 Mrd. Euro.

	Anzahl
Vermeidbare Verletzte	10567
Gewichteter Unfallkostensatz	49104 €
Nutzen durch Verringerung der Verletzungsschwere	518,9

Tabelle 25: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge des Querverkehrsassistenten für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

3.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen

In Analogie zum Elektronischen Bremslicht können auch für den Querverkehrsassistenten die Sachschadensunfälle ermittelt werden.

	2011
Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	81487
Relevant für den Querverkehrsassistenten	25897
Vermeidbare Unfälle	13989
Nutzen in Millionen Euro	290,7

Tabelle 26: Wirkungen des Querverkehrsassistenten auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden
(Quelle:eigene Berechnungen.)

Schwerwiegende Unfälle, die vermieden werden können, führen im Jahr 2011 zu einem Nutzen in Höhe von 0,3 Mrd. Euro. Demgegenüber werden deutlichere Nutzenwirkungen bei den übrigen Sachschadensunfällen erreicht. Der Nutzen liegt bei dem Querverkehrsassistenten im Jahre 2011 bei 2,1 Mrd. Euro.

	2011
Übrige Sachschadensunfälle	1957443
Relevant für den Querverkehrsassistenten	621528
Vermeidbare Unfälle	336247
Nutzen in Millionen Euro	2061,9

Tabelle 27: Wirkungen des Querverkehrsassistenten auf übrige Sachschadensunfälle
(Quelle:eigene Berechnungen.)

3.6 Übersicht über die Nutzenwirkung

Die gesamten Verkehrssicherheitswirkungen werden in Tabelle 28 dargestellt.

Verkehrssicherheitswirkungen	Nutzen in Million Euro im Jahr 2011
Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	927,9
Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	518,9
Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	290,7
Vermiedene übrige Sachschadensunfälle	2061,9
Gesamt	3799,4

Tabelle 28: Nutzenwirkungen des Querverkehrsassistenten
(Quelle: eigene Berechnungen.)

4 Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (A_2.2.1.2)

4.1 Wirkfeld

Entsprechend der Herleitungssystematik der GIDAS-Wirkfeldanalyse ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Wirkfelddaten. Allerdings kann im Gegensatz zu den beiden anderen Systemen auf eine Sonderauswertung des Auto Club Europa (ACE) der Unfälle durch die Nichtbeachtung der Verkehrszeichen zurückgegriffen werden.

	Jahr				
	2007	2008	2009	2010	2011
Unfälle mit Personenschaden	335845	320614	310806	288297	306266
Unfälle durch Nichtbeachten der die Vorfahr regelnden Verkehrszeichen	43089	41135	39876	36989	39294

Tabelle 29: Wirkfeld „Unfälle mit Personenschaden“ für Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (Quelle: Statistisches Bundesamt 2012; ACE 2009; GIDAS-Wirkfeldanalyse; eigene Berechnungen.)

4.2 Verkehrssicherheits- und Nutzenwirkungen

Es ergeben sich für die Ermittlung der Funktion bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen dieselben Berechnungsschritte wie für das Elektronische Bremslicht und den Querverkehrsassistenten.

4.3 Vermiedene Unfälle mit Personenschaden

Nachfolgend wird die Relation für die Verletzungsschwere pro Unfall in Bezug auf die Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen dargestellt.

Verletzungsschwere pro Unfall	Unfälle mit Personenschaden	
	Insgesamt	Relevant für Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen
Getötete pro Unfall	0,0131	0,0082
Schwerverletzte pro Unfall	0,2252	0,2045
Leichtverletzte pro Unfall	1,0559	1,1294
Verletzte insgesamt pro Unfall	1,294	1,3421

Tabelle 30: Relationen für die Verletzungsschwere je Unfall: Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (2011)

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Tabelle 31 stellt die Struktur der Verletzungsschwere der Verletzten insgesamt dar.

Verletzungsschwere pro Anteil an den Verletzten	Unfälle mit Personenschaden	
	Insgesamt	Relevant für die Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen
Getötete	0,0101	0,0061
Schwerverletzte	0,1740	0,1524
Leichtverletzte	0,8158	0,8415

Tabelle 31: Anteil der Unfallschweregrade an den Verletzten insgesamt: Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (2011)

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012a; eigene Berechnungen.)

Insgesamt werden 7513 Personen durch vermiedene Unfälle infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011 nicht verletzt.

	Anzahl
C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden	39146
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 14,3% (=vermeidbare Unfälle)	5598
Verletzte pro Unfall	1,3421
Vermeidbare Verletzte	7513

Tabelle 32: Ermittlung der Anzahl vermeidbarer Verletzter durch vermiedene Unfälle infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Der Nutzen im Jahr 2011 liegt bei 383,1 Mio. Euro.

	Anzahl	Nutzen in Millionen Euro
Vermeidbare Getötete	46	60,6
Vermeidbare Schwerverletzte	1145	187,1
Vermeidbare Leichtverletzte	6322	135,4
Gesamt	7513	383,1

Tabelle 33: Ermittlung des Nutzens vermeidbarer Verletzter durch vermiedene Unfälle infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

4.4 Verringerung der Verletzungsschwere

Durch die Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen können weiterhin die MAIS2+ Verletzten reduziert werden.

	Anzahl
C2X-relevante Unfälle mit Personenschaden	39146
Reduktion der C2X-relevanten Unfälle um 14,3% (=vermeidbare Unfälle)	5598
Nicht-vermeidbare Unfälle	33548
Verletzte pro Unfall	1,3421
Verletzte	45025
Reduktion der Verletzten	17,2 %
Vermiedene Verletzte	7744

Tabelle 34: Ermittlung der Anzahl der Verletzten mit einer verringerten Verletzungsschwere infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Der Nutzen durch die Verringerung der Verletzungsschwere beläuft sich im Jahre 2011 auf 0,4 Mrd. Euro.

	Anzahl
Vermiedene Verletzte	7744
Gewichteter Unfallkostensatz	50953
Nutzen durch Verringerung der Verletzungsschwere	394,6

Tabelle 35: Ermittlung der Nutzen durch eine Verringerung der Verletzungsschwere infolge der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen für das Jahr 2011
(Quelle: eigene Berechnungen.)

4.5 Vermeidung von Sachschadensunfällen

Der Nutzen durch die Vermeidung von schwerwiegenden Sachschadensunfällen liegt bei 53,4 Mio. Euro im Jahr 2011.

	2011
Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	81487
Relevant für die Warnung bei Nichtbeachtung	17970
Vermeidbare Unfälle	2570
Nutzen in Millionen Euro	53,4

Tabelle 36: Wirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen auf schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Für die übrigen Sachschadensunfälle ergibt sich ein Nutzen in Höhe von 378,2 Mio. Euro pro Jahr.

	2011
Übrige Sachschadensunfälle	1957443
Relevant für die Warnung bei Nichtbeachtung	431280
Vermeidbare Unfälle	61673
Nutzen in Millionen Euro	378,2

Tabelle 37: Wirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen auf übrige Sachschadensunfälle
(Quelle: eigene Berechnungen.)

4.6 Übersicht über die Nutzenwirkung

Die Nutzenwirkungen werden zusammenfassend in Tabelle 38 dargestellt.

Verkehrssicherheitswirkungen	Nutzen in Million Euro im Jahr 2011
Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	383,1
Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	394,6
Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	53,4
Vermiedene übrige Sachschadensunfälle	378,2
Gesamt	1209,3

Tabelle 38: Nutzenwirkungen der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen
(Quelle: eigene Berechnungen.)

4.7 Gesamter Verkehrssicherheitsnutzen durch sim^{TD}

Tabelle 39 stellt die Verkehrssicherheitswirkungen der drei sim^{TD}-Funktionen Elektronisches Bremslicht (EBL), Querverkehrsassistent (QVA) und der Warnung bei Nichtbeachtung von Verkehrszeichen (WNBV) zusammenfassend dar. Für das Jahr 2011 ergibt sich insgesamt ein Nutzen von 6,7 Mrd. Euro.

Verkehrssicherheitswirkungen	EBL	QVA	WNBV	Insgesamt
Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	211,4	927,9	383,1	1522,4
Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	1159,3	518,9	394,6	2072,8
Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	35,9	290,7	53,4	380,0
Vermiedene übrige Sachschadensunfälle	254,7	2061,9	378,2	2694,8
Gesamt	1661,3	3799,4	1209,3	6670,0

Tabelle 39: Gesamtübersicht
Anmerkungen: Personenschäden im Jahr 2005: 15 Milliarden
(Quelle: eigene Berechnungen.)

5 Dynamisierung der Nutzenberechnung

5.1 Methodische Vorgehensweise

Der Rechengang wurde verdeutlicht indem für das Jahr 2011 die Nutzen schrittweise ermittelt wurden. Es wurde bereits dargelegt, warum eine zeitraumbezogene Analyse einer zeitpunktbezogenen Analyse der Nutzenwirkungen überlegen ist. Die Durchführung einer zeitraumbezogenen Analyse wird weniger durch die Kostenseite erforderlich, weil die Investitionskosten unabhängig von dem Zeitpunkt der Realisierung in uniforme äquidistante Reihen transformiert werden können. Demgegenüber ist die Entwicklung des Nutzens ein Ergebnis von Einflussfaktoren die zum Teil

- stochastisch (z. B. Unfälle ergeben sich zum Teil zufällig),
- wetterabhängig (z. B. häufige Glatteisbildung erhöht die Unfallzahlen),
- einkommensabhängig (z. B. bei einem hohen wirtschaftlichen Wachstum steigt das Einkommen und es werden mehr PKW mit Sicherheitssystemen gekauft, so dass mehr Unfälle verhindert werden können),
- altersabhängig (z. B. ein Anstieg der Geburtenrate erhöht 18 Jahre später die Anzahl der Unfälle von Fahranfängern),
- globalisierungsabhängig (z. B. eine weiter zunehmende Globalisierung wird den Durchgangsverkehr in Deutschland erhöhen. Infolge des höheren Verkehrsaufkommens steigen die Unfallzahlen),
- technologieabhängig (z. B. durch die Einführung neuer Fahrzeugtechnologien neben sim^{TD}-Systemen werden die Unfallzahlen gesenkt) und/oder
- politikabhängig (z. B. durch die Einführung eines Tempolimits auf Autobahnen werden die Unfallzahlen deutlich gesenkt)

sein können. Die künftigen Einflussfaktoren können nicht ohne weiteres bestimmt werden.

Hinzu kommt, dass Kompensationseffekte auftreten können. Seit 1995 geht die jährliche Anzahl der Unfälle mit Personenschaden zurück. Aus dieser trendmäßigen Entwicklung kann jedoch nicht geschlossen werden, dass auch die volkswirtschaftlichen Kosten der Straßenverkehrsunfälle sinken. Folgende Gründe sind dafür verantwortlich:

- Für die stattgefundenen jährlichen Unfälle mit Personenschaden ändert sich die Verteilung für die Anzahl der Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten. Trendmäßig sinkt zwar auch die Zahl der Getöteten, aber dafür steigen die Zahlen bei den Schwerverletzten und Leichtverletzten. Diese Veränderungen gleichen sich aber nicht notwendigerweise aus, so dass der Gesamteffekt auf die Unfallkosten unbestimmt ist.
- Der Rückgang der Unfälle mit Personenschaden korreliert nicht mit einem Rückgang der Sachschäden. Im Gegenteil ist hier ein Anstieg der Sachschadensfälle zu verzeichnen. Der Gesamteffekt auf die volkswirtschaftlichen Kosten ist auch hier zunächst unbestimmt.

Hier wird daher mit Hilfe der Zeitreihenmethode die Annahme getroffen, dass diese Einflussfaktoren in der Vergangenheit Auswirkungen auf die Entwicklung der Straßenverkehrsunfälle hatten. Diese strukturellen Auswirkungen werden dann mit Hilfe von Zeitreihenmodellen abgebildet, mit denen eine Prognose der Unfallentwicklungen möglich wird. Hinsichtlich der Abschätzung der Verkehrssicherheitseffekte sind die Entwicklungen folgender Unfallgrößen entscheidend:

- Anzahl der Unfälle mit Personenschaden,
- Anzahl der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden bezogen auf die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden,
- Anzahl der übrigen Sachschadensunfälle bezogen auf die Anzahl der Unfälle mit schwerwiegenden Sachschäden.

Für die Prognose der Unfälle mit Personenschaden wurde in sim^{TD} eine methodische Vorgehensweise vorgeschlagen, die hier angewendet wird. Danach ist als beste Anpassung eine logistische Funktion geeignet. Die logistische Funktion mit y als endogener Variable, mit x als exogener Variable und mit b_0 und b_1 als Regressionskoeffizienten hat folgende Struktur:

$$\ln\left(\frac{1}{y} + \frac{1}{o}\right) = \ln(b_0) + \ln(b_1) \cdot x$$

Weiterhin wird die Prognose für den in sim^{TD} vorgeschlagenen Untersuchungszeitraum bis zum Jahr 2030 durchgeführt. Die Vorgehensweise für die Prognose ist wie folgt:

- Basierend auf den tatsächlichen Zeitreihenwerten von 1995 bis 2011 wird das Zeitreihenmodell ermittelt.
- Die Schätzwerte liegen für den Zeitraum von 1995 bis 2035 vor.
- Für den Zeitraum von 1995 bis 2011 kann die Differenz zwischen den tatsächlichen empirisch beobachtbaren Werten und den Schätzwerten basierend auf dem Zeitreihenmodell bestimmt werden.
- Für diese Abweichungen der geschätzten Werte von den tatsächlichen Werten kann ein jährlicher Korrekturfaktor für den Zeitraum von 1995 bis 2011 ermittelt werden.
- Aus allen jährlichen Korrekturfaktoren wird ein durchschnittlicher Korrekturfaktor ermittelt, der für die prognostizierten Werte ab 2012 verwendet wird.

Mit Hilfe dieser Vorgehensweise wird der strukturelle Bruch zwischen den tatsächlichen Werten aus dem Jahr 2011 und den prognostizierten Werten im Folgejahr 2012 abgemildert.

5.2 Prognose Anzahl der Unfälle mit Personenschaden

Für die Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden ergibt sich folgendes Modell:

Modellzusammenfassung und Parameterschätzer

Abhängige Variable: Pers

Gleichung	Modellzusammenfassung					Parameterschätzer	
	R-Quadrat	F	Freiheitsgrade 1	Freiheitsgrade 2	Sig.	Konstante	b1
Logistisch	0,877	106,568	1	15	0,000	2,449E-006	1,018

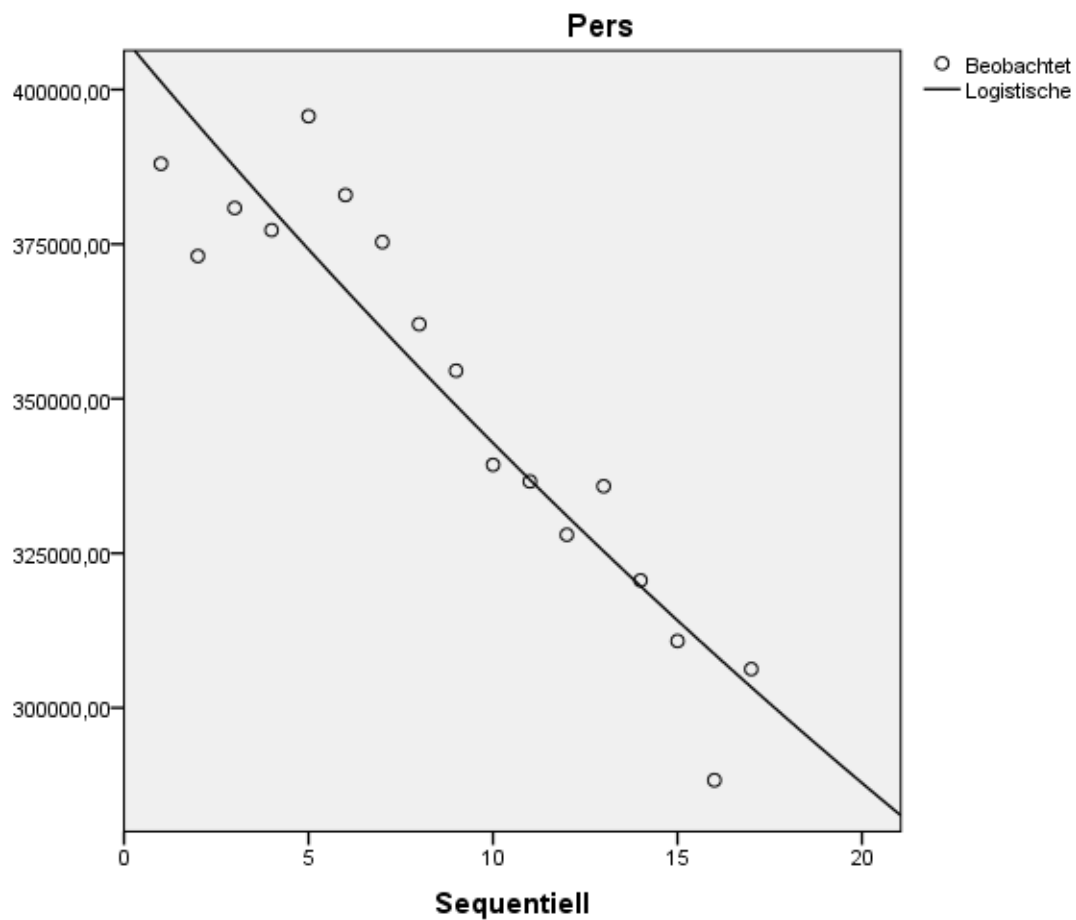


Abbildung 1: Regressionsfunktion für die Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden für den Zeitraum von 1995 bis 2012

(Quelle: eigene Berechnung.)

5.3 Prognose über die Relation der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden zu Unfällen mit Personenschaden

Für die Fortschreibung der Relation zwischen den Unfällen mit schwerwiegendem Sachschaden zu den Unfällen mit Personenschaden ergibt sich folgendes Modell:

Modellzusammenfassung und Parameterschätzer

Abhängige Variable: QSP

Gleichung	Modellzusammenfassung					Parameterschätzer	
	R-Quadrat	F	Freiheitsgrade 1	Freiheitsgrade 2	Sig.	Konstante	b1
Invers	0,482	13,945	1	15	0,002	0,284	0,050

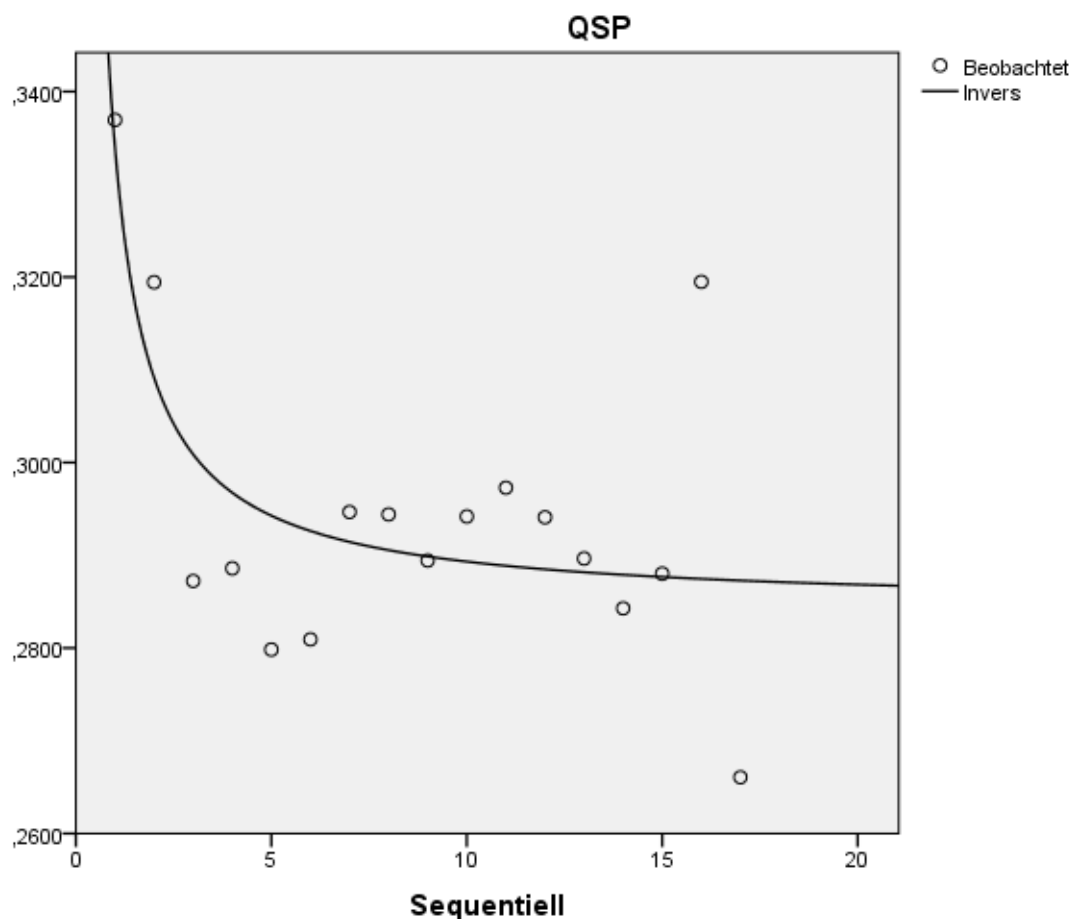


Abbildung 2: Regressionsfunktion für die Entwicklung der Relation der schwerwiegenden Sachschadensunfälle zu den Unfällen mit Personenschaden für den Zeitraum von 1995 bis 2012
(Quelle: eigene Berechnung.)

5.4 Prognose Relation übrige Sachschäden zu schwerwiegenden Sachschäden

Entsprechend der methodischen Vorgehensweise wird in einem letzten Schritt das Regressionsmodell für die Relation zwischen den Unfällen mit übrigen Sachschäden und den Unfällen mit schwerwiegenden Sachschäden für den Zeitraum 1995 bis 2012 geschätzt.

Modellzusammenfassung und Parameterschätzer

Abhängige Variable: QLS

Gleichung	Modellzusammenfassung					Parameterschätzer	
	R-Quadrat	F	Freiheitsgrade 1	Freiheitsgrade 2	Sig.	Konstante	b1
Logistisch	0,919	171,328	1	15	0,000	0,073	0,971

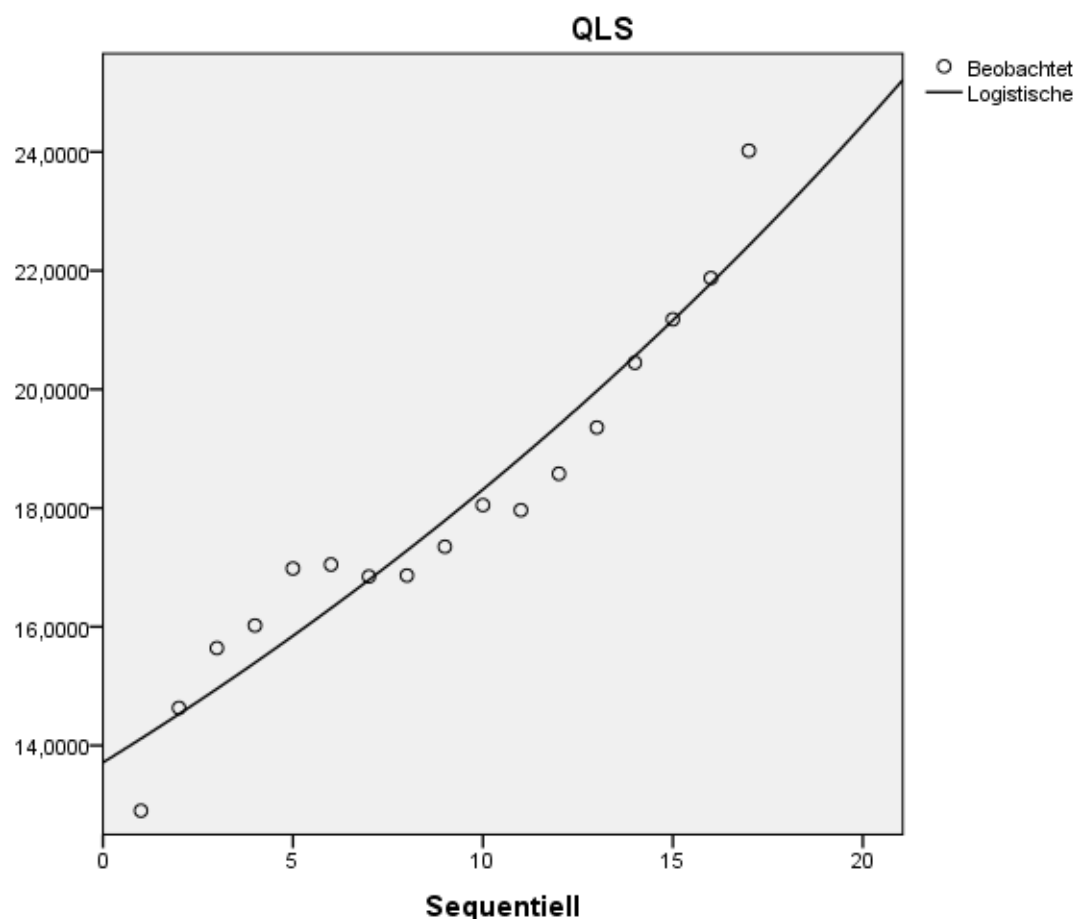


Abbildung 3: Die Entwicklung der Relation zwischen den Unfällen mit übrigen Sachschäden und den Unfällen mit schwerwiegenden Sachschäden für den Zeitraum von 1995 bis 2012 (Quelle: eigene Berechnung.)

5.5 Prognose der Entwicklung der Unfälle mit Personenschäden, schwerwiegenden Sachschäden und übrigen Sachschäden

Entsprechend der in Kapitel 6.4 geschätzten drei Regressionsmodelle für die Entwicklung der Unfälle mit Personenschäden und den Zusammenhängen zu den schwerwiegenden Sachschadensunfällen und der übrigen Sachschadensunfälle ist es möglich, die Zeitreihen von 1995 bis 2012, bis zum Jahre 2035 fortzuschreiben. Diese Fortschreibungsergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Jahr	Unfälle mit Personenschäden	Relation Unfälle mit schwerwiegenden Sachschäden zu Unfällen mit Personenschäden	Relation Unfälle mit übrigen Sachschäden zu Unfällen mit schwerwiegenden Sachschäden
1995	388003	0,33693554	12,9
1996	373082	0,3194472	14,6
1997	380835	0,28723463	15,6
1998	377257	0,28858842	16,0
1999	395689	0,27982835	17,0
2000	382949	0,28093036	17,0
2001	375345	0,29467024	16,8
2002	362054	0,29440636	16,9
2003	354534	0,28943627	17,3
2004	339310	0,29418821	18,0
2005	336619	0,29728863	18,0
2006	327984	0,29409971	18,6
2007	335845	0,28965148	19,4
2008	320614	0,28427954	20,4
2009	310806	0,28802211	21,2
2010	288297	0,31948650	21,9
2011	306266	0,26606610	24,0
2012	298239	0,28711445	23,1
2013	293070	0,28697445	23,8
2014	287991	0,28684444	24,5
2015	283000	0,28672444	25,2
2016	278095	0,28661444	25,9
2017	273275	0,28651444	26,7
2018	268539	0,28642444	27,5
2019	263885	0,28634444	28,3
2020	259312	0,28627443	29,1
2021	254817	0,28619443	30,0
2022	250401	0,28613443	30,9
2023	246061	0,28607443	31,8
2024	241797	0,28601443	32,7
2025	237606	0,28596443	33,7
2026	233488	0,28591443	34,6
2027	229441	0,28586443	35,7
2028	225465	0,28582443	36,7
2029	221557	0,28578443	37,8
2030	217717	0,28574443	38,9
2031	213944	0,28570443	40,0
2032	210236	0,28566443	41,2
2033	206593	0,28563442	42,4
2034	203012	0,28560442	43,7
2035	199494	0,28557442	44,9

Tabelle 40: Entwicklung der Personenschadensunfälle und der zugehörigen Unfallrelationen
(Quelle: eigene Berechnung.)

6 Verkehrssicherheitsnutzen durch CX2-Systeme

Um die Verkehrssicherheitsnutzen durch C2X-Systeme valide für den Zeitraum von 2015 bis 2035 bestimmen zu können, sind verschiedene Berechnungsschritte notwendig, die nachfolgend eingehend dargestellt und erörtert werden, um den Gang der Berechnung transparent und nachvollziehbar zu machen.

6.1 Vorgehensweise und Annahmen

Ziel dieses Kapitels ist es, für die Sicherheitsfunktionen von sim^{TD} eine abschließende vertrauenswürdige Aussage zu den erzielbaren Nutzen infolge einer verbesserten Verkehrssicherheit über die serienmäßige Einführung bei Typenneuzulassungen zu erhalten. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

1. Auf der Grundlage von Kapitel 6 können die jährlichen Maximalnutzen für die Systeme QVA, EBL und WNBU berechnet werden.
2. Die tatsächlich erzielbaren jährlichen Nutzen der Systeme QVA, EBL und WNBU hängen jedoch davon ab, wie viele PKW mit C2X-Systemen ausgestattet sind. Daher muss die Entwicklung der Ausstattungsquoten für den Zeitraum von 2015 bis 2035 prognostiziert werden.
3. Für die Systeme QVA und EBL ist die Funktionsfähigkeit nur dann gegeben, wenn alle am Unfall beteiligten PKW mit diesen Systemen ausgestattet sind. Daher wird für diese Funktionen die quadrierte Entwicklung der Ausstattungsquoten für die Nutzenberechnung zugrunde gelegt. Für das System WNBU gilt demgegenüber die normale Entwicklung der Ausstattungsquote, um die jährlichen Sicherheitsgewinne durch Unfallvermeidung und Verringerung der Verletzungsschwere zu berechnen.
4. Für alle übrigen Sicherheitsfunktionen von sim^{TD} liegen keine detaillierten Berechnungen aus der Unfallforschung vor. Daher können diese Sicherheitswirkungen nur auf der bisherigen Wirkgradanalyse bestimmt werden.
5. Die einzelnen Ergebnisse zu den Verkehrssicherheitswirkungen werden zusammengefasst ausgewiesen.

6.2 Maximalnutzen von QVA, EBL und WNBU

Mit den fortgeschriebenen Zeitreihen aus Tabelle 40 ist es möglich, den jährlichen maximalen Nutzen für die Systeme EBL, QVA und WNBU zu ermitteln.

Die Tabellen 41 bis 44 zeigen den jährlichen Nutzen bis zum Jahr 2035 für die einzelnen Verkehrssicherheitswirkungen der untersuchten Verkehrssicherheitssysteme.

Nutzen für EBL in Mio. Euro durch folgende Verkehrssicherheitswirkungen				
Jahr	Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	Vermiedene übrige Sachschadensunfälle
2011	211,4	1159,3	35,9	254,7
2012	205,9	1128,9	37,7	238,5
2013	202,3	1109,4	37,1	241,3
2014	198,8	1090,1	36,4	244,1
2015	195,3	1071,2	35,7	246,9
2016	192,0	1052,7	35,1	249,7
2017	188,6	1034,4	34,5	252,6
2018	185,4	1016,5	33,9	255,5
2019	182,1	998,9	33,3	258,4
2020	179,0	981,6	32,7	261,4
2021	175,9	964,6	32,1	264,4
2022	172,8	947,8	31,6	267,5
2023	169,8	931,4	31,0	270,5
2024	166,9	915,3	30,5	273,7
2025	164,0	899,4	29,9	276,8
2026	161,2	883,8	29,4	280,0
2027	158,4	868,5	28,9	283,2
2028	155,6	853,4	28,4	286,5
2029	152,9	838,7	27,9	289,8
2030	150,3	824,1	27,4	293,1
2031	147,7	809,8	26,9	296,5
2032	145,1	795,8	26,5	299,9
2033	142,6	782,0	26,0	303,4
2034	140,1	768,5	25,5	306,9
2035	137,7	755,1	25,1	310,4

Tabelle 41: Jährlicher Nutzen durch das Elektronische Bremslicht für den Zeitraum von 2011 bis 2035 (Quelle: eigene Berechnung.)

Nutzen für QVA in Mio. Euro durch folgende Verkehrssicherheitswirkungen				
Jahr	Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	Vermiedene übrige Sachschadensunfälle
2011	927,9	518,9	290,7	2061,9
2012	903,6	505,3	305,5	1931,0
2013	887,9	496,5	300,0	1953,3
2014	872,5	487,9	294,7	1975,7
2015	857,4	479,5	289,5	1998,5
2016	842,5	471,2	284,3	2021,5
2017	827,9	463,0	279,3	2044,8
2018	813,6	455,0	274,4	2068,3
2019	799,5	447,1	269,6	2092,1
2020	785,6	439,3	264,8	2116,2
2021	772,0	431,7	260,2	2140,6
2022	758,6	424,2	255,6	2165,3
2023	745,5	416,9	251,1	2190,2
2024	732,6	409,7	246,7	2215,4
2025	719,9	402,6	242,4	2240,9
2026	707,4	395,6	238,2	2266,7
2027	695,1	388,7	234,0	2292,8
2028	683,1	382,0	229,9	2319,2
2029	671,3	375,4	225,9	2345,9
2030	659,6	368,9	221,9	2372,9
2031	648,2	362,5	218,1	2400,3
2032	637,0	356,2	214,2	2427,9
2033	625,9	350,0	210,5	2455,8
2034	615,1	344,0	206,8	2484,1
2035	604,4	338,0	203,2	2512,7

Tabelle 42: Jährlicher Nutzen durch den Querverkehrsassistenten für den Zeitraum von 2011 bis 2035
(Quelle: eigene Berechnung.)

Nutzen für WNBUs in Mio. Euro durch folgende Verkehrssicherheitswirkungen					
Jahr	Vermiedene Unfälle mit Personenschaden	Verringerung der Verletzungsschwere bei Unfällen mit Personenschaden	Vermiedene schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden	Vermiedene übrige Sachschadensunfälle	
2011	383,1	394,6	53,4	378,2	
2012	373,1	384,3	56,1	354,2	
2013	366,6	377,6	55,1	358,3	
2014	360,2	371,1	54,1	362,4	
2015	354,0	364,6	53,2	366,6	
2016	347,9	358,3	52,2	370,8	
2017	341,8	352,1	51,3	375,1	
2018	335,9	346,0	50,4	379,4	
2019	330,1	340,0	49,5	383,7	
2020	324,4	334,1	48,6	388,2	
2021	318,7	328,3	47,8	392,6	
2022	313,2	322,6	47,0	397,2	
2023	307,8	317,0	46,1	401,7	
2024	302,5	311,5	45,3	406,4	
2025	297,2	306,1	44,5	411,0	
2026	292,1	300,8	43,7	415,8	
2027	287,0	295,6	43,0	420,6	
2028	282,0	290,5	42,2	425,4	
2029	277,1	285,5	41,5	430,3	
2030	272,3	280,5	40,8	435,3	
2031	267,6	275,7	40,1	440,3	
2032	263,0	270,9	39,4	445,3	
2033	258,4	266,2	38,7	450,5	
2034	253,9	261,6	38,0	455,6	
2035	249,5	257,0	37,3	460,9	

Tabelle 43: Jährlicher Nutzen durch die Warnung bei Nichtbeachtung der Verkehrszeichen für den Zeitraum von 2011 bis 2035

(Quelle: eigene Berechnung.)

Tabelle 44 weist die jährliche Gesamtnutzenwirkung für jedes System bis zum Jahr 2035 aus. Die ausgewiesenen Werte stellen allerdings die Maximalwirkung dar, weil hier von einer vollständigen Ausstattung der PKW-Fahrzeugflotte ausgegangen wird. Eine Maximalwirkung ist erreichbar, wenn durch eine Verordnung zu einem Stichtag die Einführung dieser Systeme erzwungen wird. Da von einer solchen Vorgehensweise nicht ausgegangen werden kann, müssen die Nutzen für ein realistisches Marktdurchdringungsszenario berechnet werden.

Jahr	Gesamtübersicht		
	EBL	QVA	WNBU
2011	1661,3	3799,4	1209,3
2012	1611,0	3645,4	1167,6
2013	1590,0	3637,8	1157,6
2014	1569,4	3630,9	1147,8
2015	1549,2	3624,9	1138,4
2016	1529,4	3619,6	1129,2
2017	1510,1	3615,1	1120,3
2018	1491,2	3611,3	1111,7
2019	1472,7	3608,3	1103,3
2020	1454,7	3606,0	1095,3
2021	1437,0	3604,5	1087,5
2022	1419,7	3603,7	1080,0
2023	1402,8	3603,7	1072,7
2024	1386,3	3604,4	1065,7
2025	1370,2	3605,8	1058,9
2026	1354,4	3607,9	1052,4
2027	1339,0	3610,7	1046,2
2028	1323,9	3614,2	1040,2
2029	1309,3	3618,4	1034,4
2030	1294,9	3623,4	1028,9
2031	1280,9	3629,0	1023,6
2032	1267,3	3635,3	1018,5
2033	1254,0	3642,3	1013,7
2034	1241,0	3650,0	1009,1
2035	1228,3	3658,4	1004,8

Tabelle 44: Jährliche Gesamtnutzen durch das Elektronische Bremslicht, durch den Querverkehrsassistenten und durch die Warnung bei Nichtbeachtung der Verkehrszeichen für den Zeitraum von 2011 bis 2035 (Quelle: eigene Berechnung.)

6.3 Entwicklung der C2X-PKW-Anteile an der gesamten PKW-Flotte

In sim^{TD} wurden für den Zeitraum von 2015 bis 2025 drei Einführungsszenarien für C2X-Systeme beschrieben und die dazugehörigen Anteile der C2X-Fahrzeuge an der gesamten PKW-Flotte in Deutschland berechnet. Einführungsszenarien für C2X-Systeme für den Fall der PKW-Serienausstattung sind:

- Ausrüstung aller Typenneuzulassungen ab dem Modelljahr 2015;
- Einführungspfad in Analogie zur Lambdasonde im Zeitraum von 1980 bis 1990;
- Einführungspfad in Analogie zum Airbag ab dem Jahr 1990.

Aus diesen drei Fortschreibungsmodellen wird ein Mittelwertmodell gebildet. Danach ergeben sich für den Zeitraum von 2015 bis 2025 die in der folgenden Abbildung dargestellten Anteile von C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte.

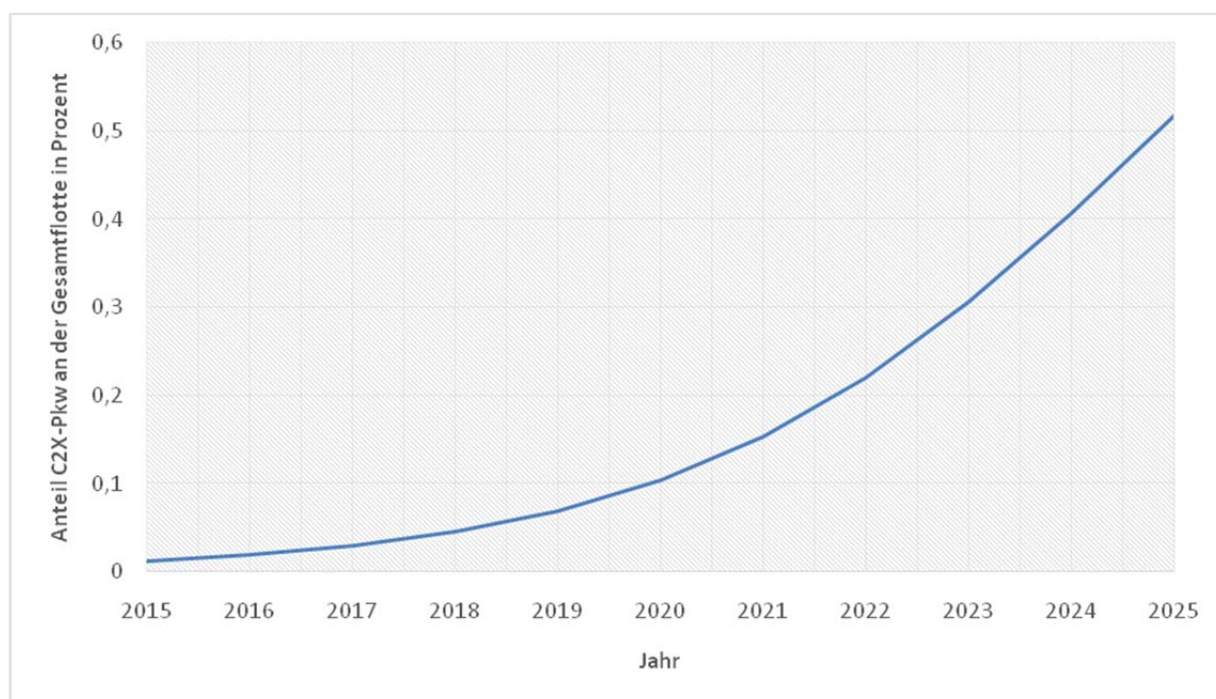


Abbildung 4: Entwicklung der C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte in Prozent über den Zeitraum von 2015 bis 2025

(Quelle: eigene Darstellung).

Da der Untersuchungszeitraum bis 2035 erweitert wurde, wird mit Hilfe einer Regressionsanalyse die Entwicklung des C2X-Ausstattungsanteils fortgeschrieben. Die beste statistische Anpassung ergibt sich für ein logistisches Zeitreihenmodell. Der Zusammenhang zwischen den Ausstattungsquoten und den Schätzwerten für das kubische Zeitreihenmodell zeigt die nachfolgende Abbildung. Das logistische Modell erreicht ein Bestimmtheitsgrad von 0,98 mit einem F-Wert in Höhe von 246, was die Gesamtgüte bestätigt und die Nullhypothese signifikant ablehnt. Das logistische Fortschreibungsmodell ist auch ökonomisch plausibel, weil das Gesetz der abnehmenden Grenzerträge mit dem logistischen Verlauf erfüllt wird. Für das Jahr 2035 liegt der Anteil der C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte bei 98%.

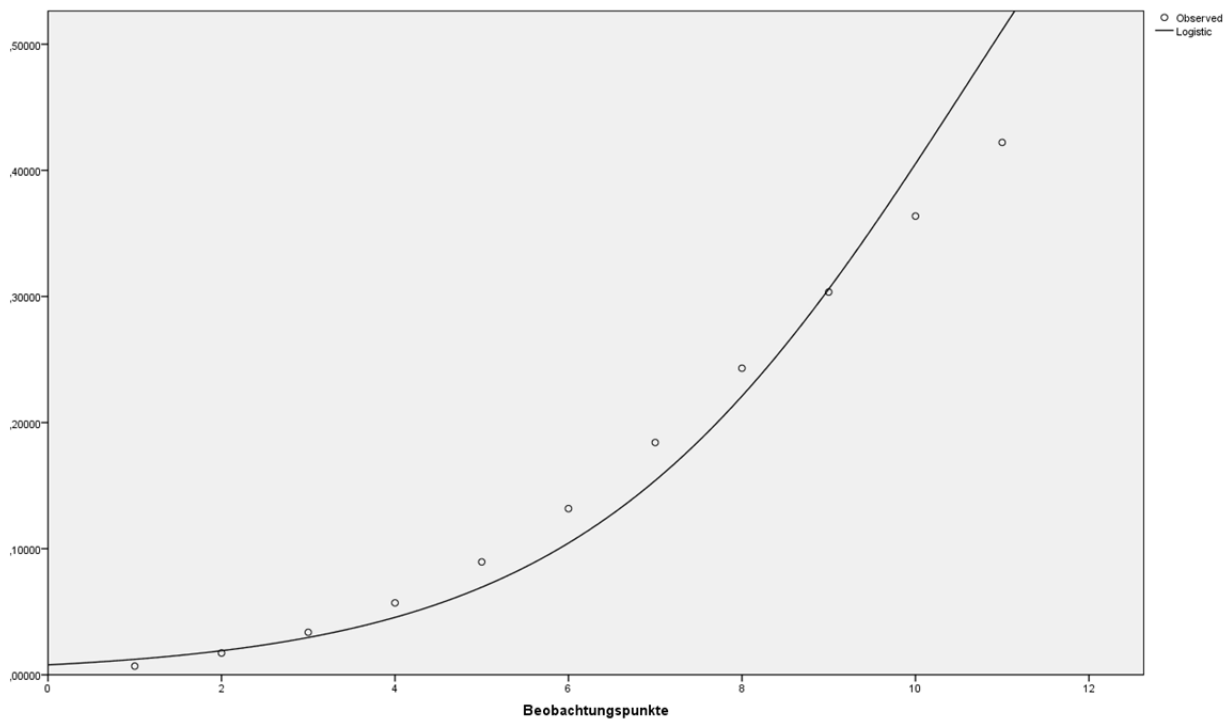


Abbildung 5: Anpassungsgüte zwischen kubischem Fortschreibungsmodell und Entwicklung der C2X-Ausstattungsquote an der gesamten PKW-Flotte
(Quelle: eigene Darstellung)

Den gesamten Einführungspfad für C2X-PKW zeigt die nachfolgende Abbildung.

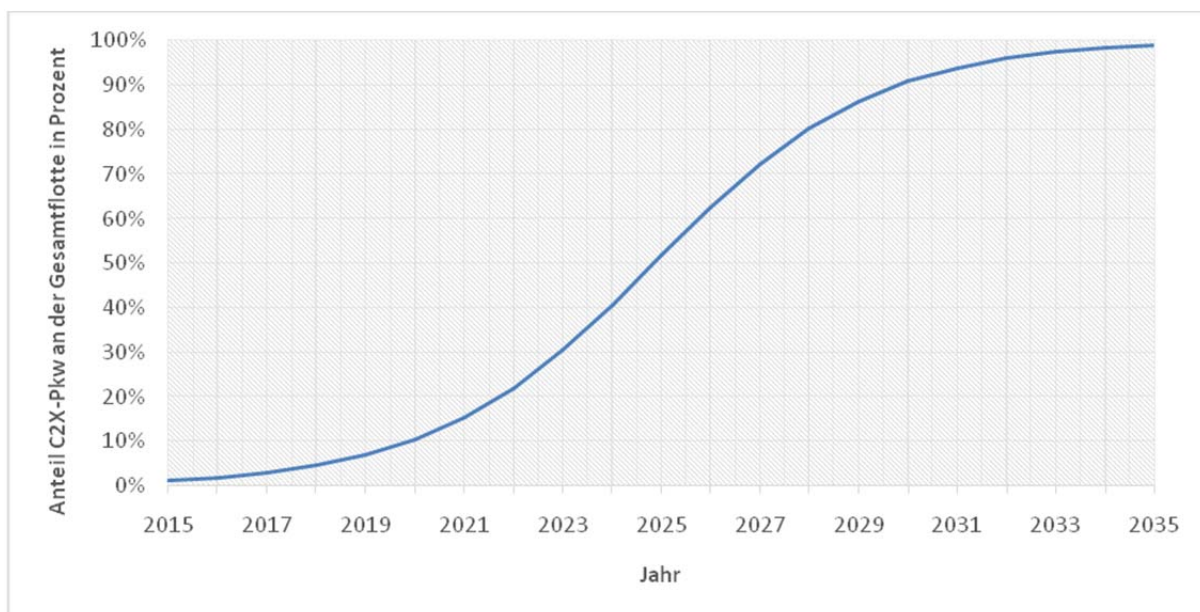


Abbildung 6: Entwicklung der C2X-PKW an der gesamten PKW-Flotte in Prozent über den Zeitraum von 2015 bis 2035
(Quelle: eigene Berechnung und Darstellung)

Auf der Grundlage der in Abbildung 6 dargestellten Anteile der C2X-PKW können die jährlichen Nutzen, die durch WNBU erreicht werden können, ermittelt werden. Um die möglichen Verkehrssicherheitseffekte von QVA und EBS zu erhalten, muss das Quadrat der Ausstattungsraten berücksichtigt werden. Insgesamt ergeben sich dann die in der folgenden Abbildung dargestellten Nutzenwirkungen.

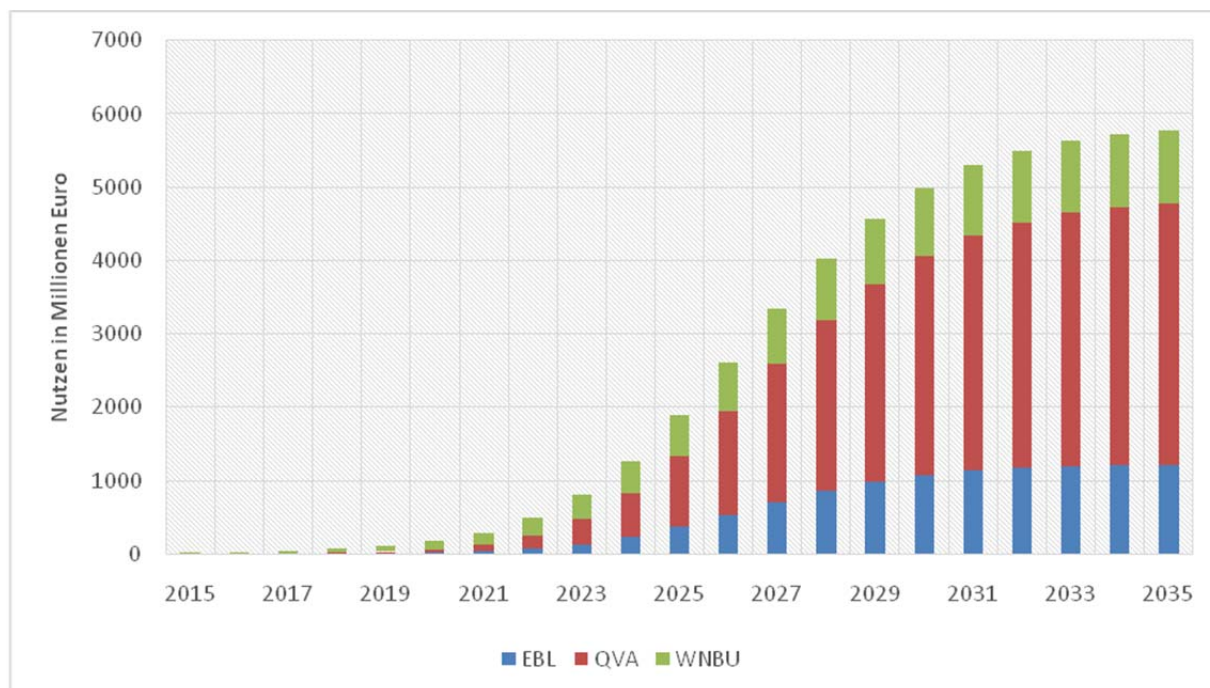


Abbildung 7: Entwicklung des jährlichen Verkehrssicherheitsnutzens von EBL, QVA und WNBU über den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro
(Quelle: eigene Berechnungen.)

Die in Abbildung 7 dargestellten Werte sind aus Tabelle 45 zu entnehmen. Die Werte errechnen sich aus den Gesamtergebnissen der Tabelle 44 multipliziert mit den Ausstattungsquoten, die in Abbildung 6 dargestellt werden. Beachtet werden muss, dass die Funktionen EBL und QVA nur funktionsfähig sind, wenn beide Fahrzeuge über die sim^{TD} Technologie verfügen. Es wird die quadrierte Ausstattungsquote mit den Werten aus Tabelle 44 multipliziert.

Jahr	Gesamtübersicht		
	EBL	QVA	WNBU
2015	0	1	14
2016	1	1	22
2017	1	3	33
2018	3	7	51
2019	7	17	76
2020	16	39	114
2021	34	85	167
2022	69	175	238
2023	131	337	328
2024	230	598	434
2025	367	966	548
2026	531	1414	659
2027	700	1888	756
2028	854	2330	835
2029	978	2702	894
2030	1069	2990	935
2031	1130	3202	961
2032	1169	3352	978
2033	1190	3456	988
2034	1200	3529	992
2035	1202	3580	994

Tabelle 45: Entwicklung des jährlichen Verkehrssicherheitsnutzens von EBL, QVA und WNBU über den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro
(Quelle: eigene Berechnungen.)

6.4 Weitere Verkehrssicherheitswirkungen von sim^{TD} und Gesamtverkehrssicherheitnutzen

Die übrigen Verkehrssicherheitsfunktionen (ohne Überschneidungen zu QVA, EBL und WNBU) können maximal 4,2% der Verkehrsunfälle mit Personenschaden vermeiden. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden (siehe dazu Tabelle 40) und der Entwicklung der C2X-PKW-Anteile an der gesamten PKW-Flotte (siehe dazu Abbildung 6) ergeben sich die in Abbildung 8 und Tabelle 46 ausgewiesenen Nutzen durch vermiedene Verkehrsunfälle mit Personenschaden. Dabei werden auch Sachschäden vermieden. Allerdings liegen keine empirischen Erkenntnisse vor, wie das Vermeidungspotenzial für Sachschäden für die restlichen sim^{TD}-Funktionen abgeschätzt werden kann. Insgesamt wird damit der Verkehrssicherheitsnutzen durch die restlichen sim^{TD}-Funktionen unterschätzt, weil nur vermiedene Unfälle mit Personenschaden in die Berechnung eingehen.

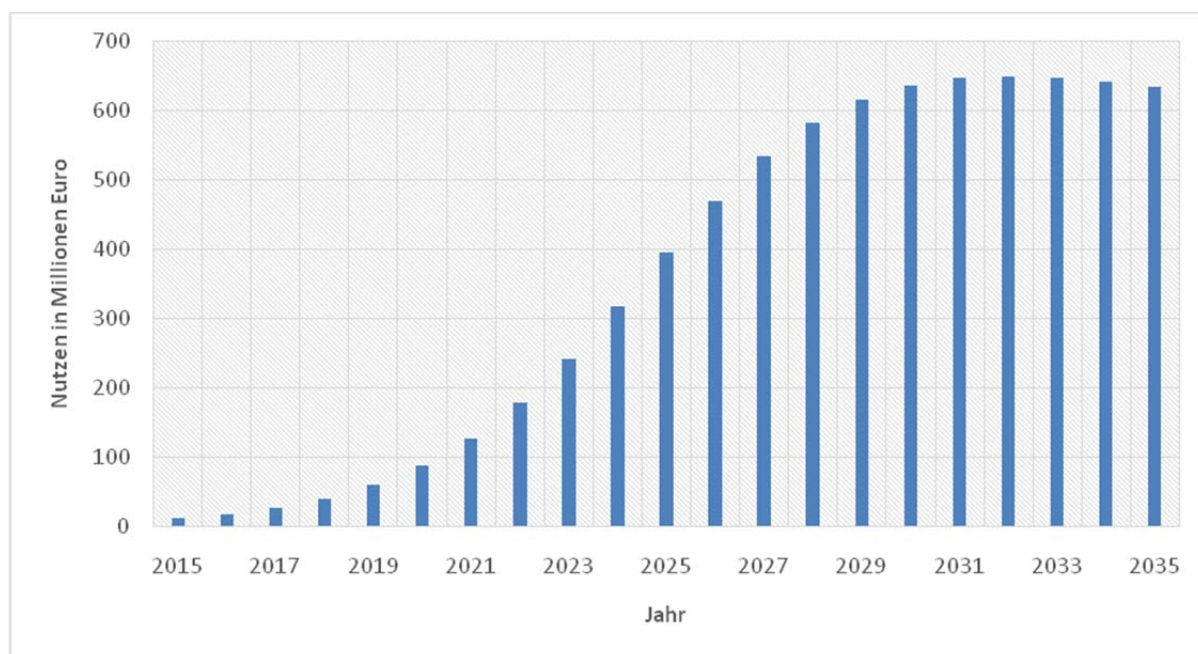


Abbildung 8: Entwicklung der Nutzen durch vermiedene Unfälle mit Personenschaden durch die übrigen sim^{TD}-Funktionen (ohne EBL, QVA, WBNU) für den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro (Quelle: eigene Berechnungen)

Die dazugehörigen Werte der Abbildung 8 werden in Tabelle 46 ausgewiesen.

Jahr	Verkehrssicherheitsnutzen der übrigen sim^{TD}-Funktionen durch vermiedene Personenschäden in Mio. Euro
2015	11
2016	17
2017	26
2018	39
2019	59
2020	87
2021	126
2022	178
2023	242
2024	317
2025	396
2026	471
2027	534
2028	583
2029	617
2030	637
2031	647
2032	650
2033	648
2034	643
2035	636

Tabelle 46: Entwicklung der Nutzen durch vermiedene Unfälle mit Personenschaden durch die übrigen sim^{TD}-Funktionen (ohne EBL, QVA, WBNU) für den Zeitraum von 2015 bis 2035 in Millionen Euro (Quelle. eigene Berechnungen.)

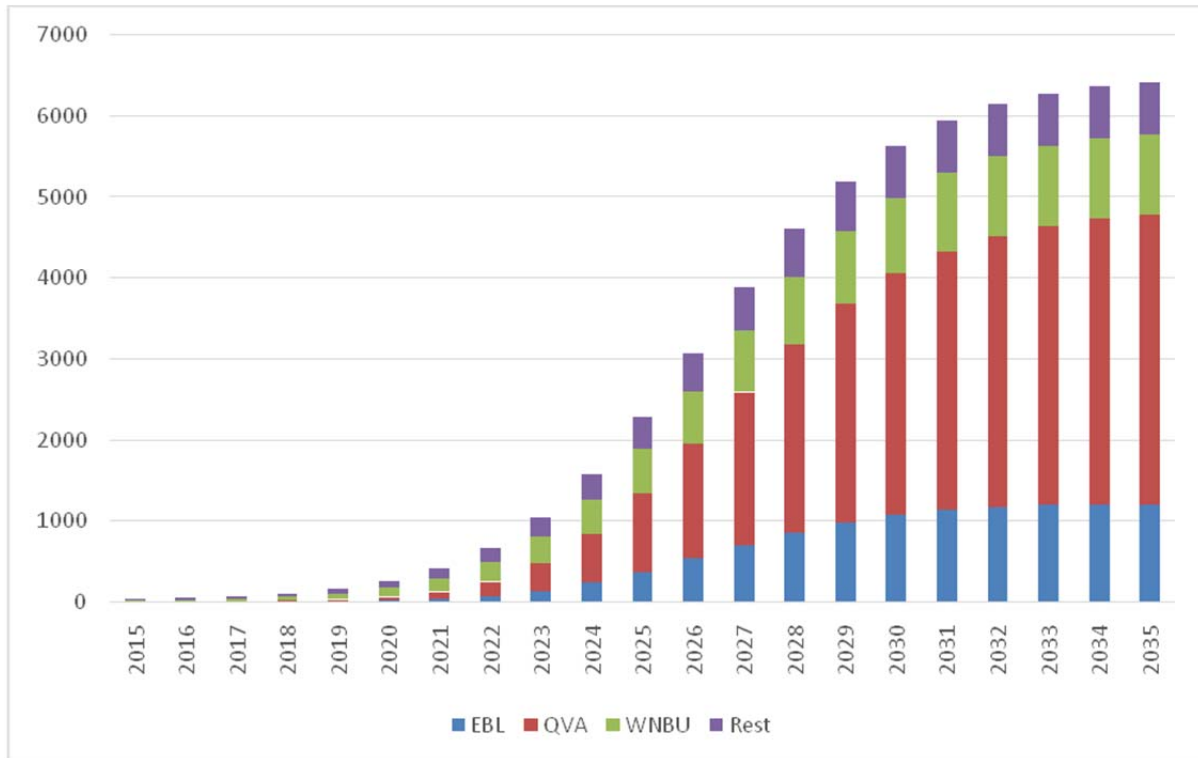


Abbildung 9: Jährlicher Gesamtnutzen der Verkehrssicherheitsfunktionen von sim^{TD}
(Quelle: eigene Berechnungen)

Die Werte aus Abbildung 9 werden in Tabelle 47 dargestellt.

Einzel- und Gesamtnutzen der Verkehrssicherheitsfunktionen von sim^{TD} in Mio. Euro					
Jahr	EBL	QVA	WNBU	Rest	Summe
2015	0	1	14	11	26
2016	1	1	22	17	41
2017	1	3	33	26	64
2018	3	7	51	39	100
2019	7	17	76	59	159
2020	16	39	114	87	255
2021	34	85	167	126	411
2022	69	175	238	178	659
2023	131	337	328	242	1038
2024	230	598	434	317	1579
2025	367	966	548	396	2276
2026	531	1414	659	471	3074
2027	700	1888	756	534	3879
2028	854	2330	835	583	4602
2029	978	2702	894	617	5190
2030	1069	2990	935	637	5630
2031	1130	3202	961	647	5941
2032	1169	3352	978	650	6149
2033	1190	3456	988	648	6282
2034	1200	3529	992	643	6364
2035	1202	3580	994	636	6411

Tabelle 47: Jährlicher Gesamtnutzen der Verkehrssicherheitsfunktionen von sim^{TD}
(Quelle: eigene Berechnungen)

6.5 Zwischenfazit I: Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrssicherheitseffekte

In Tabelle 48 werden die Nutzen sowie die Kosten und der Nutzen-Kosten-Quotient für die Verkehrssicherheitseffekte zusammengefasst. Die Berechnung der Kosten ergibt sich aus Kapitel 8. Die Tabelle 48 zeigt, dass der Nutzen der Verkehrssicherheitseffekte ab dem Jahr 2025 deutlich über den entsprechenden Kosten liegt und bis zum Jahr 2035 kontinuierlich ansteigt.

Jahr	Nutzen und Kosten für die Verkehrssicherheitseffekte von sim ^{TD} in Mio. Euro		Nutzen- Kosten Quotient
	NVS	KVS	NKQVS
2015	26	23,6	1,1
2016	41	68,3	0,6
2017	64	160	0,4
2018	100	333,3	0,3
2019	159	530	0,3
2020	255	850	0,3
2021	411	1027,5	0,4
2022	659	1318	0,5
2023	1038	1482,9	0,7
2024	1579	1579	1,0
2025	2276	1750,8	1,3
2026	3074	1707,8	1,8
2027	3879	1686,5	2,3
2028	4602	1704,4	2,7
2029	5190	1674,2	3,1
2030	5630	1655,9	3,4
2031	5941	1650,3	3,6
2032	6149	1618,2	3,8
2033	6282	1610,8	3,9
2034	6364	1631,8	3,9
2035	6411	1643,8	3,9

Tabelle 48: Jährliche Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrssicherheitseffekte von sim^{TD}
(Quelle: eigene Berechnungen)

7 Verkehrseffizienz

7.1 Vorbemerkung

Die Berechnungen zu den Verkehrseffizienzwirkungen von sim^{TD} beruhen auf Übergabeberichten, die zum Zeitpunkt der Übergabe mit dem Hinweis „Entwurf“ markiert waren. Weiterhin waren alle Berechnungsergebnisse mit folgendem Hinweis versehen:

„Von entscheidender Bedeutung ist hier nochmals der Hinweis, dass es sich bei den Ergebnissen ausschließlich um die Auswertung genau der betrachteten Kenngrößen unter den in diesem Dokument beschriebenen Randbedingungen handelt. Die Szenarien, die im Rahmen der sim^{TD}-Simulationsstudien untersucht werden konnten, stellen nur einen kleinen Ausschnitt der möglicherweise vorkommenden Situationen in der Realität dar.

Alle Ergebnisse müssen daher immer im Zusammenhang mit den für das Modell notwendigen Annahmen betrachtet werden. Viele Annahmen sind (noch) nicht überprüfbar, da entsprechende Situationen in der Realität frühestens in einigen Jahren messbar sind.

Eine umfassende Aussage über die generell mögliche Wirkung der Funktion auf Basis der im Folgenden beschriebenen Ergebnisse ist niemals zulässig und sinnvoll. Im Rahmen der betrachteten Szenarien ermöglichen die Simulationsergebnisse jedoch wertvolle Abschätzungen für potentielle Zukunftsszenarien die sonst keine andere Versuchsumgebung bietet.“

Da die ökonomischen Berechnungen aus den gemessenen Veränderungen der Verkehrssimulation resultieren, haben die monetären Werte den gleichen Unsicherheitsbereich, wie es für die vorgelagerten physischen Effekte reklamiert wird.

7.2 Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse

Die Effizienzwirkungen der sim^{TD}-Anwendungen werden basierend auf den Ergebnissen der Verkehrssimulation sowie der in sim^{TD} erarbeiteten Vorgehensweise und monetären Bewertung ermittelt. Untersuchte sim^{TD}-Anwendungen sind:

- Erweiterte Dynamische Navigation
- Umleitungsempfehlung
- Lichtsignalanlagensteuerung
- Ampelphasenassistent

Nach Rücksprache mit der TU München werden für die Nutzen-Berechnung die Funktionen „Erweiterte Dynamische Navigation“ und „Umleitungsempfehlung“ als eine Funktion betrachtet, weil beide Funktionen sich substituieren, so dass die jeweiligen Nutzen nicht addiert werden können. Bis zu einer Ausstattungsquote von 20% hat die Funktion „Erweiterte Dynamische Navigation“ größere Effizienzwirkungen als die Funktion „Umleitungsempfehlung“. Daher wird bis zu einer Ausstattungsquote von 20% die Gültigkeit der Verkehrssimulation für diese Funktion unterstellt. Ab einer Ausstattungsquote von 20% werden mit der Funktion „Umleitungsempfehlung“ höhere Effizienzwirkungen gegenüber der Funktion „Erweiterte Dynamische Funktion“ erzielt.

Die Verkehrseffizienzwirkungen werden gemessen über die Geschwindigkeitsänderungen. Für die Geschwindigkeitsänderungen werden die Ergebnisse aus der Verkehrssimulation zu

den mittleren Einzelfahrgeschwindigkeiten für alle Routen (Erweiterte Dynamische Navigation und Umleitungsempfehlung) beziehungsweise den gesamten Knotenpunkt (LSA-Steuerung und Ampelphasenassistent) herangezogen. Die prozentualen Geschwindigkeitsänderungen sind dann wie folgt:

- Erweiterte Dynamische Navigation und Umleitungsempfehlung:
 - o Bei 20% IVS Ausstattung: +2,6%
 - o Bei 80% IVS-Ausstattung: + 6,2%
- LSA-Steuerung:
 - o Bei 20% IVS-Ausstattung: + 1,6%
 - o Bei 80% IVS-Ausstattung: + 10,0%
- Ampelphasenassistent:
 - o Bei 20% IVS-Ausstattung gleiche Wirkung wie bei LSA-Steuerung: +1,6%
 - o Bei 80% IVS-Ausstattung: +2,5%

Eine separate Berechnung für eine 50% IVS-Ausstattung konnte nicht vorgenommen werden, stattdessen werden für Ausstattungsquoten zwischen 20% und 80% Interpolationen vorgenommen.

Die Mengengerüste für die Berechnung der Geschwindigkeitsänderungen für die „Erweiterte Dynamische Funktion“ und die „Umleitungsempfehlungen“ liegen vor. Auf der Grundlage der Mengengerüste können die stündlichen Belastungswerte (PKW je Stunde, LKW je Stunde) ermittelt werden. Mit Hilfe der Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsfunktion werden die durchschnittlichen Stundengeschwindigkeiten für PKW und LKW ermittelt. Die sim^{TD}-Funktionen führen zunächst nur zu einer Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten, wenn die mit Hilfe der Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsfunktion ermittelte durchschnittliche Fahrtengeschwindigkeit kleiner oder gleich 20km/h ist. In diesem Fall wird eine Verbesserung der Verkehrssituation durch sim^{TD} unterstellt. Die durchschnittliche Geschwindigkeit verbessert sich dann entsprechend der prozentualen Veränderungen, die in der Verkehrssimulation im Arbeitspaket 4 bestimmt worden sind.

Die Verkehrssimulation im AP4 hat dabei unterstellt, dass im Falle einer Verkehrsstörung (Stundengeschwindigkeit kleiner oder gleich 20 km/h) immer die mit sim^{TD} ausgestatteten Fahrzeuge (PKW) vollständig verlagert werden.

Bei einer IVS-Ausstattung in Höhe von 20%, werden im Falle eines Staus alle PKW mit sim^{TD}-Systemen verlagert. Entsprechend gilt diese Vorgehensweise auch für die 80% Ausstattung in sim^{TD}-Systemen.

Im Gegensatz zur Beschreibung der sim^{TD}-Funktionen im Arbeitspaket 1 wird dann keine dynamische Verlagerung simuliert. Die sim^{TD}-Funktionen sollen grundsätzlich auch das Entstehen von Stausituationen vermeiden und nicht nur in der Stausituation wirken. Daher kann davon ausgegangen werden, dass entsprechend der Systemspezifikationen im AP1 die sim^{TD}-Funktionen auch im Bereich des synchronen Verkehrsflusses (bis zu einer stündlichen Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner oder gleich 80km/h) wirken.

Um diese „intelligenten“ Wirkungen der sim^{TD}-Funktionen ökonomisch mitzuerfassen, müssen die Ergebnisse aus der Verkehrssimulation des AP4 auch auf andere Geschwindigkeitsbereiche angewendet werden. Dieser Schritt ist ausdrücklich keine Kritik an der Verkehrssimulation. Aber die Notwendigkeit einer ökonomischen Potentialabschätzung erzwingt eine Ausrichtung an den Systemspezifikationen, die für die sim^{TD}-Anwendungen Erweiterte Dynamische Navigation (F_1.2.3) und Umleitungsempfehlung (F_1.3.1) festgelegt worden sind. Darüber hinaus hat die Verkehrssimulation in AP4 nicht nachgewiesen, ob die für spezifische Szenarien (z. B. Morgenspitze) an Einzelknotenpunkten ermittelten, teilweise

minimalen Änderungen der mittleren Reisezeit infolge der LSA-Steuerung und des Ampelphasenassistenten überhaupt auf eine routenbezogene Betrachtung übertragbar sind. Nach der Beschreibung der C2X-Funktionen im Deliverable D11.1 ist davon auszugehen, dass gerade indirekte Wirkungen für andere Autofahrer erreicht werden, ohne dass diese den Optimierungseffekt einer LSA-Steuerung zuordnen können und folglich ein LSA-sim^{TD}-System routenbezogen betrachtet werden muss. Um diesem Ansatz gerecht zu werden, wird angenommen, dass die Ergebnisse der Verkehrssimulationen auch für eine routenbezogene Betrachtung angewendet werden können. Auch hier gilt jedoch, dass es sich lediglich um wertvolle Abschätzungen für potentielle Zukunftsszenarien handelt (vergleiche Ausführungen Seite 56).

Um das Mengengerüst für die „LSA-Steuerung“ und den „Ampelphasenassistent“ zu ermitteln, wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeitsveränderung über die Route des Fahrzeugs gilt. Es werden die Wirkungen für das Gemeindestraßennetz ermittelt. Im Jahr 2004 belief sich die Länge der Gemeindestraßen auf 451.171 km (Elsner 2011). Neuere Zahlen liegen derzeit nicht vor. Es wird unterstellt, dass 20% der Gemeindestraßen durch „LSA-Steuerung“ und/oder „Ampelphasenassistent“ beeinflusst werden können (Baum 1992; Baum 1994). In Analogie zur Kostenermittlung für die LSA und Ampelphasenassistenten-Ausstattung wird unterstellt, dass eine Vollausstattung nach zehn Jahren erreicht wird. Im Jahr 2024 werden dann die 20% der Gemeindestraßen beeinflusst. Das entspricht damit insgesamt einer Länge von 91.434 km. Im Ausgangsjahr 2015 entfaltet sich die Wirksamkeit auf 2% der Gemeindestraßen. Dies entspricht einer Länge von 9.143 km.

Diese beeinflussbaren Gemeindestraßen entsprechen hinsichtlich ihres Verkehrsbelastungsprofils den Kreisstraßen. Unter Berücksichtigung des Verkehrsmengenwachstums kann daher ein DTV in Höhe von 1744 Fahrzeugen unterstellt werden (VIZ 2011/2012). Entsprechend der EWS-97 werden ein PKW-Anteil in Höhe von 92% (davon 86,6% PKW mit Benzinmotor), ein LKW-Anteil in Höhe von 8% und die Straßentypen 511 und 512 (vorfahrtsberechtigzte Innerortsstraßen mit Behinderungen durch Knotenpunkteinflüsse) unterstellt.

Um die Anzahl der notwendigen LSA zu ermitteln, bestehen in der Literatur zwei grundsätzliche methodische Vorgehensweisen. Der ältere Ansatz nach Dix, Jarret und Baum berechnet die Anzahl der notwendigen LSA—Anlagen über eine Differenzierung nach den Einwohnerzahlen von Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern. Neuere Ansätze beziehen sich auf die Gesamteinwohnerzahlen und bestimmen einwohnerbezogene Relationen für eine LSA-Anlage. Nachfolgend werden die Zahlen nach beiden Ansätzen hergeleitet.

Nach dem Ansatz von Dix, Jarret und Baum wird davon ausgegangen, dass für Städte mit über 500.000 Einwohnern 150 LSA-Systeme notwendig sind, für Städte mit 200.000 bis 500.000 Einwohnern 100 LSA-Systeme und für Städte mit 100.000 bis 200.000 50 LSA-Systeme. Danach werden 6.600 LSA-Systeme benötigt (Baum 1994; Dix, Jarret 1991).

Einwohnerzahlen der Großstädte Deutschlands	
Stadt	Anzahl der Einwohner in Tausend
Berlin	3.460,70
Hamburg	1.786,40
München	1.353,20
Köln	1.007,10
Frankfurt am Main	679,70
Stuttgart	606,60
Düsseldorf	588,70
Dortmund	580,40
Essen	574,60
Bremen	547,30
Dresden	523,10
Leipzig	522,90
Hannover	522,70
Nürnberg	505,70
Duisburg	489,60
Bochum	374,70
Wuppertal	349,70
Bonn	324,90
Bielefeld	323,30
Mannheim	313,20
Karlsruhe	294,80
Münster	279,80
Wiesbaden	276,00
Augsburg	264,70
Aachen	258,70
Mönchengladbach	258,00
Gelsenkirchen	258,00
Braunschweig	248,90
Chemnitz	243,20
Kiel	239,50
Krefeld	235,10
Halle/Saale	233,00
Magdeburg	231,50
Freiburg im Breisgau	224,20

Oberhausen	212,90
Lübeck	210,20
Erfurt	205,00
Rostock	202,70
Mainz	199,20
Kassel	195,50
Hagen	188,50
Hamm	181,80
Saarbrücken	175,70
Mülheim a. d. Ruhr	167,30
Herne	164,80
Ludwigshafen am Rhein	164,40
Osnabrück	164,10
Oldenburg (Oldenburg)	162,20
Leverkusen	160,80
Solingen	159,90
Potsdam	156,90
Neuss	151,40
Heidelberg	147,30
Paderborn	146,30
Darmstadt	144,40
Regensburg	135,50
Würzburg	133,80
Ingolstadt	125,10
Heilbronn	122,90
Ulm	122,80
Wolfsburg	121,50
Göttingen	121,10
Offenbach am Main	120,40
Pforzheim	119,80
Recklinghausen	118,40
Bottrop	116,80
Fürth	114,60
Bremerhaven	113,40
Reutlingen	112,50
Remscheid	110,60

Koblenz	106,40
Bergisch Gladbach	105,70
Erlangen	105,60
Moers	105,50
Trier	105,30
Jena	105,10
Siegen	103,40
Hildesheim	102,80
Salzgitter	102,40
Cottbus	102,10

Tabelle 49: Einwohnerzahlen der Großstädte Deutschlands, Stand 31.12.2010 (in 1.000)
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2012.)

Neue Studien wie safespot unterstellen Relationen zwischen 1200 und 2500 Einwohnern je LSA (safespot 2010; Friedrich 2009; Hubacher, Allenbach 2002]. Für Deutschland liegt demnach bei einer hundertprozentigen Ausstattung die Anzahl der LSA zwischen 32.800 und 68.333. Für die angenommene Ausstattung von 20% errechnen sich eine minimale Ausstattung in Höhe von 6.560 LSA-Systemen und eine maximale Ausstattung von 13.666 LSA-Systemen. Da sich eine Zahl von ungefähr 6600 an LSA-Systemen bei beiden methodischen Vorgehensweisen ergibt, wird diese für die Weiterberechnung zugrunde gelegt.

Es ergeben sich dann die in der folgenden Tabelle dargestellten Nutzen.

Nutzen in Millionen Euro von sim^{TD} durch Effizienzverbesserungen				
Jahr	Dynamische Navigation	LSA	Ampelphasen-assistent	Gesamt
2015	168	1,6	0,7	170,3
2016	195	3,7	1,7	200,4
2017	225	6,6	2,9	234,5
2018	261	10,4	4,5	275,9
2019	302	15,4	6,5	323,9
2020	349	21,8	9,1	379,9
2021	468	35,5	14,2	517,7
2022	672	58,3	23,3	753,6
2023	912	110,1	35,6	1057,7
2024	1201	170,4	52,1	1423,4
2025	1515	222,0	65,7	1802,7
2026	1824	273,0	79,1	2176,1
2027	2100	319,1	91,0	2510,1
2028	2601	403,4	112,8	3117,1
2029	2858	442,0	123,9	3423,9
2030	3097	478,1	134,3	3709,4
2031	3323	512,1	144,0	3979,1
2032	3535	544,0	153,3	4232,3
2033	3736	574,3	162,0	4472,3
2034	3927	603,0	170,2	4700,2
2035	4108	630,3	178,1	4916,4

Tabelle 50: Jährlicher Nutzen von sim^{TD} durch eine verbesserte Verkehrseffizienz für den Zeitraum von 2015 bis 2035

(Quelle: eigene Berechnung.)

7.3 Zwischenfazit II: Nutzen-Kosten-Ergebnisse für die Verkehrseffizienzeffekte

In Tabelle 51 werden die Nutzen sowie die Kosten und die Nutzen-Kosten-Quotienten für die Verkehrseffizienzeffekte zusammengefasst. Die Berechnung der Kosten ergibt sich aus Kapitel 8. Die Tabelle zeigt, dass der Nutzen der Verkehrseffizienzeffekte ab dem Jahr 2025 deutlich über den entsprechenden Kosten liegt und bis zum Jahr 2035 kontinuierlich ansteigt. Im Jahr 2028 ist der Nutzen bereits doppelt so hoch wie die entsprechenden Kosten.

Jahr	Nutzen und Kosten in Millionen Euro von sim ^{TD} durch Effizienzverbesserungen		Nutzen-Kosten- Quotient
	NVE	KVE	NKQVE
2015	170,3	77,4	2,2
2016	200,4	105,5	1,9
2017	234,5	167,5	1,4
2018	275,9	250,8	1,1
2019	323,9	404,9	0,8
2020	379,9	542,7	0,7
2021	517,7	862,8	0,6
2022	753,6	1076,6	0,7
2023	1057,7	1175,2	0,9
2024	1423,4	1423,4	1,0
2025	1802,7	1502,3	1,2
2026	2176,1	1554,4	1,4
2027	2510,1	1568,8	1,6
2028	3117,1	1558,55	2,0
2029	3423,9	1556,3	2,2
2030	3709,4	1545,6	2,4
2031	3979,1	1530,4	2,6
2032	4232,3	1511,5	2,8
2033	4472,3	1542,2	2,9
2034	4700,2	1516,2	3,1
2035	4916,4	1536,4	3,2

Tabelle 51: Jährliche Nutzen und Kosten von sim^{TD} durch eine verbesserte Verkehrseffizienz für den Zeitraum von 2015 bis 2035
(Quelle: eigene Berechnung.)

8 Kosten für Fahrzeugausstattung und Infrastruktur

Für das fahrzeugseitige System wird von einem Gerätepreis in Höhe von 470 Euro ausgegangen. Für die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten Analyse sind jedoch die Marktpreise nicht relevant, da sie sowohl Gewinnanteile als auch Steuereinnahmen beinhalten. Diese Preisbestandteile haben keine Bedeutung für den Ressourcenaufwand (=allokative Wirkung). Gewinne und Steuern verkörpern als Preisbestandteile nur Elemente, die in der ökonomischen Terminologie eine distributive Wirkung haben. Distributive Wirkungen bezeichnen Einkommensumverteilungen. Der Gewinn ist eine Umverteilung vom Konsumenten hin zum Produzenten. Konsumentenrente wird in Produzentenrente verwandelt. Die Steuer (hier die Mehrwertsteuer) ist eine Umverteilung der Konsumentenrente hin zum Staat. Da es sich hier lediglich um Einkommensumverteilungen handelt, müssen diese Preiselemente herausgerechnet werden. Die Mehrwertsteuer liegt bei 19%. Für den Gewinn wird unterstellt, dass die Automobilindustrie mit einer Gewinnquote von 10% und die Zulieferindustrie mit einer Gewinnquote von 5% partizipieren. Unter Berücksichtigung eines Marktzinssatzes und einer Abschreibungsperiode von 10 Jahren errechnen sich jährliche Kosten für ein sim^{TD}-System in Höhe von 40 Euro.

Um die Infrastruktur- und Betriebskosten für sim^{TD} zu ermitteln, werden die Angaben von Hessen Mobil verwendet.

Die gesamten einmaligen Investitionskosten der Verkehrsleitzentrale für kooperative Systeme werden mit 30 Millionen Euro beziffert. Bei einem Marktzinssatz von 3% und einem Abschreibungszeitraum von 10 Jahren errechnen sich annuisierte Kosten in Höhe von rund 4 Millionen Euro pro Jahr. Weitere jährliche Kostenpositionen (=variable Kosten für den Betrieb der Verkehrsleitzentrale) sind die Energieversorgung (=0,012 Millionen Euro pro Jahr), die Kosten für Wartung und Instandhaltung (=0,15 Millionen Euro) sowie die Personalkosten mit 3,9 Millionen Euro. Insgesamt ergeben sich dann jährliche Kosten für die Verkehrsleitzentrale für kooperative Systeme in Höhe von etwa 8 Millionen Euro pro Jahr.

Für die IRS-Ausstattung werden Kosten in Höhe von 0,01 Millionen Euro je IRS unterstellt. Bei einem Marktzinssatz von 3% und über einen Abschreibungszeitraum von 10 Jahren errechnen sich annuisierte Investitionskosten in Höhe von 0,0012 Millionen Euro pro Jahr. Zusammen mit den Mobilfunk-, Energie- und Wartungskosten ergeben sich für jede IRS jährliche Kosten in Höhe von 0,0143 Millionen Euro.

Entsprechend der Angaben von Hessen Mobil werden für Tagesbaustellen an Autobahnen insgesamt 3000 IRS-Tafeln benötigt.

Im Jahr 2009 gab es lt. Antwort der Bundesregierung auf eine parlamentarische Anfrage der SPD auf deutschen Autobahnen 857 Baustellen mit einer Dauer von acht Tagen oder mehr. Die durchschnittliche Baustellendauer betrug 106 Tage. Es wird daher von 850 Dauerbaustellen an Autobahnen ausgegangen. Damit werden weitere 850 IRS-Tafeln für den Einsatz an Autobahndauerbaustellen benötigt. Die nachfolgende Tabelle stellt die Investitions- und Betriebskosten für sim^{TD} über den gesamten Zeitraum von 2015 bis 2035 dar.

	Investitions- und Betriebskosten
Fahrzeugseitiges System	21,5 Mrd. €
Kosten bei Lichtsignalanlagen	0,2 Mrd. €
Kosten für Infrastrukturausstattung (Zentrale und übrige IRS)	1,3 Mrd. €

Tabelle 52: Kosten über den Zeitraum von 2015 bis 2035
(Quelle: eigene Berechnung)

9 Gesamtergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Verkehrssicherheit und der Verkehrseffizienz gemeinsam ausgewertet. Zu diesem Zweck werden Nutzen-Kosten-Quotienten über den Zeitraum von 2015 bis 2035 ausgewiesen. Es werden insgesamt drei Nutzen-Kosten-Quotienten betrachtet (siehe Tabelle 47). Der erste Nutzen-Kosten-Quotient (NKQG) gibt das jährliche Nutzen-Kosten Ergebnis wieder entsprechend der serienmäßigen Einführung von sim^{TD}-Anwendungen. Da der Entwicklungsverlauf unstetig ist, werden zwei partielle Nutzen-Kosten-Quotienten gebildet. Mit NKQVS (Nutzen-Kosten-Quotient Verkehrssicherheit) werden die Wirkungen der Verkehrssicherheitsanwendungen von sim^{TD} isoliert betrachtet. Dementsprechend werden die Verkehrssicherheitsnutzen auf die fahrzeugseitigen Kosten bezogen. Mit NKQVE (Nutzen-Kosten-Quotient Verkehrseffizienz) werden die Wirkungen der Verkehrseffizienz anwendungen von sim^{TD} separat betrachtet. Durch den Verlauf dieser beiden partiellen Nutzen-Kosten-Quotienten (NKQVS, NKQVE) erschließt sich dann auch der unstetige Verlauf des gesamten Nutzen-Kosten-Quotienten. Werden die sim^{TD}-Anwendungen schlagartig eingeführt, errechnet sich ein Nutzen-Kosten Quotient von 8,1. Die jährlichen Kosten belaufen sich auf 1,54 Milliarden Euro und der Gesamtnutzen auf 12,49 Milliarden Euro pro Jahr.

Werden nur die Verkehrssicherheitsnutzen von sim^{TD} betrachtet, ist der Nutzen-Kosten-Quotient bis zum Jahr 2023 kleiner als 1. Ab dem Jahr 2025 ist der Nutzen-Kosten-Quotient dann größer als 1 und erreicht sein Maximum im Jahr 2033 mit 3,9. Über den gesamten Zeitraum von 2015 bis 2035 ergibt sich ein durchschnittlicher Nutzen-Kosten-Quotient in Höhe von 1,9. Damit ist die Einführung von sim^{TD} alleine aus Verkehrssicherheitsnutzen gerechtfertigt. Bei den Verkehrssicherheitswirkungsberechnungen wurde der allgemeine Rückgang der Verkehrsunfälle unabhängig von den sim^{TD}-Anwendungen berücksichtigt. Die Zeitreihe des NKQVS zeigt aber auch, dass punktuelle Nutzen-Kosten-Analysen, die nur ein bis zwei Untersuchungsjahre betrachten, keine sicheren Informationen über die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme/Anwendung liefern können. Die Untersuchungsjahre 2020 und 2023 mit einem Nutzen-Kosten-Quotient unter 1 lassen nicht vermuten, dass ab 2025 die Nutzen größer als die Kosten sein werden. Über den gesamten Einführungszeitraum wird der Gesamtnutzen jedoch so groß, dass die negative Nutzen-Kosten Differenz in den Jahren von 2015 bis 2023 voll ausgeglichen wird.

Zu den Nutzen der Verkehrseffizienz ist grundsätzlich zu sagen, dass die Nutzenwirkungen tendenziell unterschätzt werden. Aufgrund des engen Schlussbearbeitungszeitraums konnte die steigende Verkehrsleistung im Straßenverkehr bis zum Jahr 2035 bei den Rechnungen nicht mehr berücksichtigt werden. Insofern fehlt der Verkehrseffizienzberechnung die Wachstumsdynamik der Verkehrsnachfrageseite. Für die Verkehrsbelastung gilt daher ausdrücklich die ceteris-paribus Bedingung. Der unstetige Verlauf ergibt sich aufgrund der prognostizierten Zahlen für die serienmäßige Ausstattung der PKW mit sim^{TD}-Anwendungen und der infrastrukturseitigen Kosten. Ab 2016 steigen die Kosten stärker als die Nutzenwirkungen. Das PKW-Bestandswachstum verlangsamt sich nach den Prognosemodellen. Ab dem Jahr 2025 bleiben die fahrzeugseitigen sim^{TD}-Kosten nahezu konstant. Ab dem Jahr 2025 kann die Einführung von sim^{TD} nur aufgrund der Verkehrseffizienzfunktionen gerechtfertigt werden. Im Jahr 2035 wird ein Nutzen-Kosten-Quotient in Höhe von 3,2 erreicht. Der durchschnittliche NKQVE über den Zeitraum von 2015 bis 2035 liegt bei 1,7.

Auch wenn die Nutzen der sim^{TD}-Anwendungen, die die Verkehrseffizienz verbessern, tendenziell unterschätzt werden, muss gesehen werden, dass die Vorbemerkungen des Kapitels 7.1 auf die derzeitige Problematik hinweisen, dass die Methodik der Verkehrssimulation noch stärker durch empirische Forschungsergebnisse unterstützt werden muss, um die Nullhypothese statistisch signifikant abzulehnen. Diese methodische

Unsicherheitssituation ist aber typisch für jede neue Technologie, die noch nicht im Markt eingeführt wurde. Die Höhe der Effizienzwirkungen ist jedoch so bedeutend, dass dieser Zustand als unbefriedigend angesehen wird. Ergeben sich diese Effizienzgewinne, kann nämlich die deutsche Volkswirtschaft von einem enormen Produktivitätsschub profitieren, der zu Wachstumseffekten in einer fünfmal höheren monetären Dimension führen kann. Weiterhin wird damit möglicherweise eine verkehrspolitische Entscheidung zugunsten der fahrerseitigen Systeme forciert, was mögliche Verlierer anderer Systeme natürlicherweise aufschreckt. Umso bedeutsamer ist es daher, dass der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom) in einer gemeinsamen Forschungsstudie mit dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI nachgewiesen hat, dass im Verkehrssektor durch Smart Mobility (Connected Cars, M2M applications) 8 Milliarden Euro Effizienzgewinne generiert werden können. Vor diesem Hintergrund bestätigt sich, dass die 4,9 Milliarden Euro Effizienzgewinne im Jahr 2035 durch sim^{TD}-Anwendungen den Nutzen der Verkehrseffizienz grundsätzlich unterschätzen.

Jahr	Nutzen-Kosten-Quotienten		
	NKQG	NKQVS	NKQVE
2015	2,4	1,1	2,2
2016	2,1	0,6	1,9
2017	1,7	0,4	1,4
2018	1,3	0,3	1,1
2019	1,1	0,3	0,8
2020	0,9	0,3	0,7
2021	1,0	0,4	0,6
2022	1,2	0,5	0,7
2023	1,5	0,7	0,9
2024	1,9	1,0	1,0
2025	2,4	1,3	1,2
2026	3,1	1,8	1,4
2027	3,8	2,3	1,6
2028	4,6	2,7	2,0
2029	5,2	3,1	2,2
2030	5,7	3,4	2,4
2031	6,0	3,6	2,6
2032	6,3	3,8	2,8
2033	6,6	3,9	2,9
2034	6,8	3,9	3,1
2035	6,9	3,9	3,2

Tabelle 53: Entwicklung verschiedener Nutzen-Kosten Quotienten von 2015 bis 2035
(Quelle: eigene Berechnung.)

Literaturverzeichnis

- [ACE 2009] Rotlicht- / Stoppschild-Verstöße. Eine Recherche des ACE Auto Club Europa, Stuttgart 2009.
- [Baum 1992] Baum, H., Maßmann, C., Schulz, W.H., Thiele, P., Rationalisierungspotential im Straßenverkehr I, FAT-Schriftenreihe Nr. 94, Frankfurt a.M. 1992
- [Baum 1994] Baum, H., Maßmann, C., Pfau, G., Schulz, W.H., Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Rationalisierungsmaßnahmen im Straßenverkehr, FAT-Schriftenreihe 113, Frankfurt a.M., 1994
- [BITKOM, Fraunhofer ISI 2012] Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland. Langfassung des Endberichts, 2012
- [Dix, Jarret 1991] Dix, M., Jarret, D., Costs and market aspects of IRTE strategies, Discussion Paper, o. O., 1991
- [Friedrich 2009], Friedrich, M., AMONES, AMONES Symposium, Berlin 2009
- [Hubacher, Allenbach 2002] Hubacher, M., Allenbach, R., Lichtsignalanlagen – Anlagespezifische Untersuchung sicherheitsrelevanter Aspekte von vierarmigen Kreuzungen im Innerortsbereich, bfu-report R48, Bern 2002
- [safespot 2010] Deliverable 6.51, Report on socio-economic, market and financial assessment, Brüssel 2010
- [Statistisches Bundesamt 2012] Verkehr, Verkehrsunfälle November 2012, Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden 2013.
- [Statistisches Bundesamt 2013] Preise. Verbraucherpreisindizes für Deutschland. Lange Reihen ab 1948, Wiesbaden 2013.
- [Statistisches Bundesamt 2012a] Verkehr, Verkehrsunfälle, 2011, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 2012.
- [Statistisches Bundesamt 2012b] Einwohnerzahlen der Großstädte, Statistisches Jahrbuch 2012, Seite 30 f., Wiesbaden 2012.
- [Verkehrsunfallforschung 2013] Schubert, A., Erbsmehl, Chr. Simulation realer Verkehrsunfälle zur Bestimmung des Nutzens für ausgewählte sim^{TD}-Anwendungsfälle auf Basis der GIDAS Wirkfeldanalyse.
- [Elsner 2011] Der Elsner. Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen, herausgegeben von E. Knoll, Berlin 2011.

Abkürzungen

A	Arbeit
B	Boden
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
Bt	Benefits
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
C	Kosten
C-B-R	Cost-Benefit-Ratio
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (Fahrzeuge je 24h)
E	Energieaufwand
EWS	Empfehlung für Wirtschaftlichkeitsanalysen an Straßen
K	Kapital
KWA	Kosten-Wirksamkeits-Analyse
MKA	Multi-Kriterielle-Analyse
n v	nicht vorhanden
NKA	Nutzen-Kosten Analyse
NKQ	Nutzen-Kosten-Quotient
NKQVE	Nutzen-Kosten-Quotient für die Verkehrseffizienzeffekte
NKQVS	Nutzen-Kosten-Quotient für die Verkehrssicherheitseffekte
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
RV	Ressourcenverzehr
SVZ	Straßenverkehrszählung
UBA	Umweltbundesamt
Um	Umweltaufwand
Un	Unfallaufwand
VA	Verkehrsaufwand
Z	Zeitaufwand