

# Analyse von Verkehrssicherheitskonzepten und Beispiele ihrer Anwendung in der Praxis

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades

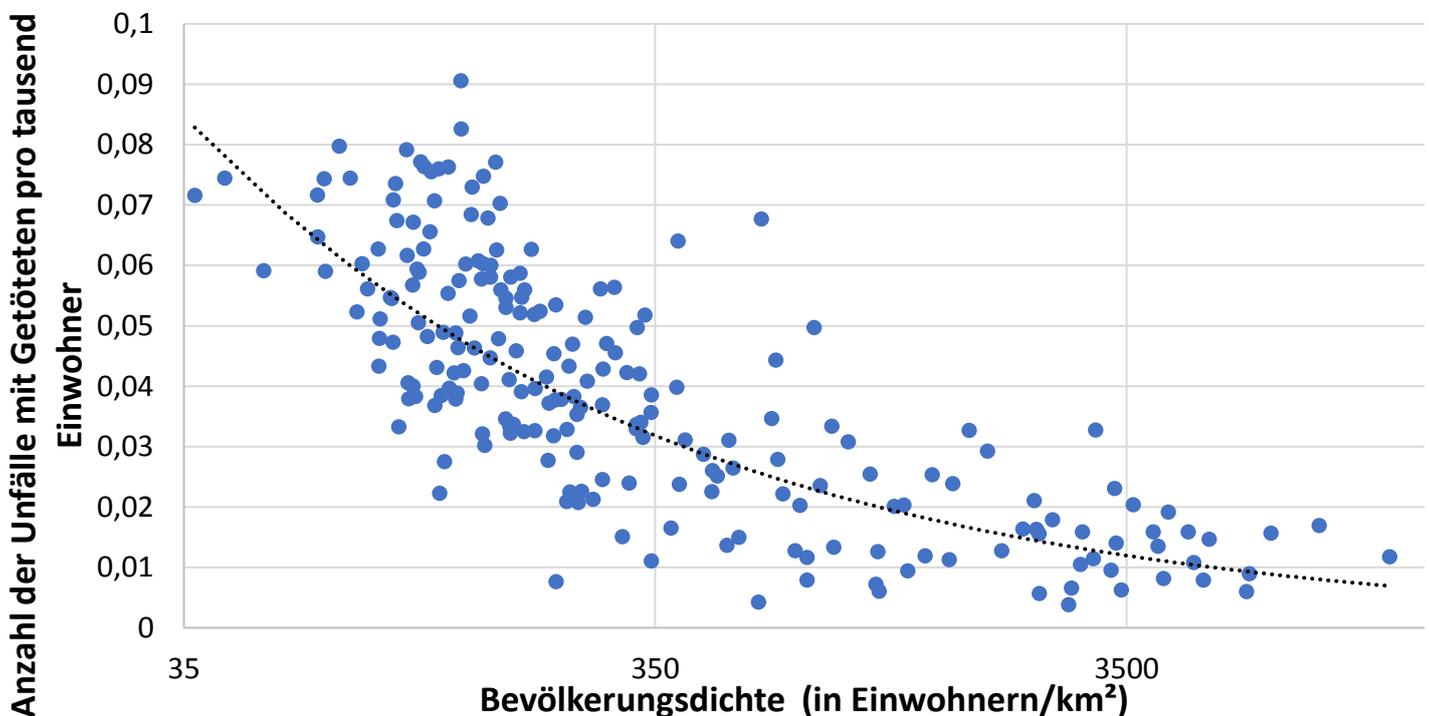
B.Sc.

an der Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt der Technischen Universität München.

**Betreuer/-in** Prof. Dr. Rolf Moeckel  
Lehrstuhl für Modellierung räumlicher Mobilität

**Eingereicht von** Benjamin Zimmermann

**Eingereicht am** München, den 10.02.2020



# Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Prof. Dr. Rolf Moeckel, der die wissenschaftliche Arbeit „Analyse von Verkehrssicherheitskonzepten und Beispiele ihrer Anwendung in der Praxis“ ermöglicht hat. Er hat sich viel Zeit für die themenbezogenen Gespräche genommen und mir stets Tipps und Anreize bezüglich der Datenanalyse gegeben.

Da ohne die öffentlich zugänglichen Unfalldaten im Unfallatlas von den Statistischen Ämtern des Bundes und der Länder eine Datenanalyse nicht möglich gewesen wäre, möchte ich hier ebenfalls meinen Dank aussprechen. Außerdem schätze ich sehr, dass alle Berichte, die über die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht wurden, im Internet kostenlos zur Verfügung gestellt wurden.

# Kurzfassung

Diese Arbeit unterteilt sich in zwei Teile, zuerst die Literaturrecherche und anschließend die Datenanalyse. In der Literaturrecherche wurden Zusammenhänge zwischen der Verkehrssicherheit und dem Straßendesign inklusive Schutzeinrichtungen hergestellt. Anschließend wurde untersucht, wie groß der Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeit auf die Verkehrssicherheit ist. Die Datenanalyse soll klare Antworten liefern auf Fragen wie „Besteht für Menschen, die in ländlichen Regionen leben, ein höheres Risiko an einem tödlichen Unfall beteiligt zu sein als für Menschen in Städten?“.

In der Literaturrecherche wurde herausgefunden, dass Autobahnen pro Fahrzeugkilometer ein geringeres Unfallrisiko haben als andere Straßentypen, obwohl die dort gefahrenen Geschwindigkeiten vergleichsweise hoch sind. Baumunfälle sind in ländlichen Gebieten noch immer ein großes Problem und machen einen Großteil der tödlichen Unfälle aus. Auf Bundesstraßen gibt es vereinzelt Gebiete mit schlechtem Sicherheitspotenzial. Dies bedeutet, dass deutlich höhere Unfallkosten entstehen als es für eine nach dem Regelwerk gestaltete Straße zu erwarten ist. Bei der Betrachtung von Knotenpunkten ist der Kreisverkehr fast immer sicherer als eine klassische Kreuzung und zweistreifige Kreisverkehre können als ähnlich sicher angenommen werden wie einstreifige Kreisverkehre. Für Tunnel wurde festgestellt, dass diese durchschnittlich um einiges sicherer sind als Straßen ohne Tunnel, da einige Unfallverursacher wegfallen. Neben den bereits genannten Aspekten wurde die Wirkung von Fahrzeugrückhaltesystemen, Rüttelstreifen und der Straßenbeleuchtung untersucht.

Für die gefahrenen Geschwindigkeiten im Straßenverkehr gilt generell, dass geringere erlaubte Geschwindigkeiten die Anzahl und die Schwere der Unfälle verringern. Es wurde versucht, Abschnitte auf Autobahnen mit und ohne Tempolimit zu vergleichen. Das Ergebnis ist jedoch nur begrenzt aussagekräftig, da unterschiedliche Verkehrsdichten nicht miteinbezogen werden konnten und somit nur nach Unfällen pro Abschnittslänge unterschieden werden konnte. Aufgrund der vielen Studien, die bei einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeit einen positiven Effekt auf die Verkehrssicherheit belegen, wird durch Einführung eines allgemeinen Tempolimits auf Autobahnen einen Rückgang der Anzahl der Unfälle und der Unfallschwere erwartet. In dem Kapitel Geschwindigkeit wurde außerdem festgestellt, dass an Ortseinfahrten fast immer mit zu hohen Geschwindigkeiten gefahren wird und Geschwindigkeitsüberwa-

chungen nur lokal und für die Dauer ihres Einsatzes die gefahrenen Geschwindigkeiten verringern.

Um herauszufinden, ob es Zusammenhänge zwischen bestimmten Unfallkategorien/Unfalltypen/Unfallarten und der Bevölkerungsdichte gibt, wurde mithilfe der Daten aus dem im Internet frei zugänglichen Unfallatlas (beinhaltet nur Unfälle mit Personenschaden) und Bevölkerungsstrukturdaten eine Datenanalyse durchgeführt. Verwendet wurde hierbei das Programm ArcMap zur Überlagerung der Unfalldaten und der jeweiligen Bevölkerungsdichte am Unfallort. Durch Excel konnte mit der aus ArcMap exportierten Tabelle eine grafische Darstellung der erwähnten Zusammenhänge realisiert werden. Um die Daten sinnvoll miteinander vergleichen zu können, wurde die Häufigkeit eines bestimmten Unfalls immer auf Unfälle pro tausend Einwohner genormt.

Dabei stellte sich heraus, dass das Risiko, an einem Unfall mit Personenschaden beteiligt zu sein für alle Bevölkerungsdichten gleichverteilt ist. Aber die Unfallschwere ist in ländlichen Regionen höher und es geschehen dort bis zu 6-mal so viele tödliche Unfälle pro tausend Einwohner als in urbanen Gebieten. Folgende Unfälle geschehen pro tausend Einwohnern häufiger in Bereichen mit niedrigeren Bevölkerungsdichten: Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn; Unfälle mit entgegenkommendem Fahrzeug; Unfälle mit Aufprall auf Fahrbahnhindernis; Unfälle durch falsches Fahrverhalten; Unfälle bei winterglatter Fahrbahn. In städtischen Gebieten traten folgende Unfälle vergleichsweise besonders häufig auf: Unfälle mit Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger; Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn; Unfälle durch ruhenden Verkehr. Für alle anderen Unfalltypen und Unfallarten konnten keine starken Unterschiede in deren Häufigkeit in ländlichen und urbanen Gebieten festgestellt werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Verwendete Literatur und Motivation zur Datenanalyse .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Verkehrssicherheit durch Straßendesign und Schutzeinrichtungen .....</b>	<b>6</b>
3.1. Autobahnen .....	6
3.1.1. Unfalldaten 2018 .....	6
3.1.2. Verkehrssicherheit auf Autobahnen und deren Ausstattung .....	7
3.2. Bundesstraßen .....	9
3.2.1. Unfalldaten 2018 .....	9
3.2.2. Sicherheitspotenzial für Bundesstraßen .....	10
3.3. Landesstraßen und Kreisstraßen .....	12
3.3.1. Unfalldaten 2018 .....	12
3.3.2. Baumunfälle auf Landesstraßen .....	12
3.4. Vergleich der Unfalldaten der verschiedenen Straßentypen .....	15
3.5. Knotenpunkte .....	16
3.5.1. Kreuzungen und Einmündungen .....	16
3.5.2. Kreisverkehre .....	17
3.6. Bedeutung von baulichen Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit .....	19
3.6.1. Beleuchtung .....	19
3.6.2. Fahrzeugrückhaltesysteme .....	21
3.6.3. Rüttelstreifen .....	23
3.7. Tunnel .....	25
3.7.1. Besonderheiten im Tunnel .....	25
3.7.2. Verkehrssicherheit im Tunnel .....	26
<b>4. Geschwindigkeit im Straßenverkehr und Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit .....</b>	<b>30</b>
4.1. Grundsätzliche Auswirkungen von Geschwindigkeitsveränderungen im Straßenverkehr .....	31
4.1.1. Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsbeschränkungen und Unfallraten .....	31
4.2. Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen .....	33
4.2.1. Allgemeine Ansichten zum Tempolimit .....	33
4.2.2. Vergleich von Abschnitten mit beschränkter Höchstgeschwindigkeit und Abschnitten ohne Tempolimit .....	33
4.3. Geschwindigkeitsverhalten an bestimmten Standorten .....	36
4.3.1. Ortseinfahrten .....	36
4.3.2. Geschwindigkeitsüberwachungen .....	39

<b>5. Datenanalyse</b> .....	<b>41</b>
5.1. Vorbereitung und Datensammlung .....	41
5.2. Überlagern der Unfalldaten mit ausgewählten Karten.....	42
5.2.1. Überlagern der Unfalldaten mit Straßen .....	42
5.2.2. Überlagern der Unfalldaten mit den verschiedenen Bevölkerungsdichten .....	43
5.3. Datenauswertung .....	45
5.3.1. Allgemeines Vorgehen .....	45
5.3.2. Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner .....	47
5.4. Verkehrsunfälle nach Bundesländern .....	57
<b>6. Fazit</b> .....	<b>60</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>62</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>65</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>66</b>

# 1. Einleitung

Aufgrund der großen Bedeutung von Mobilität in unserer Gesellschaft sind Straßen nicht mehr wegzudenken und werden von vielen Menschen im Alltag genutzt. Dabei soll für alle Verkehrsteilnehmer der Aufenthalt auf diesen möglichst sicher sein und die Anzahl der Unfälle soll so gering wie möglich gehalten werden. In den letzten Jahrzehnten konnte die Anzahl der jährlichen Verkehrstode stark reduziert werden, obwohl im gleichen Zeitraum der Verkehr auf den Straßen zunahm [1]. Dabei spielten bedeutende Faktoren wie die Einführung von Höchstgeschwindigkeiten, eine Promillegrenze, Helmtrage- und Gurtanlegepflicht eine Rolle, aber auch im Bereich der Fahrzeugtechnik kam es zu Neuerungen, die die Verkehrssicherheit maßgeblich erhöhten, darunter das ABS, der Airbag und die Verbesserung des Reifens [2].

Um einen Überblick über das Thema zu erhalten, ist die Entwicklung der Zahl der jährlich Getöteten im Straßenverkehr mit Ereignissen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in der folgenden Abbildung dargestellt.

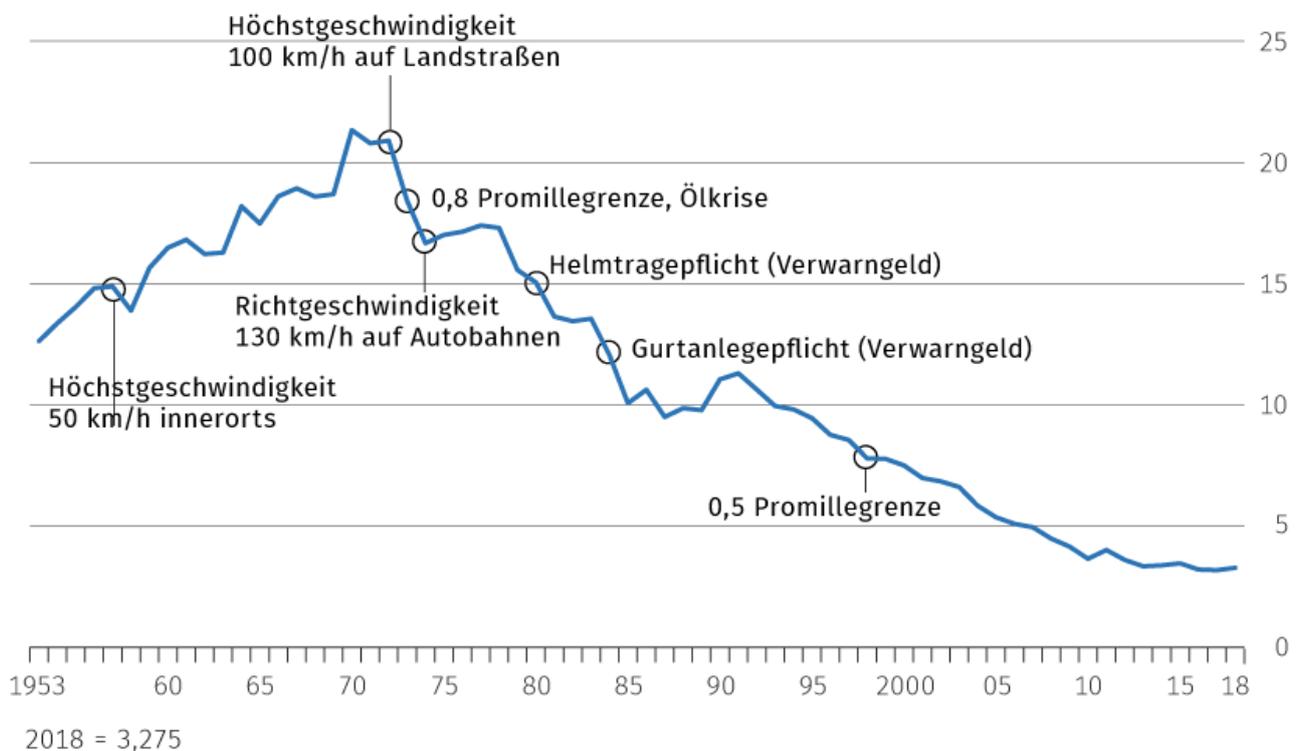


Abbildung 1: Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten in Tausend [43]

Wie man dieser Abbildung entnehmen kann, nahm seit 1970 die Anzahl der jährlichen Verkehrstoten durchschnittlich ab, so gab es im Jahr 1970 über 20.000 Verkehrstote und im Jahr 2018 waren es nur noch 3.275. Auch wenn im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten heutzutage jährlich weniger Menschen im Straßenverkehr sterben, ist die Zahl der Verkehrstoten in den letzten Jahren kaum zurückgegangen und scheint relativ konstant zu bleiben. In dieser Bachelorarbeit wird unter anderem untersucht, welche Maßnahmen es gibt, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen und damit die Zahl der Verkehrstoten noch weiter zu verringern.

Die vorliegende Arbeit setzt sich vor allem mit der Verkehrssicherheit bezogen auf Straßendesign, Straßeneinrichtungen und Geschwindigkeitsverhalten auseinander. Hierbei soll herausgefunden werden, welchen Zusammenhang es zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und der Verkehrssicherheit gibt und inwiefern sich verschiedene Straßentypen aus Sicht der Verkehrssicherheit voneinander unterscheiden. Neben der Literaturrecherche werden Unfalldaten analysiert, sodass mehrere Zusammenhänge zwischen Bevölkerungsdichte und Unfallhäufigkeiten dargestellt werden und je nach Bevölkerungsdichte bestimmte Unfallrisiken für den individuellen Verkehrsteilnehmer verglichen werden können. Es sollen damit folgende Fragen beantwortet werden: Besteht für Einwohnern aus ländlichen Regionen ein anderes Risiko in einem Verkehrsunfall mit Personenschaden verwickelt zu sein als für Einwohner aus städtischen Regionen? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der tödlichen Verkehrsunfälle und der Bevölkerungsdichte (genormt auf tödliche Unfälle pro tausend Einwohner)?

Die Literaturrecherche der Arbeit unterteilt sich im Kapitel „Verkehrssicherheit durch Straßendesign und Schutzeinrichtungen“ zunächst in die verschiedenen Straßentypen und geht dabei auf aktuelle Unfalldaten auf Autobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen und Kreisstraßen ein und vergleicht diese miteinander. Es werden hier Aspekte der Verkehrssicherheit berücksichtigt, die speziell für den jeweiligen Straßentyp relevant sind, darunter die verkehrssicherheitsrelevante Ausstattung auf Autobahnen, das Sicherheitspotenzial für Bundesstraßen und Baumunfälle auf Landesstraßen/Kreisstraßen. In diesem Kapitel werden außerdem Tunnel und Knotenpunkte - also Kreuzungen, Einmündungen und Kreisverkehre - untersucht und bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit wie die Straßenbeleuchtung, Fahrzeugrückhaltesysteme und Rüttelstreifen ebenfalls hinsichtlich der Verkehrssicherheit bewertet.

Im zweiten großen Kapitel der Literaturrecherche, „Geschwindigkeit im Straßenverkehr und Zusammenhang zur Verkehrssicherheit“ werden zunächst die Auswirkungen von Geschwindigkeitsveränderungen im Straßenverkehr festgestellt. Im Anschluss werden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen hinsichtlich der Verkehrssicherheit untersucht. Abschließend wird an Ortseinfahrten und Geschwindigkeitsüberwachungen das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmer ermittelt.

## 2. Verwendete Literatur und Motivation zur Datenanalyse

Da viele Studien bezüglich Verkehrssicherheit vor allem in der englischen Sprache zusammengefasst und analysiert wurden, bietet es sich an, diese im Rahmen der Arbeit zu berücksichtigen und die Ergebnisse aufzuzeigen. So haben z.B. R. Elvik, A. Høye, T. Vaa und M. Sørensen in deren gemeinsam veröffentlichten Buch „THE HANDBOOK OF ROAD SAFETY MEASURES (SECOND EDITION)“ Bezug auf eine Vielzahl an Studien genommen und deren Ergebnisse ausgewertet und zusammengefasst. Aufgrund der hohen Zahl an berücksichtigten Studien aus verschiedenen Ländern können oftmals verlässliche Schlussfolgerungen getroffen werden und eine Tendenz der Ergebnisse festgestellt werden. Unter der Verwendung von anderen Quellen, die sich speziell auf Deutschland beziehen, werden z.B. Themen wie die Verkehrssicherheit in Tunnel untersucht.

In Deutschland wurden in den letzten Jahren viele Studien und Berichte mit dem Schwerpunkt Verkehrssicherheit von der Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht, die sich vertieft auf Themen wie das Tempolimit auf Autobahnen, die Bedeutung von Geschwindigkeitsüberwachungen und die Wechselwirkung zwischen Pkw und Fahrzeugrückhaltesysteme konzentriert. Es können noch viele weitere Berichte und Untersuchungen genannt werden, die im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden. Durch das Einbringen von einigen unterschiedlichen Themen der Verkehrssicherheit können diese miteinander verglichen werden und somit festgestellt werden, welchen Bereichen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte.

Das statistische Bundesamt veröffentlicht jedes Jahr einen ausführlichen Bericht über alle Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Deutschland. Die Daten beziehen sich hierbei immer auf ein bestimmtes Jahr und werden teilweise mit den Daten der Vorgängerjahre verglichen. Aus diesen Daten können einige Zusammenhänge im Unfallgeschehen festgestellt werden und ermöglichen aufgrund ihrer hohen Datenmenge relativ sichere Aussagen. Auch wenn die Veröffentlichungen des statistischen Bundesamts sehr informativ sind, können nicht alle relevanten Fragen zur Verkehrssicherheit abgedeckt werden. So wird beispielsweise kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Unfälle und den verschiedenen Bevölkerungsdichten dargestellt.

Mithilfe des neuen Unfallatlas können Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Deutschland mit Geokoordinaten verknüpft werden (insofern die Polizei des jeweiligen Bundeslandes die Unfälle mit Geokoordinaten datiert). Neben den Geokoordinaten sind für jeden Unfall auch andere Informationen enthalten, darunter die Lichtverhältnisse, der Straßenzustand, die Zeit des Unfalls, die Unfallschwere, die Beteiligten und die Unfallart. Da die Daten frei zugänglich sind, können diese in ein GIS-Programm geladen werden. Mit Hilfe von Bevölkerungsstrukturdaten mit Geokoordinaten können anschließend Analysen durchgeführt werden.

Da in den Berichten des statistischen Bundesamts keine Informationen zum Zusammenhang von Verkehrsunfällen und der Bevölkerungsdichte (also eine Differenzierung in stärker und weniger stark besiedelten Flächen) enthalten sind, soll die Bachelorarbeit diese Lücke schließen. Deswegen wird mit Hilfe der aktuellen Daten des Unfallatlas eine Datenanalyse ausgeführt. Dadurch kann z.B. festgestellt werden, wie viele bestimmte Verkehrsunfälle in Gebieten mit unterschiedlichen Bevölkerungsdichten geschehen und wie wahrscheinlich diese Unfälle für den individuellen Einwohner sind.

Deutschland ist eines der wenigen Länder, auf deren Straßen teilweise mit unbeschränkter Höchstgeschwindigkeit gefahren werden darf, dabei wird in der Politik oft über ein Tempolimit auf deutschen Autobahnen diskutiert und abgestimmt. Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrssicherheit soll in dieser Arbeit aufgezeigt werden, um abzuleiten, wie sich ein Tempolimit und damit niedriger gefahrene Geschwindigkeiten auf den Autobahnen in Deutschland auswirken könnten.

## 3. Verkehrssicherheit durch Straßendesign und Schutzeinrichtungen

Die Straßen an sich tragen stark zur Verkehrssicherheit bei und müssen deshalb so sicher wie möglich gestaltet werden. Das Vermeiden von Unfällen ist bei dem Design der Straßen ein bedeutsamer Faktor [3]. In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen von Straßendesign und Schutzeinrichtungen in Bezug auf die Verkehrssicherheit untersucht. Zunächst werden die Straßentypen an sich analysiert und miteinander verglichen, anschließend werden weitere Aspekte in der Straßenausstattung berücksichtigt (wie z.B. Straßenbeleuchtung, Tunnel, Leitplanken). Auf Gefahrenpunkte wie Kreuzungen oder Kreisverkehre wird ebenfalls eingegangen.

Von insgesamt 229.903 km Straße des überörtlichen Verkehrs (außerhalb von Ortschaften) sind 13.009 km den Autobahnen, 38.018 km den Bundesstraßen, 86.964 km den Landesstraßen und 91.912 km den Kreisstraßen zuzuordnen (Stand 2018) [1]. Im Folgenden werden die einzelnen Straßentypen nach Unfalltypen analysiert und anschließend wird deren Sicherheit miteinander verglichen.

### 3.1. Autobahnen

#### 3.1.1. Unfalldaten 2018

Bei der Betrachtung von Autobahnen wird zunächst auf die Daten von 2018 aus Deutschland eingegangen (ausgewertet und zur Verfügung gestellt vom Statistischen Bundesamt (Destatis) [1]). Während innerhalb von Ortschaften insgesamt 1.946.295 Unfälle im Jahr 2018 stattfanden (mit 984 Getöteten), ereigneten sich im selben Jahr außerhalb von Ortschaften 690.173 Unfälle (mit 2.291 Getöteten) [1]. Damit ist die Anzahl der Getöteten außerorts deutlich höher, obwohl es weniger Unfälle gibt.

Bezieht man die Daten nun auf Autobahnen, gab es 2018 insgesamt 175.995 Unfälle (mit 424 Getöteten) [1]. Anders als in Ortschaften und außerhalb von Ortschaften (ohne Autobahn) ist die Anzahl der Unfälle pro Monat auf Autobahnen relativ konstant und weist keine Tendenz mit mehr Unfällen an wärmeren Monaten auf [1]. Unfälle können nach Unfalltypen unterschieden werden und beinhalten demnach Fahrunfälle (z.B. un-

passende Geschwindigkeit für Situation), Abbiege-Unfälle, Einbiegen-/Kreuzenunfälle, Überschreitenunfälle (z.B. Queren der Fahrbahn durch Fußgänger), Unfälle durch ruhenden Verkehr (z.B. Stau), Unfälle im Längsverkehr (z.B. Auffahrunfall zwischen Verkehrsteilnehmern in gleicher oder entgegengesetzter Richtung) und sonstige Unfälle. Der Unfalltyp gibt immer an, welche Konfliktsituation zum Unfall geführt hat [1]. Von insgesamt 20.537 Unfällen mit Personenschaden auf Autobahnen, sind 13.437 davon dem Unfalltyp Längsverkehr zuzuordnen und 4.676 Unfälle dem Unfalltyp Fahrnfall. Auffällig ist außerdem, dass die Anzahl der Einbiegen-/Kreuzenunfälle (369) deutlich höher als die Anzahl der Abbiege-Unfälle (71) ist [1].

### 3.1.2. Verkehrssicherheit auf Autobahnen und deren Ausstattung

Vor allem ältere Autobahnen wurden ursprünglich für eine geringere Verkehrsbelastung gebaut, aber aufgrund der steigenden Verkehrsbelastung wurde bereits im Jahr 2010 1.600 Kilometer des deutschen Autobahnnetzes als überlastet eingestuft. Bis 2025 soll die Länge des überlasteten Autobahnnetzes sogar auf 2000 Kilometer ansteigen [4] [5]. Grundsätzliche Vorteile einer Autobahn sind eine kürzere Reisezeit, geringere Transportkosten und weniger Unfälle. Diese Eigenschaften sind bei der Planung maßgebend, daraus ergeben sich hohe Ansprüche an Autobahnen wie breite Straßen, Sicherheitseinrichtungen (z.B. Leitplanken, Straßenbeleuchtung) und vermehrte Wartungen [5].

Injury accidents reported to the police per million vehicle kilometres					
Road type	1971–75*	1977–80*	1986–89	1991–94	2005
Motorway A	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07
Motorway B	0.09	0.11	0.15	0.10	0.11
Roads in rural areas	0.33	0.30	0.25	0.17	0.14
Roads in urban areas	0.59	0.57	0.36	0.38	0.37

Abbildung 2: Unfallrate auf Autobahnen und anderen Straßen in Norwegen [5]

In Abbildung 2 ist die Unfallrate auf Autobahnen in Norwegen verglichen mit anderen Straßentypen über verschiedene Zeiträume dargestellt. Die Unfallrate ist als Anzahl der Unfälle mit Personenschaden pro eine Millionen Fahrzeugkilometer, die von der Polizei erfasst wurden, zu verstehen. Bei der Bezeichnung „Motorway A“ handelt es sich um eine übliche Autobahn mit Schutzeinrichtungen, während der Typ „Motorway B“ über keine Mittelleitplanke verfügt [5]. Aufgrund der fehlenden Mittelleitplanke entstehen auf diesem Autobahntyp etwas mehr Unfälle mit Personenschaden, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist. Trotzdem sind beide Autobahntypen sicherer als Straßen in ländlichen und vor allem in städtischen Gebieten. Außerdem hat sich in Norwegen in einem Zeitraum von 30 Jahren die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden in ländlichen und städtischen Gebieten verringert während sie auf Autobahnen relativ gleich geblieben ist [5]. R. Elvik [5] beschreibt Beobachtungen aus anderen Ländern, die ein ähnliches Ergebnis zeigen, darunter Schweden (Thulin 1991), Dänemark (Vejdatalaboratoriet 1991), Finnland (Leden 1993), Großbritannien (UK Department of Transport 1991), Deutschland (Marburger, Klöckner und Stöckner 1989), Niederlande (Koornstra 1993) und USA (US Department of Transportation 1992) [5].

		Percentage change in the number of accidents	
Accident severity	Type of accident affected	Best estimate	95% confidence interval
<b><i>Increasing from two to three traffic lanes on class B motorways</i></b>			
Injury accidents	All accidents	+3	(-22; +35)
<b><i>Automatic queue warnings with variable signs</i></b>			
Injury accidents	All accidents	-14	(-22; -8)
Property damage only accidents	All accidents	+16	(+1; +34)
Injury accidents	Accidents involving rear-end collisions	-22	(-29; -13)
Property damage only accidents	Accident involving rear-end collisions	+65	(+28; +112)
<b><i>Anti-dazzle screens in central reservations on motorways</i></b>			
Injury accidents	Accidents in darkness	-11	(-45; +45)
Property damage only accidents	Accidents in darkness	+6	(-25; +51)

Abbildung 3: Einfluss verschiedener Aspekte auf die Verkehrssicherheit auf Autobahnen [5]

In Abbildung 3 wird dargestellt, wie sich Straßenausstattungen (in dem Fall Blendschutz) und Verkehrskontrolle (durch Stauwarnsysteme) auf die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und auf die Anzahl der Unfälle mit ausschließlich Sachschaden auswirken [5]. Die Tabelle ist durch Daten aus einigen Studien entstanden, die von R.

Elvik beschrieben wurden [5]. In der Tabelle fällt auf, dass Stauwarnsysteme die Zahl der Unfälle mit Personenschaden reduzieren, dafür aber mehr Unfälle mit ausschließlich Sachschaden zustande kommen. Für Autobahnen mit Blendschutz werden nachts die Unfälle mit Personenschaden reduziert und die Anzahl der Unfälle mit ausschließlich Sachschaden nur leicht erhöht. Der Ausbau von zwei auf drei Fahrstreifen führt zu einem geringen Anstieg der Unfälle mit Personenschaden. Durch zielgerichtete Maßnahmen in der Straßenausstattung und in der Verkehrskontrolle kann damit die Zahl der Personen, die durch Unfälle verletzt werden, reduziert werden.

Bei Fahrstreifenreduktionen an Autobahnen kommt es vor allem ab einer Verkehrsstärke von 30.000 Fahrzeugen pro Tag und Richtung (auch Kfz/(d Rtg)) zu mehr Unfällen, die durch vermehrtes Bremsen/Beschleunigen an solchen Stellen entstehen [6]. Die meisten dieser Unfälle sind jedoch Auffahrunfälle mit ausschließlich Sachschaden [6]. Wenn Fahrstreifenreduktionen nicht vermieden werden können, sollte man diese an Stellen mit geraden, ebenen Streckenabschnitten und einer Verkehrsstärke unter 30.000 Kfz/(d Rtg) planen um den negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu minimieren [6].

## 3.2. Bundesstraßen

### 3.2.1. Unfalldaten 2018

Bei der Betrachtung von Bundesstraßen ist eine Unterteilung in „innerhalb von Ortschaften“ und „außerhalb von Ortschaften“ sinnvoll, da die Unfalltypen dort unterschiedlich gewichtet sind, es handelt sich um die gleichen Unfalltypen wie in Abschnitt 3.1.1. bereits erwähnt [1]. Innerhalb von Ortschaften kam es auf Bundesstraßen in Deutschland im Jahr 2018 zu 27.186 Unfällen mit 171 Getöteten, während außerhalb von Ortschaften 23.826 Unfälle mit 661 Getöteten entstanden sind [1]. Damit verlaufen außerhalb von Ortschaften die Unfälle häufiger tödlich als innerhalb von Ortschaften. Einige Unfalltypen sind je nach Ortslage stark unterschiedlich, so geschehen außerhalb von Ortschaften mehr als doppelt so viele Fahrunfälle wie innerorts, aber fast nur halb so viele Abbiegeunfälle [1]. Innerhalb von Ortschaften betragen die Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn und durch ruhenden Verkehr ein Vielfaches als außerhalb von Ortschaften [1].

### **3.2.2. Sicherheitspotenzial für Bundesstraßen**

Für Bundesautobahnen werden seit dem Jahr 2004 Sicherheitspotenziale nach den ESN (Empfehlungen für die Sicherheitsanalysen von Straßennetzen) berechnet [7]. Dadurch wird festgestellt, wo Verbesserungen der Verkehrssicherheit am wirkungsvollsten wären. Dies ist ein bedeutsames Hilfsmittel neben der örtlichen Unfallanalyse [7]. Das Sicherheitspotenzial stellt den Unterschied zwischen den tatsächlichen Unfallkosten und einem Erwartungswert für die Unfallkosten für eine bestimmte Zeitspanne auf einer begrenzten Strecke dar, wobei der Erwartungswert für die Unfallkosten eine nach Regelwerk optimal sichere Gestaltung der Straße voraussetzt [7]. Damit gibt das Sicherheitspotenzial an, in welcher Höhe Unfallkosten durch bessere Gestaltung der Straße vermieden werden könnten [7]. Für die Berechnung sind Straßendaten, Unfalldaten und Verkehrsstärkedaten erforderlich [7].

Für Bayern ist das Ergebnis einer solchen Berechnung auf der folgenden Seite dargestellt.

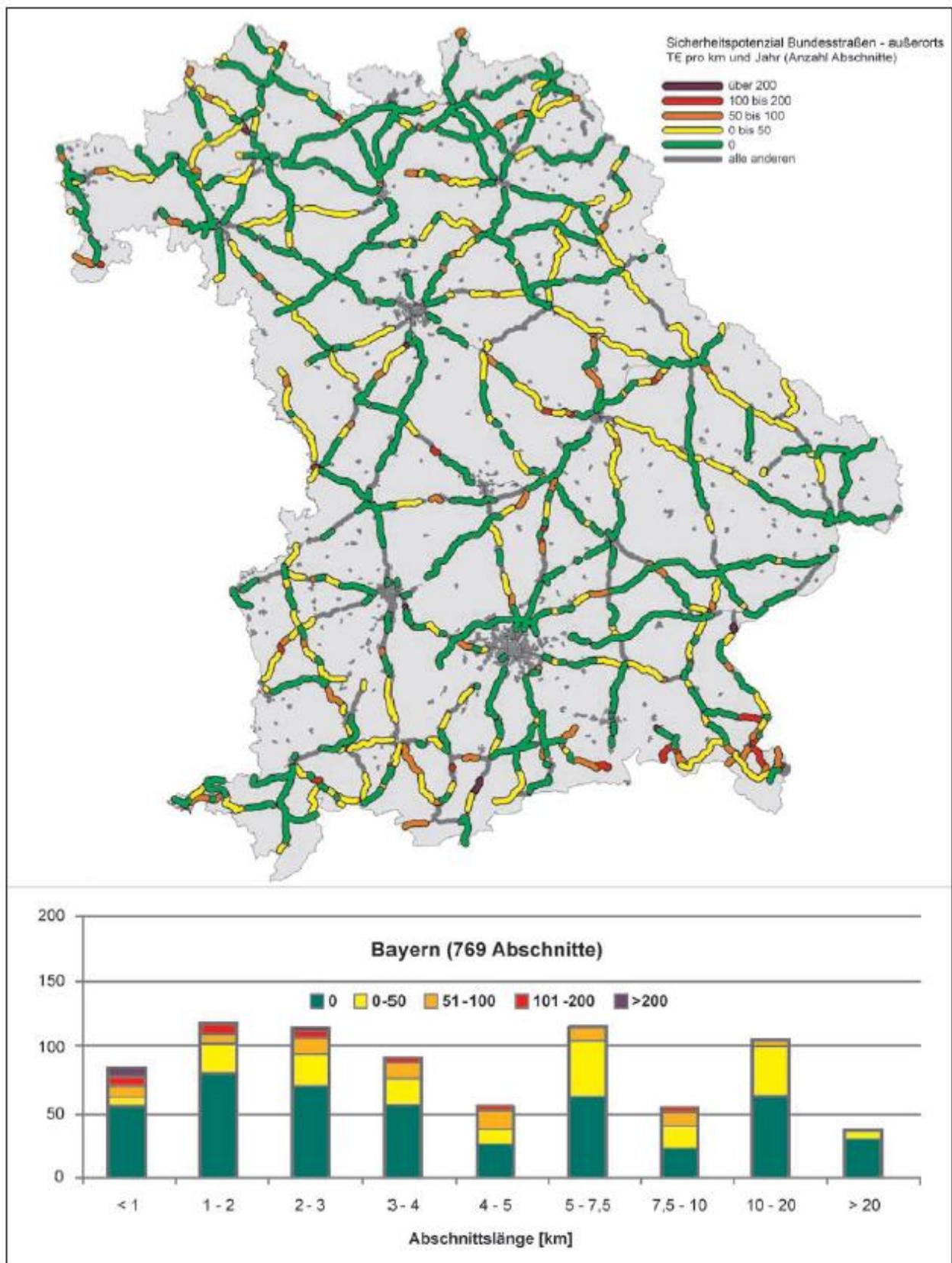


Abbildung 4: Sicherheitspotenziale im Bundesstraßennetz in Bayern und Verteilung der Sicherheitspotenziale nach Abschnittslängen [7]

Bei Streckenabschnitten mit grüner Verfärbung kann durch Verbesserung der Straßeninfrastruktur nach den jeweiligen Richtlinien keine Verringerung der Unfallkosten erwartet werden während in Bereichen mit roter Verfärbung zwischen 100.000 € und 200.000 € pro Kilometer eingespart werden könnten. Auffällig ist außerdem, dass besonders lange Abschnittslängen (>20 km) größtenteils optimal sicher gestaltet sind (nach dem Regelwerk) und somit Unfallkosten durch infrastrukturelle Maßnahmen nicht signifikant verringert werden können.

### 3.3. Landesstraßen und Kreisstraßen

#### 3.3.1. Unfalldaten 2018

In 2018 kam es auf Landesstraßen in Deutschland innerhalb von Ortschaften zu 35.701 Unfällen mit Personenschaden während sich außerhalb von Ortschaften 28.629 Unfälle mit Personenschaden ereigneten [1]. Innerhalb von Ortschaften starben durch diese Unfälle 191 Menschen und außerhalb von Ortschaften 683 Menschen, damit verlaufen auf Landesstraßen Unfälle außerorts häufiger tödlich als innerorts [1]. Betrachtet man die Unfalltypen, fällt auf, dass außerhalb von Ortschaften sich mehr als doppelt so viele Fahrurfälle ereignen als innerorts (9.639 und 4.280) [1]. Innerhalb von Ortschaften sind die Zahl der Abbiegeunfälle, Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn und Unfälle durch ruhenden Verkehr deutlich höher als außerhalb von Ortschaften [1].

Da Kreisstraßen in der Bauart und Nutzung ähnlich sind wie Landesstraßen, verhalten sich auch die Unfalldaten ähnlich wie auf Landesstraßen [1]. Insgesamt sind im Jahr 2018 in Deutschland 473 Menschen auf Kreisstraßen gestorben, davon 375 außerhalb von Ortschaften und 98 innerhalb von Ortschaften [1].

#### 3.3.2. Baumunfälle auf Landesstraßen

Im Jahr 2018 verunglückten in Deutschland 519 Menschen durch den Aufprall auf Bäumen, was bei insgesamt 3275 Verkehrstoten ca. 15,8% der Verunglückten entspricht [1]. Von diesen 519 Verkehrstoden geschahen 440 außerhalb von Ortschaften

(ohne Autobahnen) und damit starben in diesem Bereich 23,6% der Menschen durch den Aufprall auf Bäumen (bei insgesamt 1867 Getöteten durch Verkehrsunfälle außerhalb von Ortschaften) [1]. Im Jahr 2008 starben sogar 931 Menschen durch den Aufprall von Bäumen (bei insgesamt 4.477 Verkehrstoten) und die Gefahr, auf Landesstraßen getötet zu werden, war bei Unfällen mit Bäumen um das 2,3-fache höher als das Durchschnittsrisiko [8]. Nach einer Umfrage von Eid et al. [8] wird das Risiko von den Verkehrsteilnehmern stark unterschätzt.

In der folgenden Abbildung wird die Entwicklung von Verunglückten bei Unfällen insgesamt und nur bei Baumunfällen zwischen den Jahren 1995 und 2008 aufgezeigt. Dabei wird als Startwert das Jahr 1995 herangezogen.

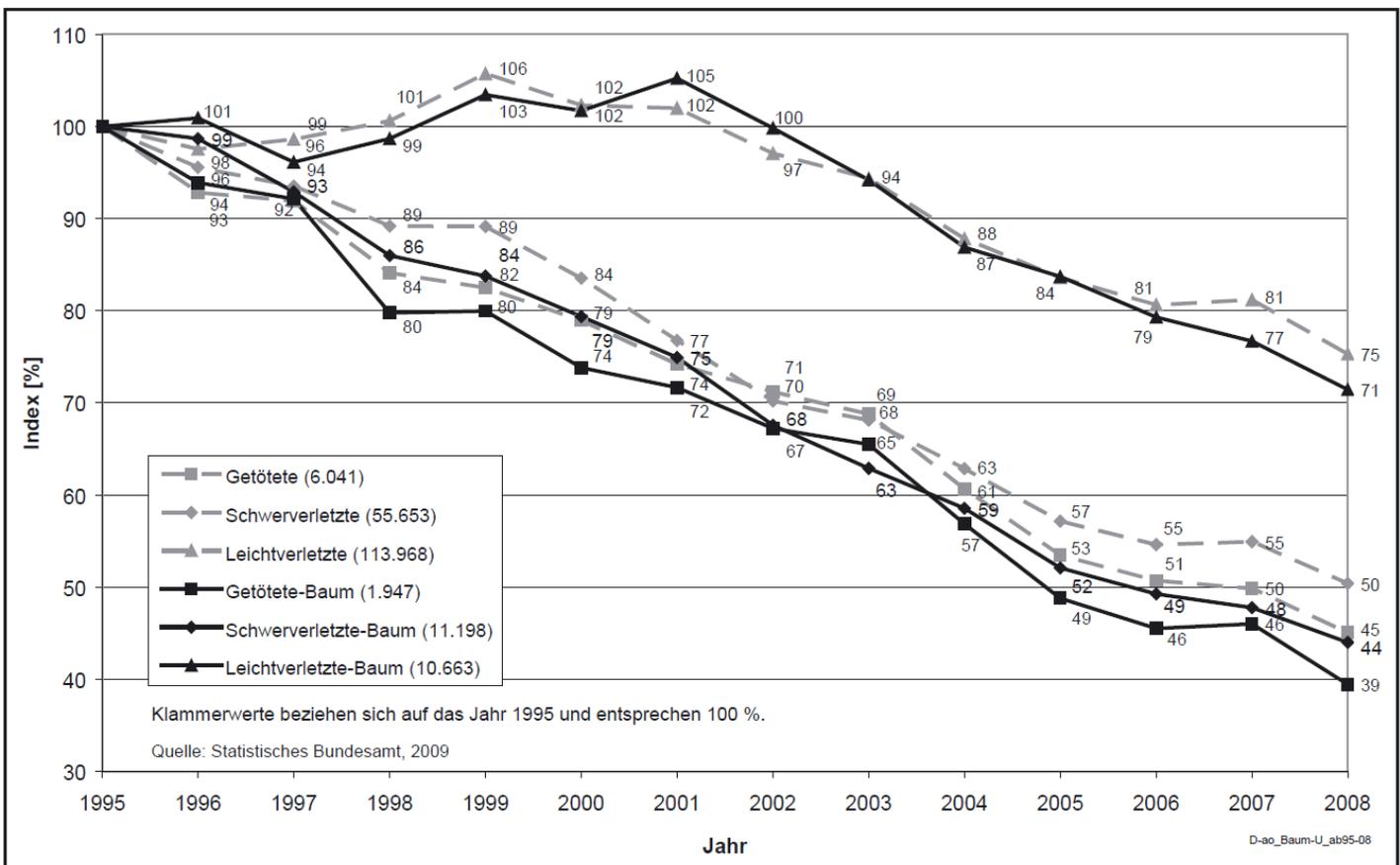


Abbildung 5: Entwicklung der Verunglückten auf Landstraßen bei Unfällen insgesamt und bei Baumunfällen [8]

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass sowohl bei allen Unfällen insgesamt als auch bei ausschließlich Unfällen mit Bäumen ein Rückgang zu verzeichnen ist, jedoch bleibt das Verhältnis der beiden Komponenten gleich [8].

Brandenburg hat die Anzahl der Verkehrstode durch Baumunfälle zwischen 1995 und 2008 von 344 GT/a auf 68 GT/a reduziert, was aufzeigt, dass die Maßnahmen des Verkehrssicherheitsprogramms wirkungsvoll waren und Potential vorhanden ist [8]. Trotzdem starben auf Landstraßen in Brandenburg im Jahr 2008 die Hälfte der Getöteten an Baumunfällen [8].

Die meisten Unfälle mit Bäumen sind Abkommensunfälle. Diese sind gefährlich, da das Fahrzeug noch eine hohe Geschwindigkeit besitzt, wenn es mit einem Baum in der Nähe der Fahrbahn kollidiert [8]. Folgende Abbildung stellt einen Zusammenhang zwischen dem Abkommenswinkel, der Hindernisabstand zum Fahrbahnrand und der Aufprallgeschwindigkeit bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 100 km/h dar.

Abkommenswinkel	Aufprallgeschwindigkeit [km/h]				
	Hindernisabstand zum Fahrbahnrand				
	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m
8°	99	98	96	85	74
15°	99	99	98	98	97

Randbedingungen: Ausgangsgeschwindigkeit 100 km/h

Phase 1: Reaktionsweg 1,5 Sekunden [1], [2]

Verzögerung  $b(s) = 0,6 \text{ m/s}^2$  (ebener, gehärteter Boden) [3]

Phase 2: Bremsen mit  $b = 5 \text{ m/s}^2$  im Gelände;  $8,0 \text{ m/s}^2$  auf der Fahrbahn [2]

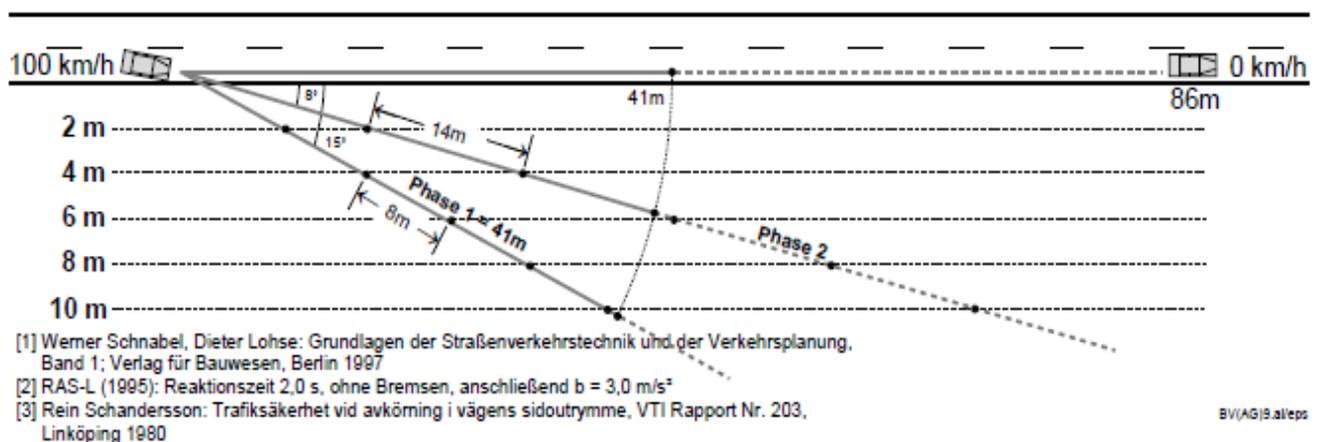


Abbildung 6: Aufprallgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abkommenswinkel und Hindernisabstand [8]

In Abbildung 6 wird ersichtlich, dass der Fahrer kaum Zeit hat sein Fahrzeug ausreichend abzubremsen, wenn sich der Baum in der Nähe der Fahrbahn befindet. Grund-

sätzlich gilt ein geringerer Abkommenswinkel als sicherer, da die Geschwindigkeit stärker reduziert werden kann. Trotzdem kann ein seitlicher Aufprall mit 40 km/h bereits tödlich enden [8].

### 3.4. Vergleich der Unfalldaten der verschiedenen Straßentypen

Nachdem nun einige Straßentypen mit verschiedenen Unfallursachen und einer unterschiedlichen Anzahl an Verkehrstoten erläutert wurden, werden hier die Daten von Verunglückten mit der Länge des jeweiligen Straßentyps verglichen. Daraus kann dann basierend auf den Daten des Statistischen Bundesamts im Jahr 2018 [1] bestimmt werden, wie wahrscheinlich es ist, dass pro Kilometer des jeweiligen Straßentyps in einem Jahr ein tödlicher Unfall geschieht. Dies hat jedoch keine Bedeutung bezüglich der Verkehrssicherheit der verschiedenen Straßen, da diese noch von der Anzahl der Spuren und der Verkehrsdichte abhängt.

*Auf Autobahnen beträgt diese Wahrscheinlichkeit bei einer Gesamtlänge von 13.009 km und 424 Getöteten 3,26% [1].*

*Auf Bundesstraßen beträgt diese Wahrscheinlichkeit bei einer Gesamtlänge von 38.018 km und 832 Getöteten 2.19% [1].*

*Auf Landesstraßen beträgt diese Wahrscheinlichkeit bei einer Gesamtlänge von 86.964 km und 874 Getöteten 1,01% [1].*

*Auf Kreisstraßen beträgt diese Wahrscheinlichkeit bei einer Gesamtlänge von 91.912 km und 473 Getöteten 0,51% [1].*

Damit sterben durchschnittlich auf einem Kilometer des Straßentyps Autobahn 6-mal so viele Menschen wie auf einem Kilometer einer Kreisstraße. Dadurch wird ersichtlich, dass trotz der relativ hohen Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vielen Unfällen rein auf ihre Länge bezogen zu rechnen ist.

## 3.5. Knotenpunkte

### 3.5.1. Kreuzungen und Einmündungen

Kreuzungen und Einmündungen sind in Deutschland ein bedeutsamer Aspekt, wenn es um die Verkehrssicherheit geht [9]. An diesen Knotenpunkten (zusammen mit Grundstücksein- und -ausfahrten) starben im Jahr 2015 899 Menschen und es kam zu 26.694 Schwerverletzten und 160.974 Leichtverletzten [9]. Die meisten Knotenpunkte befinden sich innerorts, dort sind mindestens 3,5-mal so viele Verkehrsteilnehmer verunglückt als außerorts [9]. Auf alle Unfälle innerorts bezogen sind mehr als die Hälfte der Unfälle mit Personenschaden an Knotenpunkten geschehen [9]. Kreuzungen stellen damit für alle Verkehrsteilnehmer einen gefährlichen Bereich dar [5]. Bei mehr als drei Viertel der Knotenpunkte handelt es sich um Einmündungen und die Vorfahrt ist am häufigsten durch „rechts vor links“ geregelt [10]. Problematisch ist außerdem, dass nur wenige Knotenpunktzufahrten für die Verkehrsteilnehmer vollständig einsehbar sind und nicht durch Gebäude oder Bewuchs sichtbeeinträchtigt sind [10]. An Kreuzungen mit viel Verkehr und damit hohen verbundenen Wartezeiten kommt es oft zu gefährlichen Situationen, da die Bereitschaft der Verkehrsteilnehmer, knappe Lücken zu nutzen, höher ist als an Knotenpunkten mit geringeren Wartezeiten [5].

Laut der GIDAS-Unfalldatenbank geschahen die meisten Knotenpunktunfälle mit Personenschaden an Kreuzungen [10]. Bei diesen Unfällen waren oft Linksabbieger und entgegenkommende Geradeausfahrer an Kreuzungen mit Lichtsignalen beteiligt [10]. Viele Unfälle geschahen außerdem an Einmündungen mit Vorfahrtsregelung durch Schilder zwischen Fahrzeugen und Radfahrern, damit sind neben den Unfällen zwischen Fahrzeugen auch häufig Radfahrer am Unfallgeschehen beteiligt [10]. An großen Knotenpunkten und an Knotenpunkten mit mittlerem bis zu hohem Verkehrsaufkommen kam es zu besonders vielen Unfällen [10].

Bei einer Befragung von Verkehrsteilnehmern wurde oft angegeben, dass die Einsehbarkeit von Knotenpunkten einen großen Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat [10]. Vergleicht man die Angaben der Befragten nach Fahrerfahrung, gaben Verkehrsteilnehmer mit mehr Fahrerfahrung an, dass sie die Gefahr durch Rad- und Fußgängerverkehr relativ hoch beurteilen und die Gefahr durch erhöhtes Verkehrsaufkommen niedrig einschätzen [10]. Durch die Befragung konnte auch festgestellt werden, dass Menschen mit Unfallererfahrung den Rad- und Fußgängerverkehr an Knotenpunkten als kritischer einschätzten als andere Verkehrsflüsse [10]. Obwohl im Unfallgeschehen mit

Personenschaden häufig nur Fahrzeuge beteiligt sind, gaben die Befragten viel mehr eine Gefahr durch Fußgänger und Radfahrer an und befürworteten Assistenzsysteme, um diese Unfälle zu verhindern [10].

### **3.5.2. Kreisverkehre**

Werden Kreuzungen durch Kreisverkehre ersetzt, ergeben sich einige Vorteile, die den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit positiv beeinflussen [5]. Zum einen werden die Anzahl der Konfliktpunkte von 32 auf 20 reduziert (bei einer klassischen Kreuzung mit 4 Straßen). Zum anderen muss beim Einfahren in einen Kreisverkehr den Fahrern im Kreisverkehr in jedem Fall die Vorfahrt gewährt werden, dadurch sind die Verkehrsteilnehmer gezwungen aufmerksam zu sein [5]. Ein weiterer Vorteil an Kreisverkehren ist, dass nur der Verkehr aus einer Richtung beobachtet werden muss - nämlich der Verkehr im Kreisverkehr selbst - und sobald der Kreisverkehr befahren wurde, haben die Verkehrsteilnehmer gegenüber den anderen Fahrer in jedem Fall Vorfahrt [5]. Anders als an Kreuzungen ist auch das Vorhandensein einer Mittelinsel, die umfahren werden muss und so die gefahrene Geschwindigkeit verringert [5] [11]. Neben den genannten Aspekten muss berücksichtigt werden, dass querende Fußgänger und Radfahrer beim Kreisverkehr auch eine Rolle spielen und den Verkehrsfluss beeinträchtigen. Für Radfahrer, die über umlaufende Radwege den Kreisverkehr passieren können, ist das Sicherheitsniveau verglichen mit anderen Verkehrsteilnehmern niedrig, wenn diese vorfahrtsberechtigt sind [11] [12].

R. Elvik hat einige Studien zusammengefasst, in denen die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch den Umbau einer Kreuzung in einen Kreisverkehr untersucht wurden, das Ergebnis ist in der nächsten Abbildung dargestellt [5]

Percentage change in the number of accidents			
	Accident severity	Best estimate	95% confidence interval
All roundabouts	All severities	-36	(-43; -29)
All roundabouts	Fatal accidents	-66	(-85; -24)
All roundabouts	Injury accidents	-46	(-51; -40)
All roundabouts	Property damage only accidents	+10	(-10; +35)
Previous yield junctions	All severities	-40	(-47; -31)
Previous signalised junctions	All severities	-14	(-27; +1)
X-junctions	All severities	-34	(-42; -25)
T-junctions	All severities	-8	(-28; +18)
Roundabouts in rural areas	All severities	-69	(-79; -54)
Roundabouts in urban areas	All severities	-25	(-34; -15)

Abbildung 7: Auswirkungen auf Unfälle durch Umgestaltung einer Kreuzung zu einem Kreisverkehr [5]

Aus den Ergebnisse kann entnommen werden, dass bei Kreisverkehren deutlich weniger Unfälle mit Personenschaden entstehen und Kreisverkehre sicherer sind als alle anderen untersuchten Arten von Kreuzungen (Kreuzungen mit Beschilderung/Ampelschaltung, Kreuzungen mit 3 und 4 zusammenlaufenden Straßen) [5]. Außerdem reduziert der Umbau von Kreuzungen zu Kreisverkehren besonders in städtischen Gebieten die Anzahl der Unfälle erheblich [5]. Die Anzahl der Unfälle mit lediglich Sachschaden hat dennoch zugenommen [5], was damit begründet werden kann, dass viele Unfälle, die an Kreuzungen zu Personenschaden geführt haben an Kreisverkehren weniger schwer ausfallen und somit zu Unfällen mit lediglich Sachschaden werden.

Bei besonders hohen Verkehrsstärken kommen auch große Kreisverkehre zum Einsatz, die mehrere Fahrbahnen besitzen und normalerweise mit Ampeln betrieben werden [11]. Eine Sonderform der großen Kreisverkehre ist der Turbokreisverkehr, der keine Ampelschaltung besitzt und eine Sortierung der Verkehrsteilnehmer je nach Fahrtrichtung vor dem Befahren des Kreisverkehrs fordert. Dadurch steigt die Leistungsfähigkeit des Kreisverkehrs noch weiter [11]. Bei einem Forschungsprojekt in der Schweiz wurden 97 zweistreifige Kreisverkehre auf die Verkehrssicherheit untersucht und es konnte festgestellt werden, dass das Sicherheitsniveau ähnlich ist wie bei Kreisverkehren mit nur einer Fahrbahn [13].

## 3.6. Bedeutung von baulichen Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit

### 3.6.1. Beleuchtung

Da bei Dunkelheit nur schlechte Sichtverhältnisse bestehen [14], muss eine ausreichende Straßenbeleuchtung dafür sorgen, dass nachts alle Verkehrsteilnehmer auf Gefahren im Straßenverkehr ähnlich wie tagsüber reagieren können, sodass die Anzahl der Unfälle minimal gehalten werden kann [14]. Um den Anforderungen der Verkehrssicherheit gerecht zu werden, müssen bei der Planung von Beleuchtungsanlagen bestimmte Minimalanforderungen (nach DIN EN 13201) beachtet werden, dabei handelt es sich um Aspekte wie Verkehrsdichte, Fahrbahnbreite, Lichtpunkthöhe, Mastabstand und Straßentyp [14].

Bereiche, an denen verschiedene Arten von Verkehrsteilnehmern aufeinandertreffen und sich kreuzen, werden als Konfliktzonen bezeichnet (z.B. Kreuzungen und Kreisverkehre) und müssen besonders gut beleuchtet sein, um die Sicherheit zu gewährleisten. Dies erklärt auch warum Städte/Ortschaften oft gut beleuchtet sind und Landstraßen weniger beleuchtet sind [14]. Bei einer Untersuchung für die Beleuchtungssituation in Berlin wurde herausgefunden, dass vor allem Fußgänger in der Dunkelheit besonders gefährdet sind und somit an Kreuzungen und Querungshilfen eine ausreichende Beleuchtung vorhanden sein sollte [15]. Außerdem ist grundsätzlich eine ausreichende Beleuchtung an solchen Stellen nach den „Empfehlungen zur Beleuchtung von Fußgänger-Querungshilfen“ des DIN-Normenausschusses FNL 11 sinnvoll [14].

In Zürich hat das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) an bestimmten Stellen passiv beleuchtete Fußgängerstreifen (HMB-Reflektoren) getestet um zu überprüfen wie sich die Autofahrer nach deren Installation verhalten [16]. Das Ziel der HMB-Reflektoren ist das Verringern der nächtlichen Unfälle mit Fußgängern durch eine bessere Erkennbarkeit der Fußgängerstreifen für die Autofahrer, dies funktioniert durch Reflektion der Fahrzeugbeleuchtung [16]. Dabei gaben bei Befragungen zwei Drittel der Autofahrer an, dass die HMB-Reflektoren ihre Aufmerksamkeit erhöht haben und 85% der Befragten werteten den HMB-Reflektor als positiv [16]. Zur Veranschaulichung befinden sich in der nächsten Abbildung zwei Fotos von HBM-Reflektoren aus Sicht der Autofahrer bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen, man kann er-

kennen, dass der Einsatz dieser Reflektoren besonders wirkungsvoll ist, wenn keine starke Lichtquelle in der Nähe des Fußgängerüberwegs vorhanden ist.



Abbildung 8: Einsatz HMB-Reflektoren [16]

Anhand von einigen Studien aus 15 verschiedenen Ländern hat die CIE (Internationale Beleuchtungskommission) einen Bericht über den Einfluss der Straßenbeleuchtung auf das Unfallgeschehen erstellt [17].

	Vorteile	kein Einfluß	Nachteile
	der Beleuchtung auf das Unfallgeschehen		
Zahl der Studien bzw. Teilstudien	89	9	6
davon signifikant	28	0	2

Abbildung 9: Zusammenfassung alle in der CIE-Publikation ausgewerteten Studien [17]

Wie man in Abbildung 9 erkennen kann, sind die meisten Studien zu der Erkenntnis gekommen, dass eine Installation oder Verbesserung der Beleuchtung die Verkehrssicherheit erhöht und damit nachts weniger Verkehrsunfälle geschehen [17]. Jedoch kam ein kleiner Anteil der Studien zu der Erkenntnis, dass durch eine verbesserte Beleuchtungssituation nachts mehr Unfälle geschahen. Dies könnte möglicherweise eine Folge von zu hoher Beleuchtung oder falscher Positionierung der Lichtanlagen sein, sodass

die Verkehrsteilnehmer geblendet wurden und sich demnach die Sichtverhältnisse verschlechtert haben [17].

Untersucht man die Unfalldaten in Deutschland aus dem Jahr 2018 bezogen auf verschiedene Lichtverhältnisse geschahen bei Tageslicht insgesamt 236.134 Unfälle mit Personenschaden und bei Dunkelheit 56.843 Unfälle mit Personenschaden [1]. Da ein Großteil der Fahrten tagsüber geschehen und über den Tag verteilt nicht immer die gleichen Verkehrsdichten herrschen, kann kein genauer Zusammenhang zwischen den Unfallwahrscheinlichkeiten zu verschiedenen Tageszeiten dargestellt werden. Während bei den oben genannten Unfällen tagsüber 2.224 Menschen starben, kam es nachts zu 901 Verkehrstoten [1]. Obwohl bei Tageslicht 4,15-mal so viele Unfälle geschehen sind wie nachts, entspricht die Zahl der Getöteten tagsüber nur 2,47-mal den Wert der Verkehrstoten bei Nacht [1]. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass neben der Dunkelheit nachts noch andere Aspekte die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls und die Unfallschwere erhöhen, darunter weniger Verkehr mit folglich höherer Fahrgeschwindigkeiten, mehr Fahrten mit Alkoholeinfluss und Müdigkeit [15].

### **3.6.2. Fahrzeugrückhaltesysteme**

Da sich unmittelbar neben der Fahrbahn oft Hindernisse wie Bäume, Laternen, Felsen oder andere feste Objekte befinden, aber auch Gefahren wie Hänge und Gewässer vorhanden sind, werden Fahrzeugrückhaltesysteme, auch bekannt als passive Schutz-einrichtungen [18], verwendet um die Unfallschwere durch Abkommen von der Fahrbahn zu reduzieren [5] [18]. Für Autobahnen werden außerdem oft Mittelleitplanken eingesetzt, da diese durch Abgrenzen der beiden Fahrbahnrichtungen die Unfälle durch einen Frontalzusammenstoß nachweislich verringern [5]. Bei den Unfällen mit Kollision kommt es ohne Fahrzeugrückhaltesysteme oft zu einem plötzlichen Stillstand des Fahrzeugs bei hohen gefahren Geschwindigkeiten und darum sind die Unfallschwere und die Verletzungen besonders hoch [5].

Das Ziel von beispielsweise Leitplanken ist damit das Verringern der Unfallschwere und der Unfallkosten [18] [5]. Eingesetzt werden Fahrzeugrückhaltesysteme nur, wenn es für die Verkehrsteilnehmer durch Abkommen von der Fahrbahn sicherer ist mit den Schutzeinrichtungen zu kollidieren als noch weiter von der Straße abzukommen [5]. Dabei soll das abkommende Fahrzeug im Idealfall kontrolliert gestoppt werden und

nicht wieder zurück auf die Fahrbahn geworfen werden [5]. Moderne Schutzeinrichtungen sollen auch Motorradfahrer effektiv schützen können, da aus Unfalldaten hervorgeht, dass für diese bei der Kollision mit einer gängigen Schutzeinrichtung ein erhöhtes Verletzungsrisiko besteht [19]. Fahrzeugrückhaltesysteme sollen die Sichtverhältnisse für die Verkehrsteilnehmer nicht negativ beeinflussen [5]. Um Übergangskonstruktionen zu vermeiden und Reparaturen zu vereinfachen, werden für einen Streckenabschnitt in der Regel nicht viele verschiedene Schutzeinrichtungen verwendet [20].

Es wurden einige Studien bezüglich der Verringerung von Abkommensunfällen durch Leitplanken entlang des Straßenrands von R. Elvik zusammengefasst und ausgewertet, die Ergebnisse können der unteren Abbildung entnommen werden [5].

Percentage change in the number of accidents			
Accident severity	Types of accident affected	Best estimate	95% confidence interval
<b><i>New guardrail along embankment</i></b>			
Fatal accidents	Running-off-the-road	-44	(-54, -32)
Injury accidents	Running-off-the-road	-47	(-52, -41)
Unspecified	Running-off-the-road	-7	(-35, +33)
<b><i>Changing to softer guardrails</i></b>			
Fatal accidents	Running-off-the-road	-41	(-66, +2)
Injury accidents	Running-off-the-road	-32	(-42, -20)

Abbildung 10: Auswirkung auf das Unfallgeschehen durch Leitplanken entlang des Straßenrands [5]

Es konnte festgestellt werden, dass durch den Einsatz von Leitplanken an Böschungen die Unfälle durch Abkommen der Fahrbahn reduziert wurden, vor allem tödliche Unfälle und Unfälle mit Personenschaden sind dabei stark zurückgegangen [5]. Außerdem scheint der Einsatz von nachgiebigeren und biegbarenen Leitplanken die Unfallschwere zu reduzieren, sowohl tödliche Unfälle als auch generell Unfälle mit Personenschaden wurden dadurch weniger [5].

Beim Abkommen von der Fahrbahn kommen die meisten Fahrzeuge mit einem relativ flachen Anprallwinkel auf die Schutzeinrichtung auf [21]. Somit wirken auf den Fahrer weniger Kräfte, da der Geschwindigkeitsverringervorgang länger dauert und nicht abrupt erfolgt [5]. Dazu hat die Bundesanstalt für Straßenwesen mit dem Schwerpunkt auf Bundesautobahnen Unfälle mit großen Anprallwinkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme untersucht und folgende Feststellungen machen können [21]. Von 69 unter-

suchten Unfällen (39 davon auf Bundesautobahnen) mit einem Anprallwinkel auf die Schutzeinrichtung von 25° oder größer lag der größte Winkel bei 60°, wobei die meisten Unfälle mit niedrigeren Winkeln stattfanden [21]. Bei den untersuchten Unfällen kam das Fahrzeug in 64% der Fälle vor dem Aufprall auf das Fahrzeugrückhaltesystem ins Schleudern und in 59% der gesamten Unfälle fanden diese auf einer Strecke ohne Geschwindigkeitsbegrenzung statt [21]. Bei diesen speziellen Unfällen ist mit schweren und tödlichen Verletzungen zu rechnen, ein Versuch mit einem Dummy bei einem Crash-Test hat gezeigt, dass bei einem Anprallwinkel von 45° und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 100 km/h keine Überlebenschance für die Fahrzeuginsassen besteht, dies gilt sowohl für nachgiebige Systeme (z.B. Leitplanken) als auch für starre Systeme (z.B. Betonschutzwände) [21].

### **3.6.3. Rüttelstreifen**

Rüttelstreifen werden in die Seitenstreifen/Randstreifen eingefräst und sollen den Fahrer darauf aufmerksam machen, dass er die für ihn vorgesehene Spur verlässt [22]. Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn sollen somit verhindert werden [22]. Auf Landstraßen werden anstelle eines rechteckigen Rüttelstreifens oft sinus- oder ellipsenförmige Rüttelstreifen verwendet, da diese sicherer für Motorräder und Fahrräder sind und eine geringere Geräuschentwicklung verursachen [22]. Bei Untersuchungen wurde festgestellt, dass Rüttelstreifen auf Landstraßen besonders Abkommensunfälle nach rechts verringern, was sich mit anderen Erfahrungen deckt [22].

Auf Autobahnen konnte auch ein positiver Effekt von Rüttelstreifen festgestellt werden, hierbei wurde ebenfalls die Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“ verringert und zusätzlich nahmen die Anzahl der Unfälle durch andere Fehler wie z.B. Unaufmerksamkeit ab [23]. Nachweisbar verringern Rüttelstreifen auf Autobahnen die Schwere der Unfälle, aber die Anzahl der Unfälle werden nur geringfügig reduziert [23]. Bei einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 46 durch geringe Baukosten und hohe eingesparte Unfallkosten werden eingefräste Rüttelstreifen auf Seitenstreifen von Autobahnen empfohlen, vor allem bei vermehrtem Auftreten der oben vorkommenden Unfallarten [23].

Rüttelstreifen können aber auch quer zur Fahrtrichtung eingesetzt werden, sodass die Verkehrsteilnehmer vor Gefahrenstellen gewarnt werden und somit neben der Beschil-

derung ein weiteres Indiz haben, ihre Geschwindigkeit zu reduzieren [24]. Bei einer Untersuchung wurde das Geschwindigkeitsverhalten vor und nach dem Anbringen eines Rüttelstreifens auf einem Streckenabschnitt vor einer scharfen Kurve untersucht und dabei entstand folgendes Ergebnis [24].

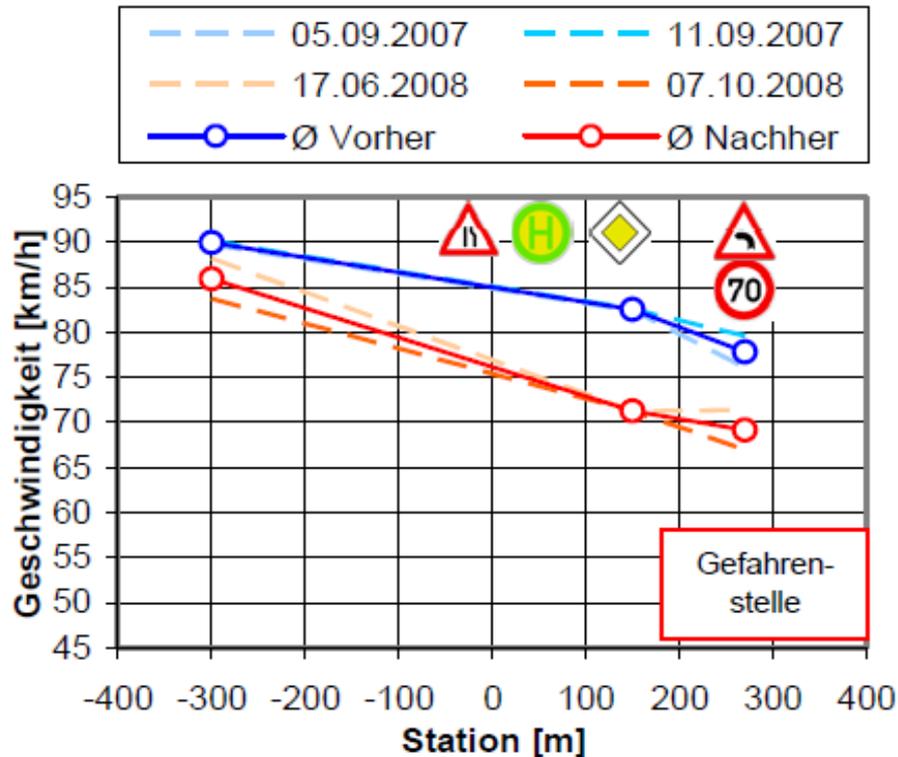


Abbildung 11: Vergleich der  $v_{85}$  vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der B 477 Fahrtrichtung Lúxheim [24]

Aus der Abbildung kann man entnehmen, dass die gefahrenen Geschwindigkeiten im Bereich der angebrachten Rüttelstreifen erfolgreich reduziert wurden und die angestrebten 70 km/h vor der Gefahrenstelle erreicht wurden [24]. Jedoch kam es in der selbigen Studie nicht auf allen Streckenabschnitten zu einer langfristigen Geschwindigkeitsreduktion der Fahrer [24]. Da die Rüttelstreifen nur auf einer Fahrtrichtung angebracht wurden, wurden diese manchmal durch Benutzen der Gegenfahrbahn umfahren [24]. Dies könnte durch Anbringen einer durchgezogenen Mittellinie oder durch Verwenden von Rüttelstreifen auf beiden Fahrtrichtungen verhindert werden. Während die Verkehrsteilnehmer die neue Methode zur Geschwindigkeitsreduzierung als sinnvoll erachteten, stoß dies bei Anwohnern auf weniger Akzeptanz aufgrund der vermehrten Geräusentwicklung [24].

## 3.7. Tunnel

In Deutschland gibt es ca. 400 Straßentunnel, die eine Gesamtlänge von ungefähr 350 Kilometern umfassen [25]. In den folgende Unterkapiteln werden die Gegebenheiten im Tunnel beschrieben und anschließend wird die Verkehrssicherheit mit anderen Straßentypen verglichen.

### 3.7.1. Besonderheiten im Tunnel

In manchen Bereichen im Straßenverkehr ist es notwendig, einen Tunnel zu bauen, da dadurch unebenes Gelände relativ kostengünstig durchfahren werden kann [5]. Ein Tunnel ist in diesen Fällen oft sicherer als ein kurviger Straßenverlauf an Hängen entlang [5]. In Tunneln bestehen außerdem die Vorteile, dass sie keinen schlechten Wetterbedingungen ausgesetzt sind, üblicherweise keine Kreuzungen besitzen und Fußgänger sowie Radfahrer nicht durch diese geleitet werden [5]. Jedoch gibt es auch einige Aspekte, die die Sicherheit in Tunneln verglichen mit oberirdisch verlaufenden Straßen verringern [5]. Zunächst einmal herrscht in einem Tunnel kein Tageslicht und beim Befahren und Verlassen eines Tunnels verändern sich die Beleuchtungsverhältnisse schlagartig [5]. Neben den eingeschränkten Platzverhältnissen in Tunneln, die Wendemanöver erschweren, ist der Zugang zu frischer Luft niedrig, wodurch es zu schlechten Sichtverhältnissen im Fall von Rauchentwicklungen kommen kann [5]. Falls ein Brand in einem Tunnel entsteht, können Fluchtwege blockiert sein und Rettungsarbeiten sind möglicherweise schwieriger als an der Oberfläche [5].

Da sich in der Vergangenheit einige schwere Brandunfälle in Tunneln ereignet hatten, wurden die Sicherheitsanforderungen an Tunnel vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) überprüft und die Verkehrsteilnehmer wurden besser bezüglich gewisser Sicherheitseinrichtungen informiert [26]. Durch die „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT) sind Tunnel in Deutschland besonders sicher. Es wird vor allem darauf geachtet, dass ein ausreichender Personenschutz besteht und die Menschen sich im Notfall durch Fluchtwege und Notausgänge schnell selbst retten können [25] [27]. Zur Tunnelausstattung gehören Beleuchtungsanlagen, die ausreichende Sichtverhältnisse gewährleisten, Belüftungsanlagen zur Frischluftversorgung und Löschwasser, das von der Feuerwehr genutzt werden kann [25]. Für den Notfall steht neben der regulären Stromversorgung außerdem eine

Notstromversorgung zur Verfügung [25]. Zu den Sicherheitseinrichtungen zählen Nothalte- und Pannenbuchten, Notgehwege sowie eine ständige Tunnelüberwachung per Video und Notrufeinrichtungen [25]. Falls durch die automatische Brandmeldung ein Alarm ausgelöst wird, ist es möglich, den Tunnel über digitale Verkehrszeichen zu sperren, um schlimmeres zu verhindern [25]. Tunnelwartungen dienen hierbei zum Gewährleisten der bestmöglichen Sicherheit und Übungen mit der Polizei, Feuerwehr und mit Rettungskräften sollen für den Ernstfall vorbereiten [25].

### **3.7.2. Verkehrssicherheit im Tunnel**

Manche Verkehrsteilnehmer verbinden mit dem Durchfahren eines Tunnels ein unsicheres Gefühl [25]. Da in der Vergangenheit bereits große Unglücke mit Brandentwicklung bekannt sind, stellt sich die Frage, wie sicher Tunnel im Vergleich zu oberirdisch verlaufenden Straßen sind.

Laut der Bundesanstalt für Straßenwesen ist das Durchfahren eines Tunnels sicherer als die Fahrt außerhalb eines Tunnels, da die Unfallhäufigkeit in diesem geringer ist [25]. Außerdem hat R. Elvik anhand von einigen Studien, die in Norwegen durchgeführt wurden, folgenden Zusammenhang festgestellt.

Accident severity	Percentage change in the number of accidents		
	Types of accident affected	Best estimate	95% confidence interval
<b><i>Road in tunnel vs. road above-ground</i></b>			
Injury accidents	All accidents: motorways	-2	(-15; +12)
Injury accidents	All accidents: rural	-4	(-17; +11)
Injury accidents	All accidents: urban	-61	(-77; -35)
<b><i>Lighting in tunnels</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	-35	(-51; -14)
<b><i>Increasing the width of the tunnel from less than 6 m to more than 6 m</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	-40	(-49; -30)
<b><i>Tunnels with a gradient of more than about 5% compared to flat tunnels</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	+13	(-4; +32)
<b><i>Doubling the radius of horizontal curves</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	-35	(-45; -24)
<b><i>Dual tube tunnels compared to single tube tunnels</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	-5	(-15; +6)
<b><i>Sub-sea tunnels compared to tunnels on land</i></b>			
Injury accidents	Accidents in tunnels	+16	(-15; +38)

Abbildung 12: Einfluss von verschiedenen Gegebenheiten auf Unfälle in Tunnel [5]

Die Abbildung zeigt, wie sich die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je nach Lage (im Tunnel, auf Autobahnen, in ländlichen und städtischen Gebieten) ändert und wie verschiedene Gegebenheiten die Unfallrate im Tunnel beeinflussen. Während die Anzahl der Unfälle in Tunneln nur leicht niedriger ist als auf Autobahnen und ländlichen Straßen, ist die Anzahl der Unfälle verglichen mit städtischen Gebieten um durchschnittlich 61% niedriger [5]. Außerdem wurde speziell auf Unfälle im Tunnel bezogen der Zusammenhang festgestellt, dass Beleuchtung im Tunnel, Erweitern der Tunnelbreite von unter 6 m auf über 6 m und Verdoppeln der Kurvenradien die Unfallwahrscheinlichkeit stark reduziert [5]. Tunnel mit zwei Röhren sind laut der Zusammenfassung der Studien etwas sicherer als Tunnel mit nur einer Röhre [5]. Die Anzahl der Unfälle ist in Tunneln mit hohen Steigungen (mehr als 5%) höher als bei Tunneln mit keiner Steigung und Tunnel, die sich unter Wasser befinden, haben eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit als Tunnel an Land [5].

Aufgrund der vorliegenden Daten kann nun die Annahme getroffen werden, dass in einem Tunnel grundsätzlich die Unfallwahrscheinlichkeit nicht höher ist als auf anderen Straßen. Trotzdem können die Folgen eines Tunnelbrands schwerwiegend sein und

deshalb wird solch ein Szenario genauer betrachtet. In dem Bericht „Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln“ von der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde untersucht, inwiefern nach Brandausbruch eine Selbstrettung für die Verkehrsteilnehmer möglich ist. Daraus ergab sich folgende Grafik [28].

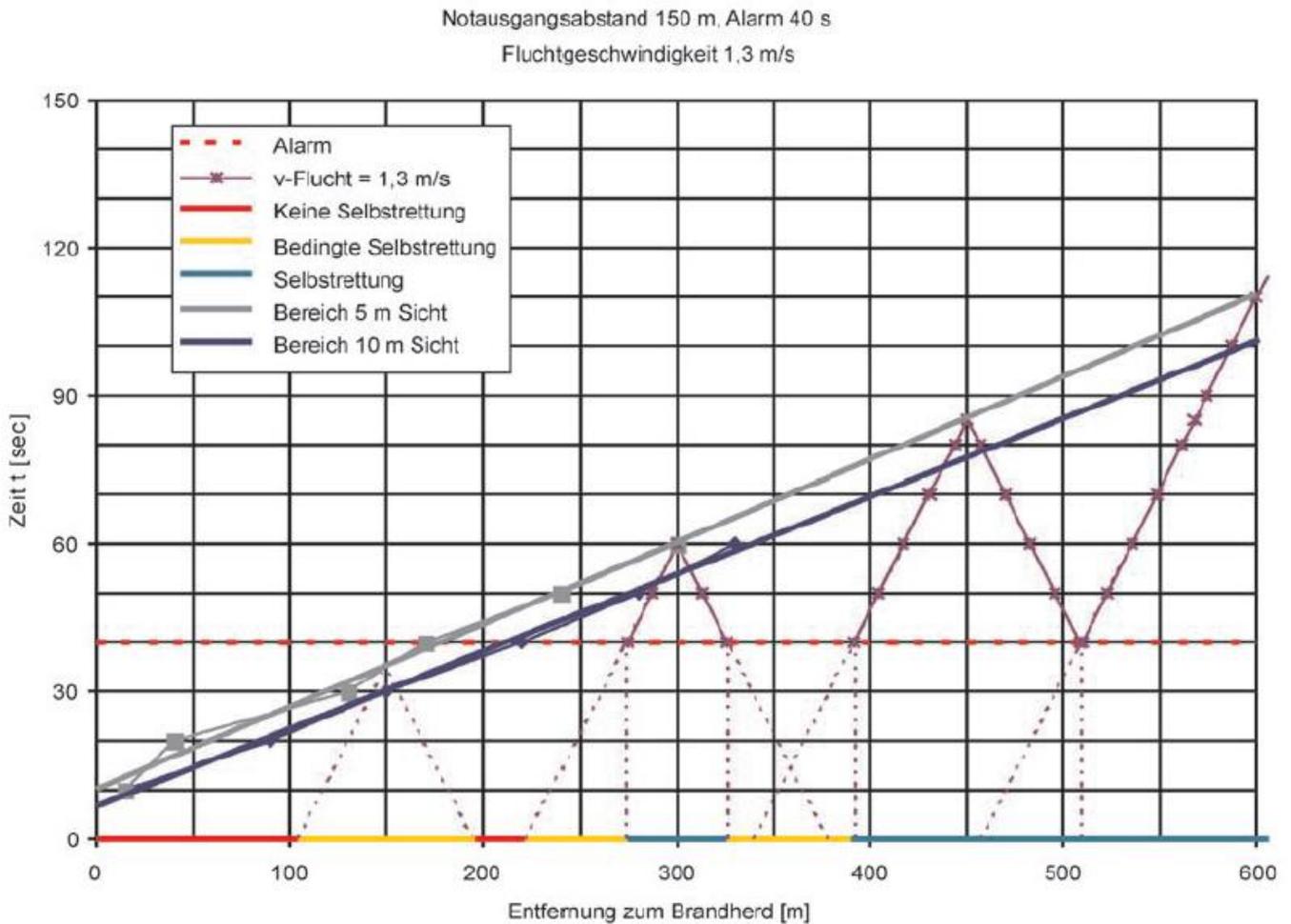


Abbildung 13: Selbstrettungsbereiche bei einem Notausgangsabstand von 150 m, Alarmierung der Tunnelnutzer 40 s nach Brandausbruch [28]

Für den ausgewählten Tunneltyp wurde die Annahme getroffen, dass sich alle 150 m ein Notausgang befindet und die Verkehrsteilnehmer 40 s nach Ausbruch des Feuers alarmiert wurden [28]. Durch die Rauchentwicklung ist eine Selbstrettung nur bis zu einer Sichtweite von 5 Metern als möglich angenommen worden, wobei die Fluchtgeschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer 1,3 m/s und die Längsströmungsgeschwindigkeit des Rauchs 6,0 m/s beträgt [28]. Anhand der gegebenen Daten konnte nun bestimmt werden, in welchen Bereichen im Tunnel eine Selbstrettung auf jeden Fall möglich ist, wo eine Selbstrettung nur bedingt möglich ist (eventuelles Erkennen der Gefahr vor dem Alarm und damit früherer Flucht) und an welchen Stellen keine Selbstrettung mehr

möglich ist, auch wenn der Brandausbruch bereits vor dem Alarm erkannt wurde [28]. Unter diesen Bedingungen ist eine garantierte Selbstrettung erst möglich, wenn sich die Verkehrsteilnehmer mindestens 275 m entfernt vom Brandherd befinden und damit nach dem Alarm noch genug Zeit haben, den nächsten Fluchtweg zu erreichen. Jedoch ist für Menschen im Bereich von 350 m Entfernung aufgrund der Distanz zum nächsten Notausgang keine garantierte Rettung möglich [28]. Damit mehr Verkehrsteilnehmer sich selbst retten können, müssten die Notausgänge in geringeren Abständen zueinander platziert sein und/oder der Alarm müsste früher eintreten.

## 4. Geschwindigkeit im Straßenverkehr und Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit

Bei der Wahl der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Straßen müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, einerseits wollen die Fahrer in kurzer Zeit ihr Ziel erreichen, andererseits soll die Fahrt möglichst sicher sein für alle Verkehrsteilnehmer [5]. Vor allem junge und unerfahrene Fahrer meinen fälschlicherweise, dass sie durch Überschreiten des Tempolimits noch immer sicher fahren können [5]. Der Grund für das Schnellfahren ist die Tatsache, dass der Mensch kein Gefühl für hohe Geschwindigkeiten besitzt und sich in seinem Fahrzeug zu sicher fühlt [29]. Durch ein besseres Bewusstsein für die Gefahr und Maßnahmen des Staats (z.B. Kontrollen und Strafen) können die vorgegebenen Geschwindigkeiten eingehalten werden [29].

Ein Problem bei zu hoch gefahrenen Geschwindigkeiten ist die Vergrößerung des Anhaltewegs, bestehend aus Reaktionsweg und Bremsweg [29]. Wenn die Geschwindigkeit verdoppelt wird, führt dies zu einer Vervierfachung der Energie bei einem Unfall und zu einer Vervierfachung des Bremsweges, damit reichen bereits kleine Geschwindigkeitserhöhungen aus, um den Anhalteweg stark zu erhöhen [29]. Ein weiteres Problem entsteht dadurch, dass Pkw-Fahrer die Geschwindigkeit eines zu schnellen Fahrzeugs nicht richtig einschätzen können und davon ausgehen, dass dieses mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit fährt [30]. Es gibt viele Studien, die zum gleichen Ergebnis kommen was den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallwahrscheinlichkeit betrifft, nämlich, dass die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls durch schnelleres Fahren und damit auch durch Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erhöht wird [5] [30] [31]. Im Jahr 2018 sind in Deutschland insgesamt 204 Menschen durch Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit und 874 Menschen durch nicht angepasste Geschwindigkeit (z.B. zu schnelles Fahren unter der Höchstgeschwindigkeit bei schlechten Wetterbedingungen) gestorben [1]. Dabei werden nur Unfälle mit Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit auch als solche klassifiziert, wenn eindeutig festgestellt werden kann, dass die Geschwindigkeit als maßgebende Unfallursache gilt [32].

## 4.1. Grundsätzliche Auswirkungen von Geschwindigkeitsveränderungen im Straßenverkehr

### 4.1.1. Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsbeschränkungen und Unfallraten

Auf Basis von 51 verschiedenen Studien hat unter anderem R. Elvik [5] die vorliegenden Daten ausgewertet um festzustellen wie sich eine Veränderung des Tempolimits auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Dabei wurden nur Studien verwendet, die den Einfluss von Geschwindigkeitsbeschränkungen auf die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten und auf die Unfallwahrscheinlichkeiten darstellen [5]. Es wurde festgestellt, dass durch eine Veränderung des Tempolimits um 10 km/h sich die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit durchschnittlich um 2,5 km/h verändert wie auch der unteren Abbildung entnommen werden kann [5].

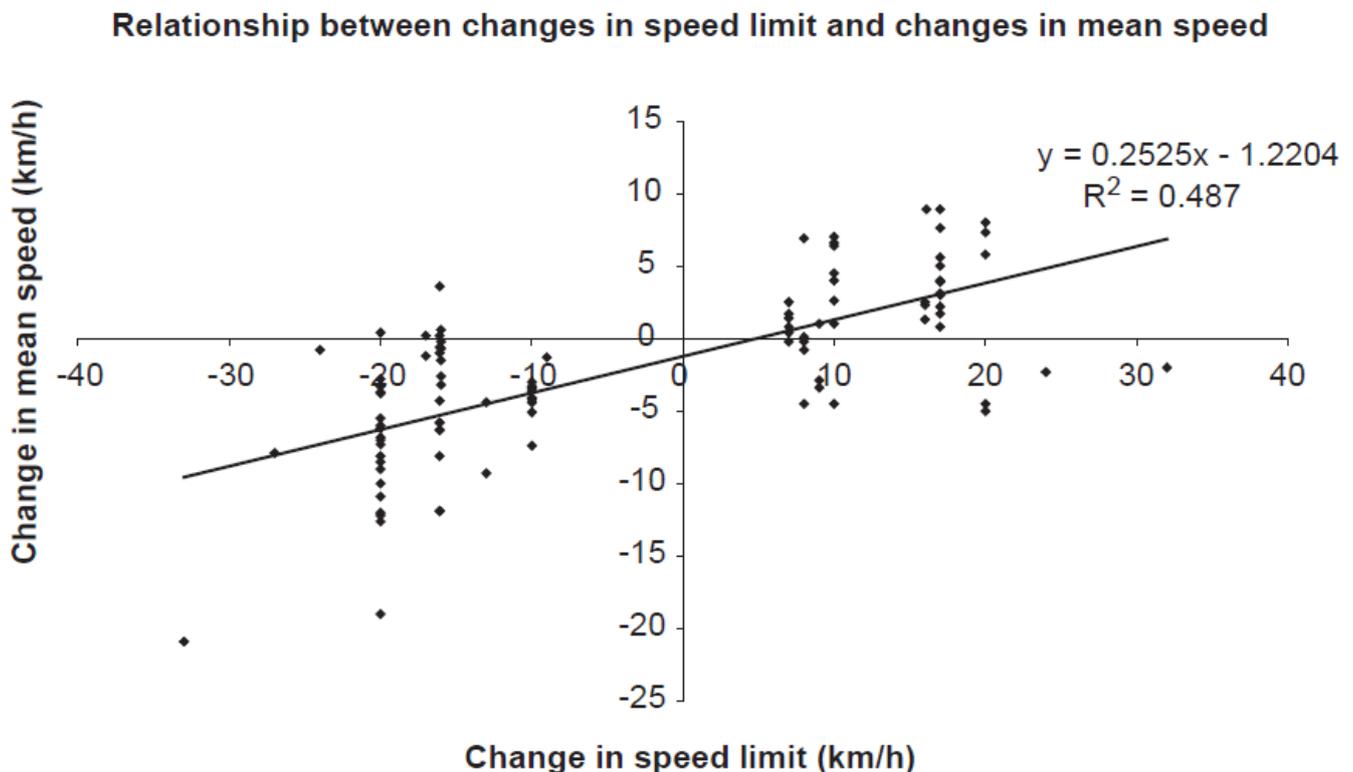


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Änderung des Tempolimits und der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit [5]

Nachdem die Auswirkungen der Geschwindigkeitsänderungen auf die Unfälle (tödlich, schwere/leichte Verletzungen) durch Formeln auf Basis der Ergebnisse der Studien bestimmt wurde („power model of speed“ nach R. Elvik [5]), lässt sich dies in einer Grafik veranschaulichen [5]. Abbildung 15 stellt dar wie sich die Anzahl verschiedener Arten von Unfällen bei verschiedenen Geschwindigkeitsveränderungen prozentual verändert. Hier wird eine positive Zahl auf der x-Achse als Geschwindigkeitsreduzierung und eine negative Zahl als Geschwindigkeitserhöhung betrachtet.

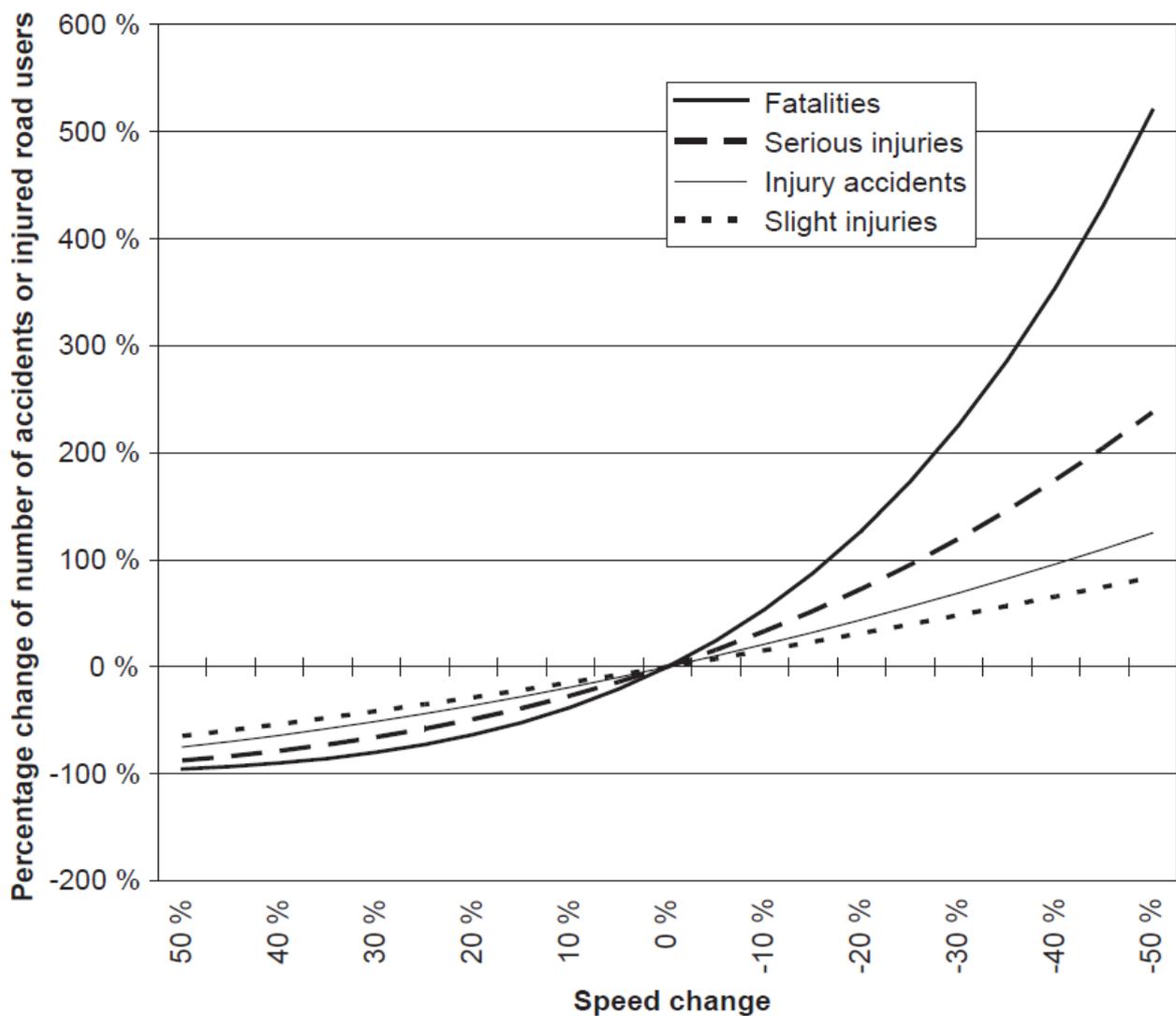


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsreduzierung und Anzahl von Todesfällen, Unfällen mit Personenschaden, leichten und schweren Verletzungen [5]

Es kann nun klar die Aussage getroffen werden, dass durch Reduzierung der Geschwindigkeit die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden zurückgeht und dass durch Erhöhung der Geschwindigkeit die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden steigt.

Besonders auffällig ist die Vergrößerung der tödlichen Unfälle um 500% bei einer Geschwindigkeitserhöhung von nicht einmal 50%. Dies bedeutet für den Durchschnitt, dass es auf einer Strecke mit einem Todesfall pro Jahr und einer gefahrenen Geschwindigkeit von 70 km/h vergleichsweise bei einer gefahrenen Geschwindigkeit von 105 km/h zu 5 Todesfällen kommen würde. Andersrum können die Anzahl der Todesfälle fast um 100% reduziert werden, wenn die gefahrene Geschwindigkeit um 50% reduziert wird. Anders als bei tödlichen Verkehrsunfällen verändert sich die Anzahl der Unfälle mit leichten Verletzungen prozentual nur gering, was aber bei einer hohen Zahl an Unfällen trotzdem wirksam sein kann. So würde z.B. eine Strecke mit gefahrenen 100 km/h und 10 Unfällen mit leichten Verletzungen pro Jahr bei einer neuen gefahrenen Geschwindigkeit von 90 km/h (Reduzierung um 10%) nur noch 9 Unfälle mit leichten Verletzungen pro Jahr aufweisen.

## 4.2. Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen

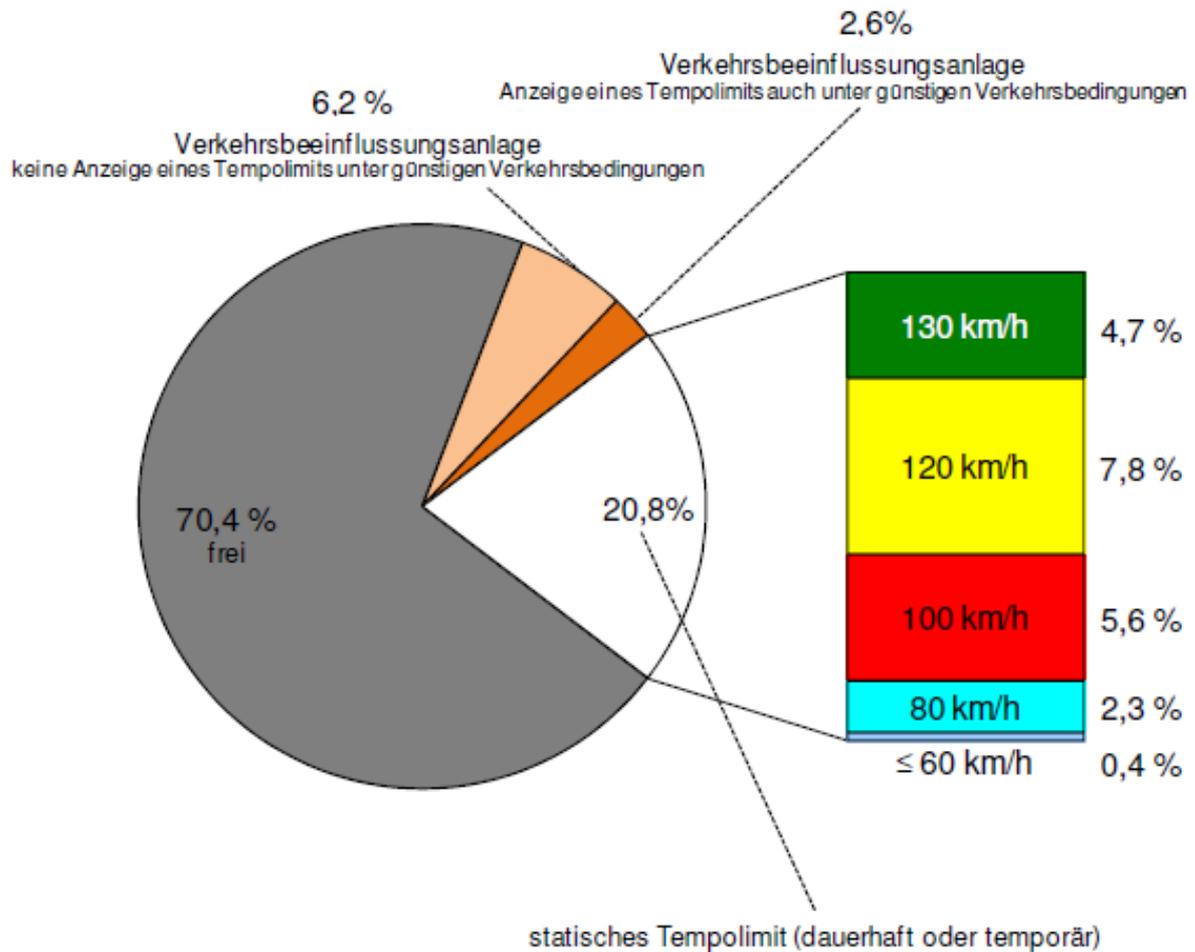
### 4.2.1. Allgemeine Ansichten zum Tempolimit

Autobahnen gelten grundsätzlich als relativ sicher, da ein Drittel der gesamten Fahrzeugkilometer auf ihnen gefahren werden, aber nur 13% der gesamten Verkehrstoten dort verunglücken [33]. Laut dem ADAC [33] würde ein Tempolimit auf Autobahnen die Verkehrssicherheit nicht erhöhen, da andere Länder mit allgemeiner Geschwindigkeitsbeschränkung (z.B. Österreich, Belgien, USA) ähnliche Unfallraten wie in Deutschland haben [33]. Demnach soll sogar innerhalb von Deutschland kein Unterschied zwischen Strecken mit Tempolimits (120 oder 130 km/h) und Strecken ohne Tempolimit bestehen und die Unfallschwere soll konstant sein [33]. Die Thematik wird nun anhand von anderen Quellen genauer untersucht.

### 4.2.2. Vergleich von Abschnitten mit beschränkter Höchstgeschwindigkeit und Abschnitten ohne Tempolimit

Als erstes muss beachtet werden, dass nicht das gesamte Streckennetz der Autobahnen in Deutschland frei von Geschwindigkeitsbeschränkungen ist. Hierzu wurde von

der Bundesanstalt für Straßenwesen eine Datenbank angelegt und anhand dessen ein Diagramm erstellt [34].



**Gesamtlänge Richtungsfahrbahnen BAB: 25.767 km**

Abbildung 16: Anteile verschiedener Tempolimitregelungen und -höhen auf Bundesautobahnen ohne Arbeitsstellen (Stand 2015) [34]

Aus Abbildung 16 kann entnommen werden, dass 70,4% der deutschen Autobahnen frei von Geschwindigkeitsbeschränkungen sind, 20,8% über ein festgelegtes Tempolimit verfügen und der Rest durch Verkehrsbeeinflussungsanlagen zumindest zeitweise eine beschränkte Höchstgeschwindigkeit hat (Stand 2015). Baustellen und damit deren Geschwindigkeitsregelungen sind im Diagramm nicht enthalten [34]. Neben den 25.767 Kilometern der Bundesautobahnen (beide Fahrtrichtungen miteingerechnet) können noch ca. 2.500 Kilometer für längerfristige Arbeitsstellen mit Geschwindigkeitsbe-

schränkung angesetzt werden, sodass der Anteil der Autobahnen mit Tempolimit noch höher wäre [34].

Als nächstes werden Unfalldaten auf Autobahnen aus dem Jahr 2015 benötigt, die im Statistischen Bundesamt einsehbar sind [35]. Im Jahr 2015 ereigneten sich auf deutschen Autobahnen (ohne Baustellen) 6.523 Unfälle mit Personenschaden, davon 4.464 (entsprechen 68,4%) auf Streckenabschnitten ohne Geschwindigkeitsbeschränkung und 2.059 (entsprechen 31,6%) auf Streckenabschnitten mit Geschwindigkeitsbeschränkung [35]. 70,4% der gesamten Autobahnstrecke hatten im Jahr 2015 kein Tempolimit und 29,6% verfügten über eine beschränkte Höchstgeschwindigkeit [34]. Vergleicht man die Prozentzahlen, sind die Zahl der Unfälle mit Personenschaden relativ gleichmäßig auf Autobahnen mit und ohne Tempolimit aufgeteilt. Betrachtet man nun die Anzahl der Verkehrstoten auf Autobahnen im Jahr 2015 (ohne Baustellen), ereigneten sich von insgesamt 194 tödlichen Unfällen 129 (66,5%) auf Strecken ohne Tempolimit und 65 (33,5%) auf Strecken mit Tempolimit [35]. Der Anteil der Unfälle auf Autobahnen ohne Tempolimit mit Personenschaden (68,4%) als auch die Unfälle mit Verkehrstoten (66,5%) ist geringer als der Streckenanteil der Autobahnen ohne Tempolimit selbst (70,4%). Damit geschehen pro Kilometer auf Autobahnen ohne Tempolimit weniger tödliche Unfälle als auf Autobahnen mit einer beschränkten Höchstgeschwindigkeit. Es muss jedoch bedacht werden, dass auf Autobahnen mit Tempolimit oft ein höherer Verkehrsfluss herrscht, da es sich hierbei häufiger um städtische Bereiche mit vielen Einwohnern handelt und es darum zu mehr Unfällen kommen kann.

Entscheidend für die Verkehrssicherheit bei hohen Geschwindigkeiten ist eine ausreichende Ausbaugeschwindigkeit der Strecke [30]. Wenn ein Abschnitt der Autobahn für hohe Geschwindigkeiten ausgelegt worden ist, können diese dort auch gefahren werden, jedoch deuten empirische Resultate darauf hin, dass die Anzahl der Unfälle kleiner wird, wenn trotz hoher Ausbaugeschwindigkeit eine niedrigere Höchstgeschwindigkeit gewählt wird [30]. Dies überschneidet sich auch mit den Ergebnissen von R. Elvik [5]. Andersrum ergibt sich, dass mehr Unfälle geschehen, wenn die gefahrene Geschwindigkeit höher ist als die Ausbaugeschwindigkeit der Strecke, da bei Kurvenfahrten nun durch die erhöhte Geschwindigkeit höhere Fliehkräfte wirken und damit größere Kurvenradien notwendig wären. Praktische Erfahrungen beweisen außerdem, dass ein Tempolimit deutlich positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit hat, so gab es während der Ölkrise von November 1973 bis März 1974 bei einem Tempolimit von 100 km/h nur noch halb so viele Unfälle mit Verkehrstoten und Schwerverletzten auf

Bundesautobahnen [36]. Andere Beobachtungen in der Praxis bestätigen die positive Wirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung [36].

Ein Tempolimit auf deutschen Autobahnen ist in der Politik oft in der Diskussion und neben der Erhöhung der Verkehrssicherheit werden oft weitere Argumente dafür genannt. Angesichts des Klimawandels wird die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch niedrigere Geschwindigkeiten als Argument hervorgebracht [37]. Bei einem Tempolimit von 130 km/h, das oft zur Debatte steht [37], ist mit einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von weniger als 2% im Straßenverkehr und weniger als 0,3% bezogen auf die Gesamtemission in Deutschland zu rechnen [36].

Ein weiterer bedeutsamer Aspekt ist die Lärmreduzierung durch ein Tempolimit. Jedoch ist nur ein geringer Einfluss zu erwarten, da der meiste Lärm von Lkws ausgeht und diese jetzt schon unter der zukünftig angestrebten Geschwindigkeit fahren [36].

### 4.3. Geschwindigkeitsverhalten an bestimmten Standorten

#### 4.3.1. Ortseinfahrten

Bei einer Untersuchung von der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde an 22 Ortseingängen das Geschwindigkeitsverhalten von Fahrzeugen, die mit Messinstrumenten ausgestattet waren, beobachtet, um das Fahrverhalten im Ortseingangsbereich zu analysieren [38]. Dabei wurden 40 Testpersonen unterschiedlichen Alters ausgewählt und im Anschluss an die Testfahrt wurden diese befragt [38]. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen beschrieben und anschließend die Schlussfolgerung des Versuchs dargelegt.

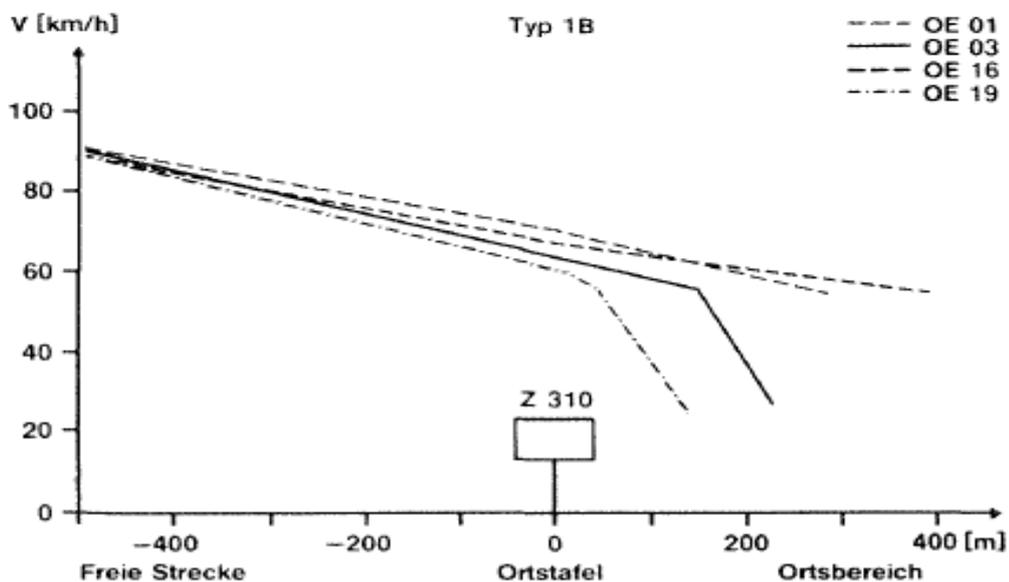
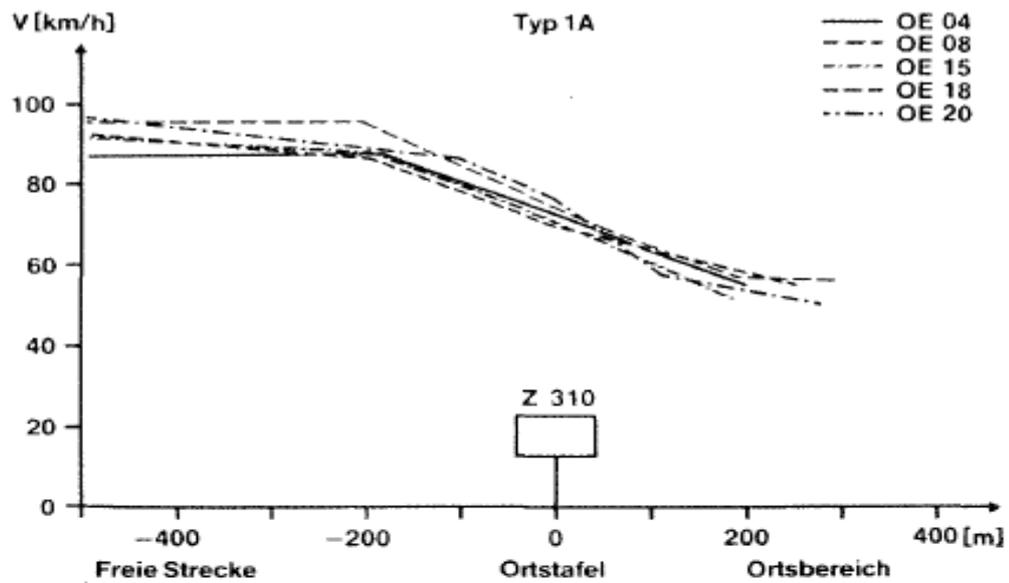


Abbildung 17: Mittlere Geschwindigkeitsprofile an Ortseinfahrten mit hohen Annäherungsgeschwindigkeiten (Typ 1) [38]

In den beiden Darstellungen erkennt man die gefahrenen mittleren Geschwindigkeiten abhängig von der Entfernung zum Ortseingangsschild an verschiedenen Ortseingängen. Bei hohen Annäherungsgeschwindigkeiten (z.B. bei einer geraden Trassierung [38]) ergeben sich zwei verschiedene Geschwindigkeitsprofile für die Ortseingänge [38]. In beiden Fällen ist die Geschwindigkeit an der Ortstafel und sogar noch im Ortsbereich um einiges höher als die erlaubten 50 km/h.

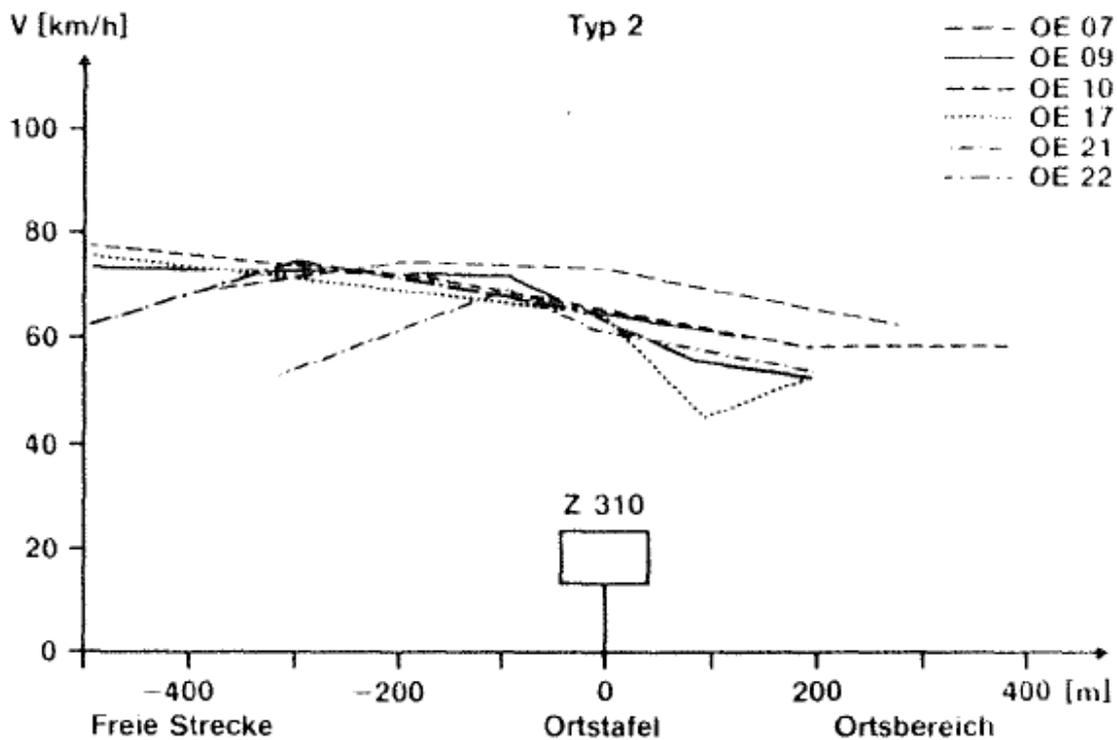


Abbildung 18: Mittlere Geschwindigkeitsprofile an Ortseinfahrten mit niedrigen Annäherungsgeschwindigkeiten (Typ 2) [38]

Für die Ortseingänge mit niedrigen Annäherungsgeschwindigkeiten (z.B. aufgrund einer kurvigen Trassierung [38]) sind die Geschwindigkeiten nach dem Ortsschild kaum niedriger als im vorherigen Fall und es wird weniger stark gebremst [38].

Die Ergebnisse zeigen auf, dass an Ortsschildern das Limit von 50 km/h in 85-100% der Ortseinfahrten überschritten wird und sogar im Ort noch für einige hundert Meter zu schnell gefahren wird [38]. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Ortstafel nicht als verbindliches Verkehrszeichen zur Geschwindigkeitsreduktion angesehen wird und damit auch keine starken Bremsmanöver am Ortsschild stattfinden [38]. Bei der Befragung wurde oft angegeben, dass aufgrund der Straßengestaltung mit den jeweiligen Geschwindigkeiten gefahren wurde, sodass eventuell eine andere Gestaltung der Straße zu niedrigeren Geschwindigkeiten geführt hätte [38]. Betrachtet man die Unfalldaten in den Bereichen der ausgewählten Ortseinfahrten, führen die meisten Unfälle auf überhöhte oder nicht angepasste Geschwindigkeiten zurück und bestätigen damit die hohen gemessenen Geschwindigkeiten aus dem Versuch [38].

Als wirkungsvolle Maßnahme zur Reduzierung von Geschwindigkeiten in Ortschaften wurden dynamische Geschwindigkeitsrückmeldeanlagen verwendet, die entweder dem Fahrer seine jeweilige Geschwindigkeit als Zahl anzeigen oder durch ein Dialog-Display auf langsames Fahren hinweisen [39]. Dadurch wird die Durchschnittsge-

schwindigkeit um bis zu 3 km/h gesenkt [39], wobei sich dieser Wert auf eine 30er Zone bezieht und an Ortseinfahrten noch größere Geschwindigkeitsreduzierungen auftreten können.

#### 4.3.2. Geschwindigkeitsüberwachungen

Geschwindigkeitsüberwachungen unterscheiden sich grundsätzlich in zwei Kategorien. Bei der mobilen Geschwindigkeitsüberwachung wird permanent Personal benötigt und es kommen Überwachungssysteme mit Radar- bzw. Lichtschrankenprinzip und Lasersysteme zum Einsatz [40]. Die ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung ist hingegen fest installiert und Personal wird nur beim Aufbau, Abbau und bei der Wartung benötigt, außerdem kommen hier Kameras zum Einsatz [40].

Eine Studie konnte folgende Auswirkung durch Installation einer ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachung feststellen [40]:

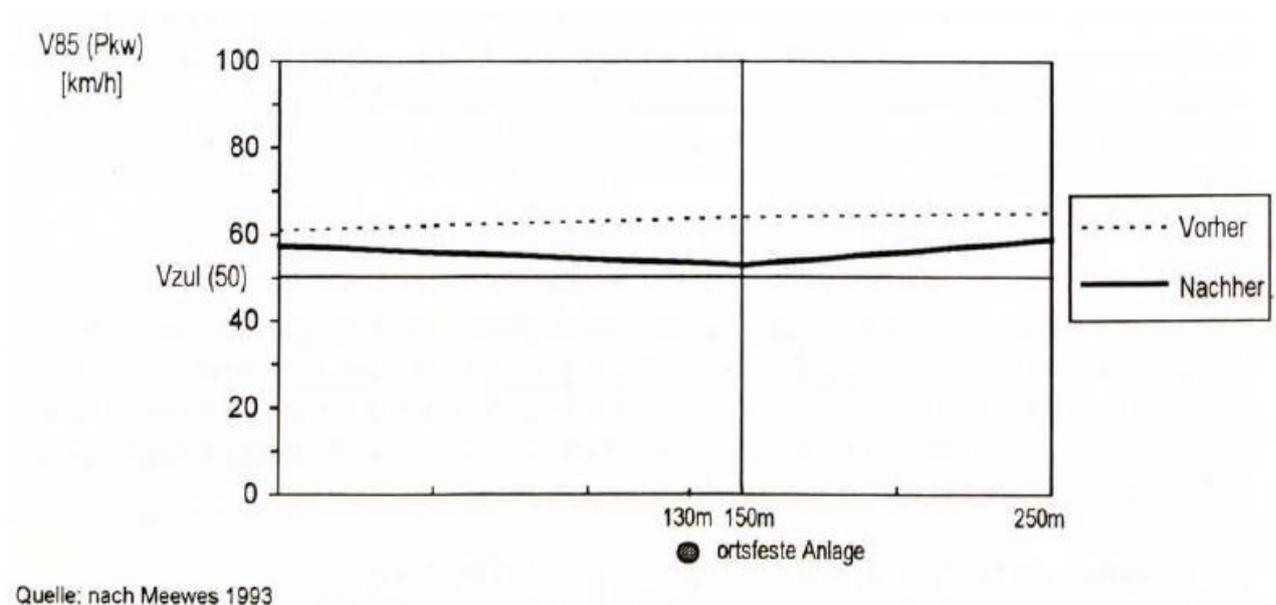


Abbildung 19: Auswirkungen von ortsfesten Anlagen auf das Geschwindigkeitsverhalten von Pkw - Beispiel Simmerath, Fahrtrichtung Monschau (Kreis Aachen) - [40]

Es wurde wie in der Abbildung dargestellt bereits nach kurzer Zeit ein Geschwindigkeitsrückgang der Pkw-Fahrer festgestellt, jedoch nur in der Nähe der Überwachungsanlage [40]. Der gleiche Effekt wurde auch im Regierungsbezirk Köln bei 19 Kontroll-

stellen beobachtet, hier wurde an den ortsfesten Messstellen die zulässige Höchstgeschwindigkeit nur in 2% der Fälle überschritten während in 300-800 Metern Entfernung wieder 30% der Fahrer schneller als erlaubt fahren [40]. In der Abbildung ist außerdem zu sehen, dass die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit trotz Kontrolleinrichtung noch immer über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit lag [40]. Dies könnte damit erklärt werden, dass erst nach Abzug der Gerätetoleranz und der Geschwindigkeitstoleranz (liegt bei 5 km/h) eine Bestrafung stattfindet [41]. Somit wird trotz zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h eine gefahrene Geschwindigkeit von 55 km/h noch toleriert. Durch die Überwachung konnte auf der überwachten Fahrtrichtung lokal ein Rückgang der Unfälle und der Unfallschwere verzeichnet werden, jedoch fuhren die Verkehrsteilnehmer nach sichtbarer Deaktivierung der Messeinrichtung wieder schneller. Damit ist zu erwarten, dass das Unfallgeschehen sich wieder verschlechtert [40].

## 5. Datenanalyse

### 5.1. Vorbereitung und Datensammlung

Durch den vom Statistischen Bundesamt im Internet zur Verfügung gestellten Unfallatlas [42] ist es möglich für jedes Jahr (ab 2016) alle Unfälle mit Personenschaden durch Geokoordinaten auf einer Karte darzustellen. Es werden nur Unfälle abgebildet, bei denen die Polizei gerufen wurde und die mit Geokoordinaten erfasst wurden, somit fallen die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen und Thüringen (Stand: Unfalldaten 2018) wegen ihren fehlenden Geokoordinaten weg und können in dieser Bachelorarbeit nicht berücksichtigt werden. Jedoch können die Unfalldaten des Jahres 2019 ab Mitte 2020 auch für die noch fehlenden Bundesländer eingesehen werden. Die Daten des Unfallatlas können heruntergeladen werden und stehen zur Selbstausswertung frei zur Verfügung [42]. Für alle Datenauswertungen muss beachtet werden, dass keine Unfälle mit Sachschaden in den Daten enthalten sind und wenn im Folgenden von Unfällen gesprochen wird, sind immer Unfälle mit Personenschaden gemeint.

Jeder Unfall beinhaltet neben den Geokoordinaten noch folgende Informationen: Welche Verkehrsteilnehmer waren am Unfall beteiligt (Pkw, Rad, Fußgänger, Kraftrad, Güterkraftfahrzeug, Sonstiges)? Um welche Unfallkategorie handelt es sich (Unfall mit Getöteten, Schwerverletzten, Leichtverletzten)? Um welche Unfallart handelt es sich, also welche Bewegung der Fahrzeuge führte zum Unfall (z.B. Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links, Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger, Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug)? Um welchen Unfalltyp handelt es sich, also welche Konfliktsituation führte zum Unfall (z.B. Fahrnfall, Abbiegeunfall, Einbiegen/Kreuzen-Unfall)? Außerdem werden noch Daten zu den Lichtverhältnissen, dem Straßenzustand und der Unfallzeit erfasst.

Um die Unfalldaten später mit der jeweiligen Bevölkerungsdichte verknüpfen zu können, wurden die frei zugänglichen Daten „Wahlkreise 2017 mit Strukturdaten“ genutzt [43], wodurch jeder Wahlkreis mit einer bestimmten Bevölkerungsdichte belegt ist. Die Zahlen sind in Einwohnern je km<sup>2</sup> angegeben und entsprechen dem Stand 31.12.2015. Die jeweilige Fläche und Bevölkerungszahl der Wahlkreise sind ebenfalls notwendig für spätere Berechnungen.

## 5.2. Überlagern der Unfalldaten mit ausgewählten Karten

### 5.2.1. Überlagern der Unfalldaten mit Straßen

In ArcMap wurde die Basemap „OpenStreetMap“ geladen und mit den Unfalldaten überlagert. Dadurch soll überprüft werden wie sinnvoll eine Zuordnung der Unfälle zu den verschiedenen Straßentypen erfolgt.

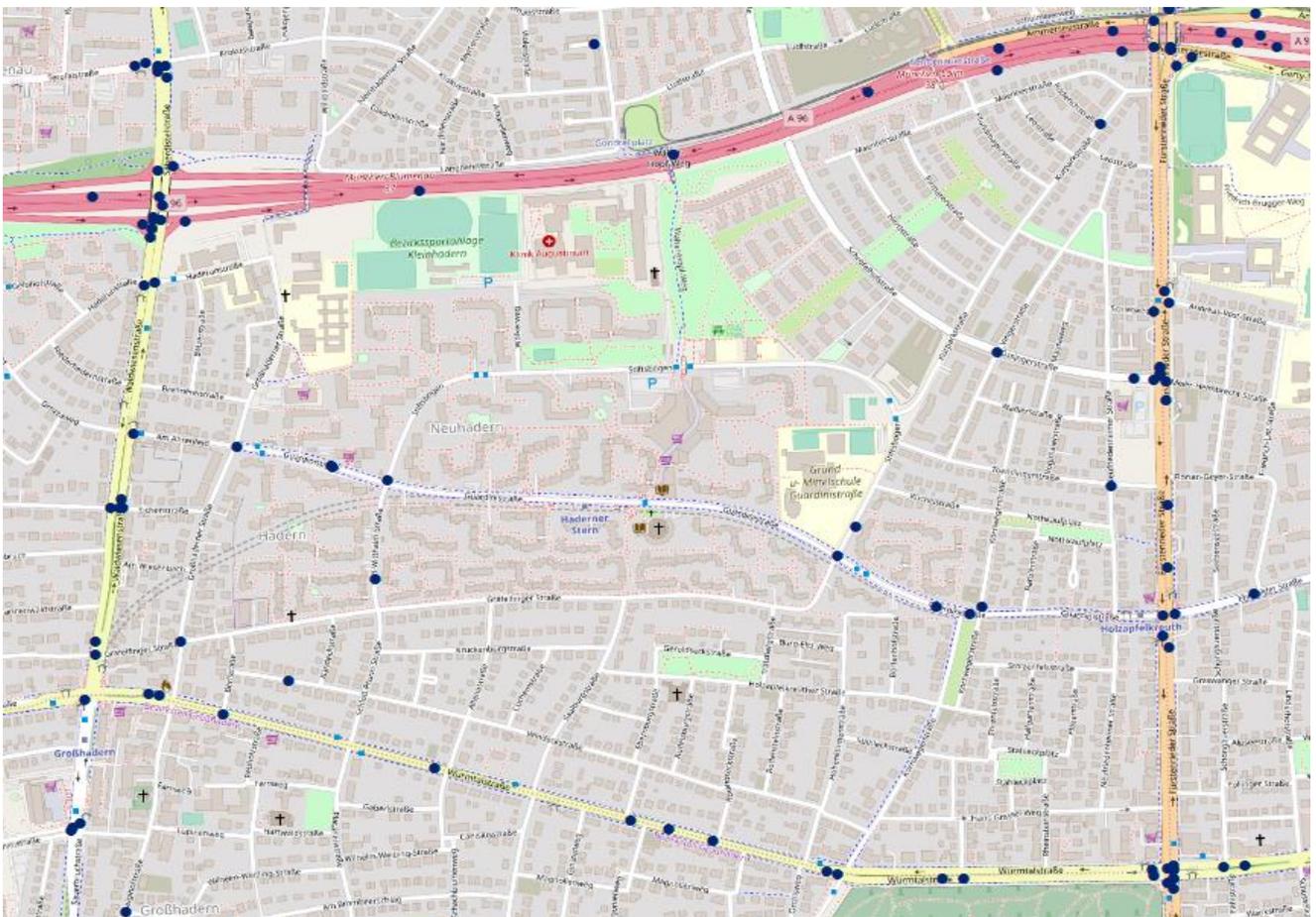


Abbildung 20: Unfalldaten überlagert mit dem Straßennetz, Ausschnitt Hadern in München

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die Unfalldaten korrekt auf den Straßen abgebildet werden und ausreichend genau sind. An Stellen, wo sich zwei verschiedene Straßentypen geographisch kreuzen, kann jedoch nicht eindeutig bestimmt werden auf welchem Straßentyp dieser Unfall geschehen ist.

Aufgrund der Unsicherheit der überlagerten Daten bei geographischen Kreuzungen von verschiedenen Straßentypen wurde die Idee der weiteren Analyse verworfen. Stattdessen wurde in Kapitel 3 auf den Zusammenhang von Unfällen und Straßentypen mithilfe der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Daten eingegangen [1]. Da diese Daten im Gegensatz zum Unfallatlas in allen Bundesländern erfasst wurden, sind diese repräsentativer für Deutschland und stellen somit eine gute Alternative zur Analyse mit ArcMap da.

### **5.2.2. Überlagern der Unfalldaten mit den verschiedenen Bevölkerungsdichten**

Nun wurden die Unfalldaten aus dem Unfallatlas und die Daten „Wahlkreise 2017 mit Strukturdaten“ in ArcMap geladen. Um eine Deutschlandkarte mit verschiedenen Bevölkerungsdichten zu erzeugen, wurde unter „Properties“ bei den Wahlkreisdaten als Value „Bevölkeru“ (Abkürzung für Bevölkerungsdichte) ausgewählt und bei „Classes“ der Wert 32 gewählt. Damit wird nun die Bevölkerungsdichte in 32 verschiedenen Werteklassen in Einwohner/km<sup>2</sup> überlagert mit den Unfalldaten angezeigt. Das Ergebnis der bisherigen Schritte sieht folgendermaßen aus.

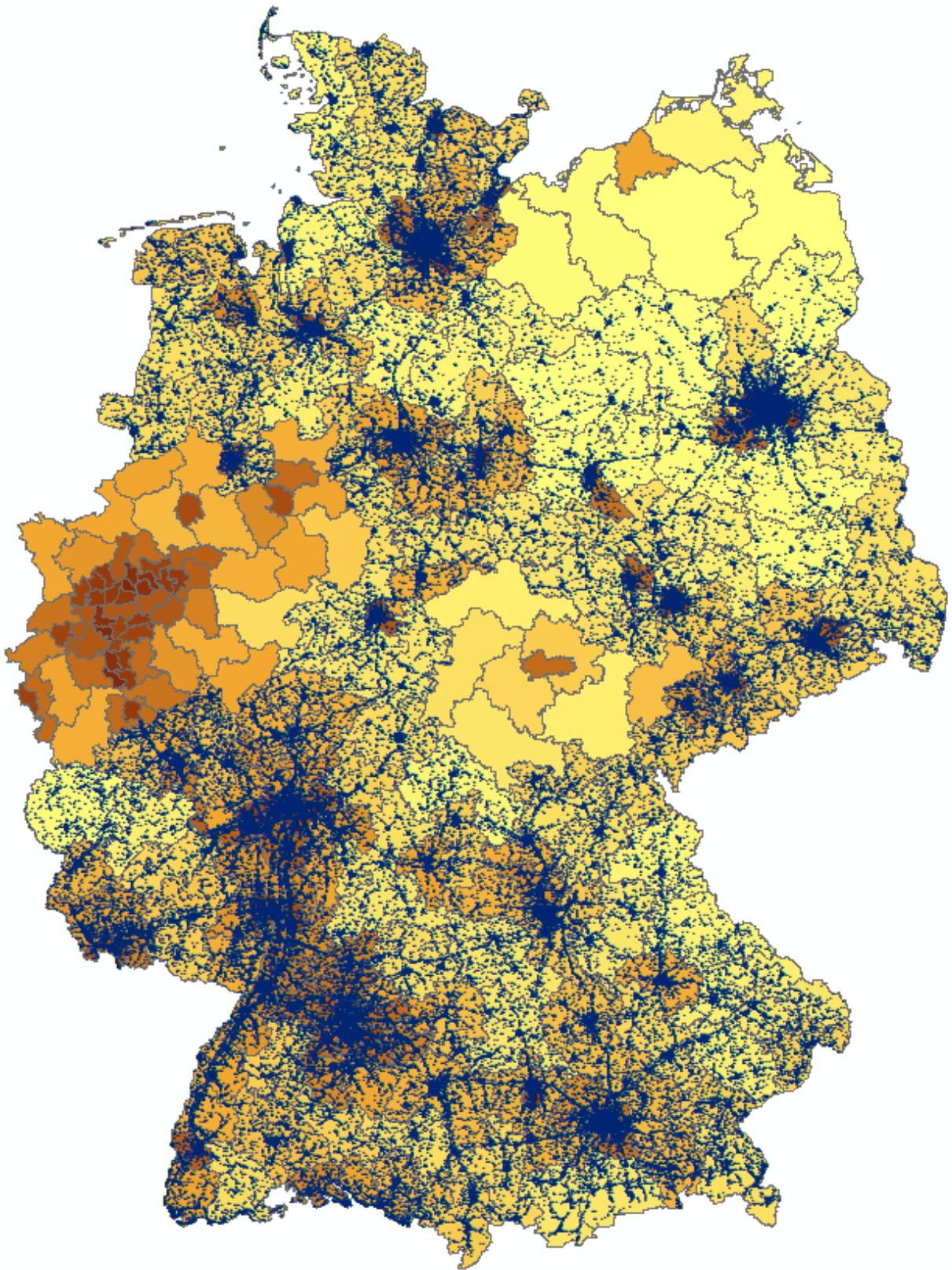


Abbildung 21: Bevölkerungsdichte in Deutschland überlagert mit den Unfalldaten aus dem Jahr 2018

Wie bereits erwähnt werden in manchen Bundesländern keine Unfalldaten angezeigt, da diese im Jahr 2018 noch nicht mit Geokoordinaten erfasst wurden und somit nicht sinnvoll dargestellt werden können. Jeder dunkelblaue Punkt stellt einen Unfall mit Personenschaden dar und die farbigen Flächen stehen für verschiedene Bevölkerungsdichten (gelb entspricht einer geringen Bevölkerungsdichte und braun einer hohen Bevölkerungsdichte). Bereits jetzt kann man erkennen, dass die Anzahl der Unfälle sich in urbanen Gebieten wie Berlin oder München häufen.

Um eine Datenanalyse ausführen zu können, war das nächste Ziel das Verknüpfen der Tabelle der Unfalldaten mit der Tabelle der Wahlkreisdaten, sodass jeder Unfall der richtigen Bevölkerungsdichte zugeordnet wird. Um dies zu erreichen, wurde bei den Unfalldaten der Befehl „Join Data“ ausgeführt und mit den Strukturdaten der Wahlkreise verknüpft. Durch das „Spatial Joining“ wurde eine Tabelle erstellt, die sowohl alle Unfalldaten als auch alle Strukturdaten des jeweiligen Wahlkreises, in dem der Unfall stattgefunden hat, enthält. Unter dem erzeugten Join kann nun die Attributtabelle geöffnet und exportiert werden, sodass diese in Excel genutzt werden kann.

## 5.3. Datenauswertung

### 5.3.1. Allgemeines Vorgehen

Für die Auswertung in Excel werden neben den Unfalldaten die Anzahl der Einwohner des jeweiligen Wahlkreises und die Bevölkerungsdichte benötigt. Ein Wahlkreis ist durch eine individuelle Bevölkerungsdichte bestimmt und wird später durch Angabe seiner Bevölkerungsdichte in Grafiken dargestellt. In der Tabelle waren 211.863 Datensätze vorhanden, jedoch wurde der Bevölkerungsdichtewert „0“ fünf Unfällen zugewiesen, sodass diese nicht verwendet werden konnten. Dieser Fehler ist bereits in der Tabelle in ArcMap vorhanden und muss dort seinen Ursprung haben. Wie der unteren Abbildung entnommen werden kann, tritt dieses Problem auf, wenn die gespeicherten Koordinaten eines Unfalls außerhalb eines Wahlkreises liegen und somit diesem Unfall keine Daten zugeordnet werden können.



Abbildung 22: Ausschnitt aus ArcMap (Schleswig-Holstein, südlich der Insel Fehmarn): Unfallkoordinaten liegen außerhalb eines Wahlkreises

Möchte man wissen wie sich das Risiko für Einwohner eines dicht und eines weniger dicht besiedelten Wahlkreises zueinander verhält, muss berücksichtigt werden, dass jeder Wahlkreis unterschiedlich groß ist und eine unterschiedliche Anzahl an Einwohnern besitzt. Um die Daten sinnvoll vergleichen zu können, soll für jeden Wahlkreis die Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner berechnet werden. Dazu wurde in der Tabelle eine weitere Spalte eingefügt, die für jede Zeile angibt wie oft dieser Unfall pro tausend Einwohner auftritt. Dies geschieht indem der Unfall in der Zeile (also „1“, da es sich um genau einen Unfall handelt) durch die Anzahl der Einwohner in dem Wahlkreis (bereits angegeben in tausend) dividiert wird. Später wird die Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner addiert, wobei die Information der jeweiligen Bevölkerungsdichte beibehalten wird. Dieses Vorgehen liefert beispielsweise folgendes Ergebnis: Besitzt ein Wahlkreis 200.000 Einwohner und es kam zu 200 Unfällen mit Personenschaden in einem Jahr so geschieht pro tausend Einwohner genau ein Unfall in diesem Wahlkreis

in einem Jahr. Dies kann nun für alle Wahlkreise dargestellt werden und zusammen mit deren verschiedenen Bevölkerungsdichten können die Anzahl bestimmter Unfälle pro tausend Einwohner verglichen werden.

Um eine grafische Darstellung im Stil einer Punktwolke zu ermöglichen, wurde eine PivotTable in einem neuen Arbeitsblatt eingefügt. Für die Zeilen (in Excel als Achse (Rubriken) angegeben) wurden die verschiedenen Bevölkerungsdichten (also alle Wahlkreise) verwendet. Als Wert soll die Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner in dem jeweiligen Wahlkreis dargestellt werden, damit muss die Summe der einzelnen Unfälle pro tausend Einwohner ausgewählt werden, da in der ursprünglichen Tabelle die Spalte „Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner“ sich immer nur auf den jeweiligen Unfall in der Zeile bezieht, aber nun alle Unfälle in einem Wahlkreis einbezogen werden sollen.

Da jeder Unfall mit weiteren Informationen hinterlegt ist, können diese auf bestimmte Attribute eingeschränkt werden (z.B. nur tödliche Unfälle oder nur Unfälle, an denen ein Fußgänger beteiligt war). Dazu werden alle Felder der Unfalldaten (z.B. Unfallkategorie, Unfallart, Unfalltyp, Lichtverhältnisse, usw.) als Filter benutzt.

### **5.3.2. Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner**

In der PivotTable wird die Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner für jede Bevölkerungsdichte aufsummiert und in einer Tabelle dargestellt. Dies wird erreicht indem im Feld „Zeilen“ die Bevölkerungsdichte ausgewählt wurde und unter „Werte“ die Anzahl der Unfälle (also Anzahl von Bevölkerungsdichte, da jede Zeile für einen Unfall steht). Fast alle Bevölkerungsdichten, also Wahlkreise, besitzen einen dreistelligen Wert an Unfällen, jedoch wurden ein paar wenigen Wahlkreisen lediglich ein bis zwei Unfälle zugeordnet was in Bezug auf die anderen Wahlkreise unwahrscheinlich erscheint. Dies liegt daran, dass in der Karte aus ArcMap ein paar wenige Unfälle dem falschen Wahlkreis zugeordnet wurden und somit auch in Bundesländer fallen können, für die keine Unfalldaten zur Verfügung stehen dürften (aufgrund von fehlenden Geokoordinaten). Dies erklärt warum diesem Wahlkreis sonst keine Unfälle zugeordnet werden und ist ähnlich wie das bereits erwähnte Problem, bei dem manche Unfälle in keinen Wahlkreis fallen aufgrund von unpassenden Geokoordinaten. Die fünf Zeilen mit den offen-

bar falschen Werten wurden deshalb entfernt, sodass nun mit den Daten aus den verbleibenden Wahlkreisen eine Auswertung begonnen werden kann.

Um eine graphische Darstellung im Stil von Punktwolken zu ermöglichen, wurden die Felder mit der Bevölkerungsdichte und der Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohnern in einem neuen Arbeitsblatt geöffnet. Für die x-Achse wurde eine logarithmische Skalierung mit der Basis 10 gewählt, da sich durch die Verteilung der Werte hiermit die Grafik anschaulicher darstellen lässt. Die Werte der x-Achse beginnen bei 35, da die niedrigste Bevölkerungsdichte darüber ist und enden bei 15.000, da die höchste Bevölkerungsdichte darunterliegt. Die Trendlinie zeigt zusammen mit ihrer Formel die gemittelte Verteilung der Daten an. Es wurde Potenz als Trendlinienoption ausgewählt, da somit gezeigt werden kann, dass ein potenzieller Zusammenhang zwischen der Anzahl bestimmter Unfälle und der Bevölkerungsdichte besteht. Im Folgenden werden Zusammenhänge zwischen der Bevölkerungsdichte und bestimmten Unfallarten/-typen graphisch dargestellt, dabei handelt es sich hauptsächlich um Diagramme, bei denen eine sichtbare Abhängigkeit zwischen Bevölkerungsdichte und Unfallwahrscheinlichkeit festzustellen ist. Im Anschluss werden die Diagramme beschrieben und Auffälligkeiten hervorgehoben. Es werden hier nicht dargestellte Diagramme erwähnt, bei denen es keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Bevölkerungsdichte und der Unfallwahrscheinlichkeit gibt.

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und der Bevölkerungsdichte

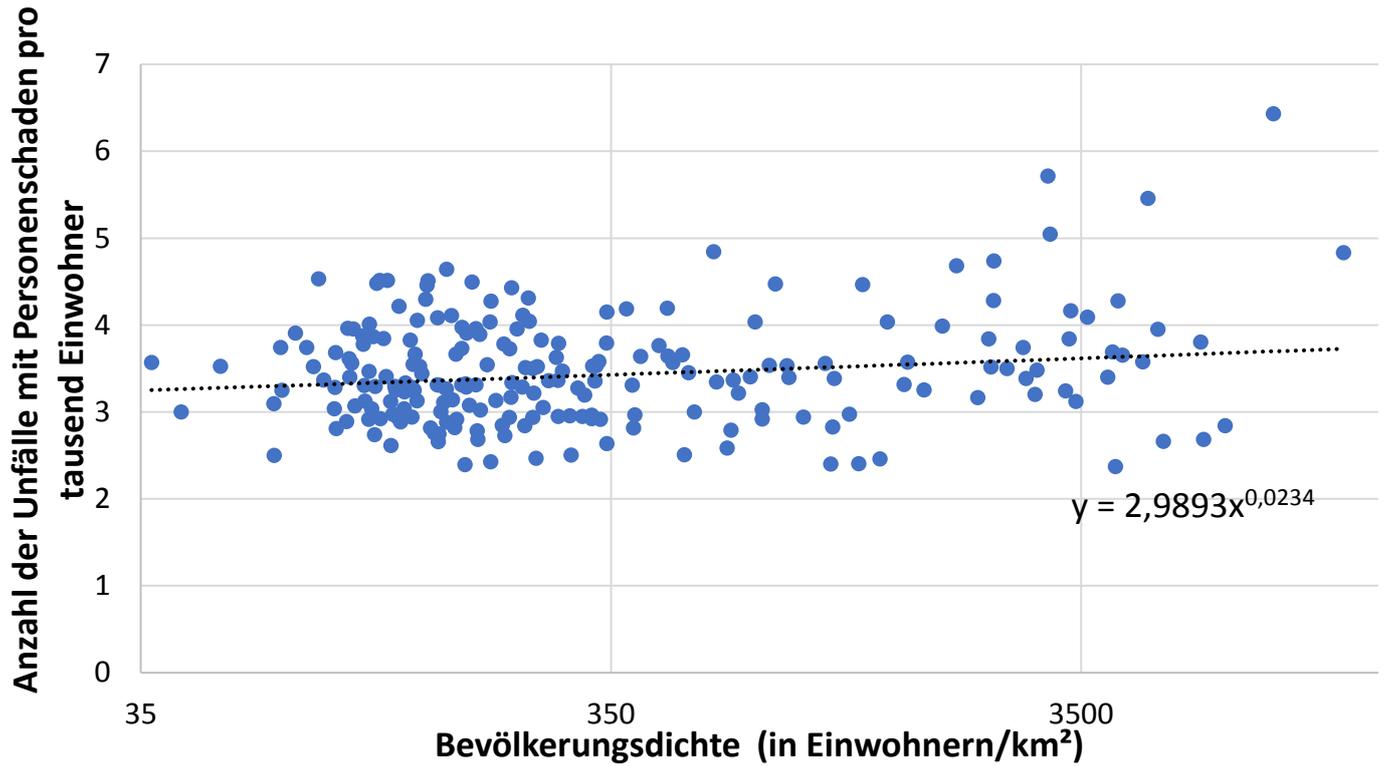


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Schwerverletzten und der Bevölkerungsdichte

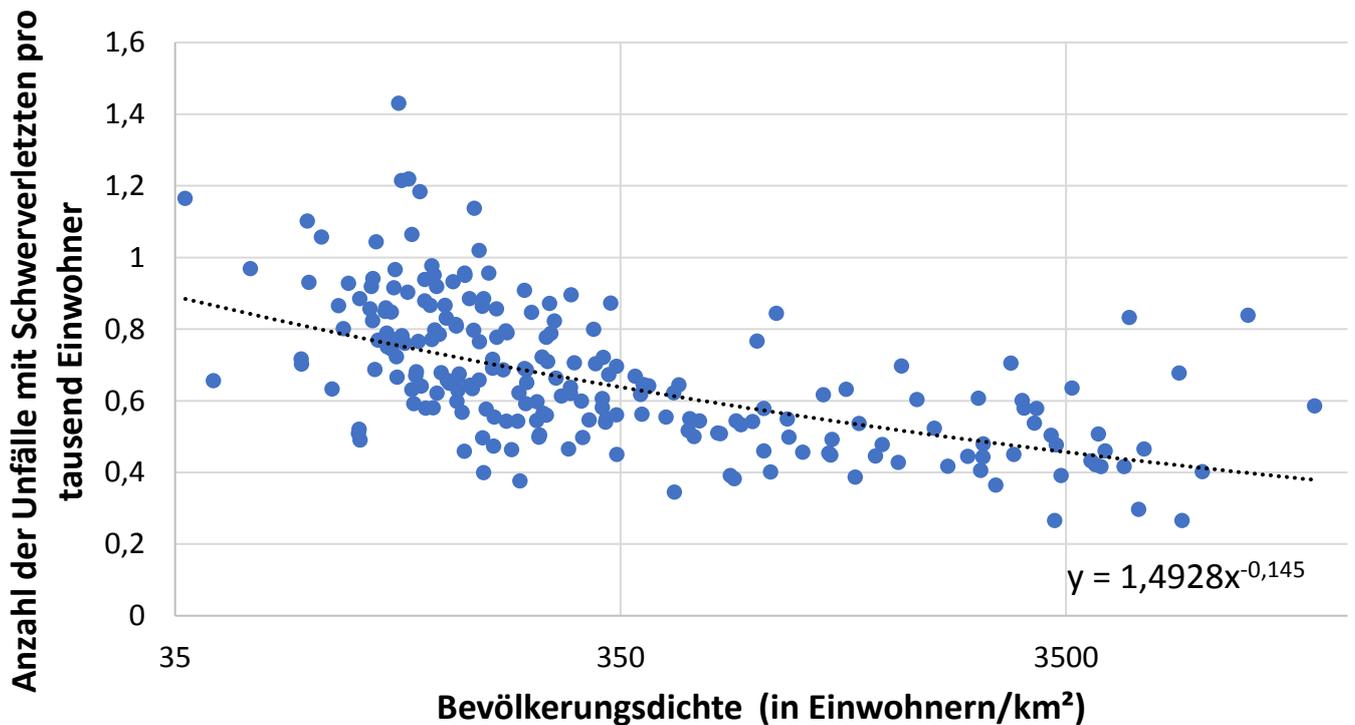


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Schwerverletzten und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Getöteten und der Bevölkerungsdichte

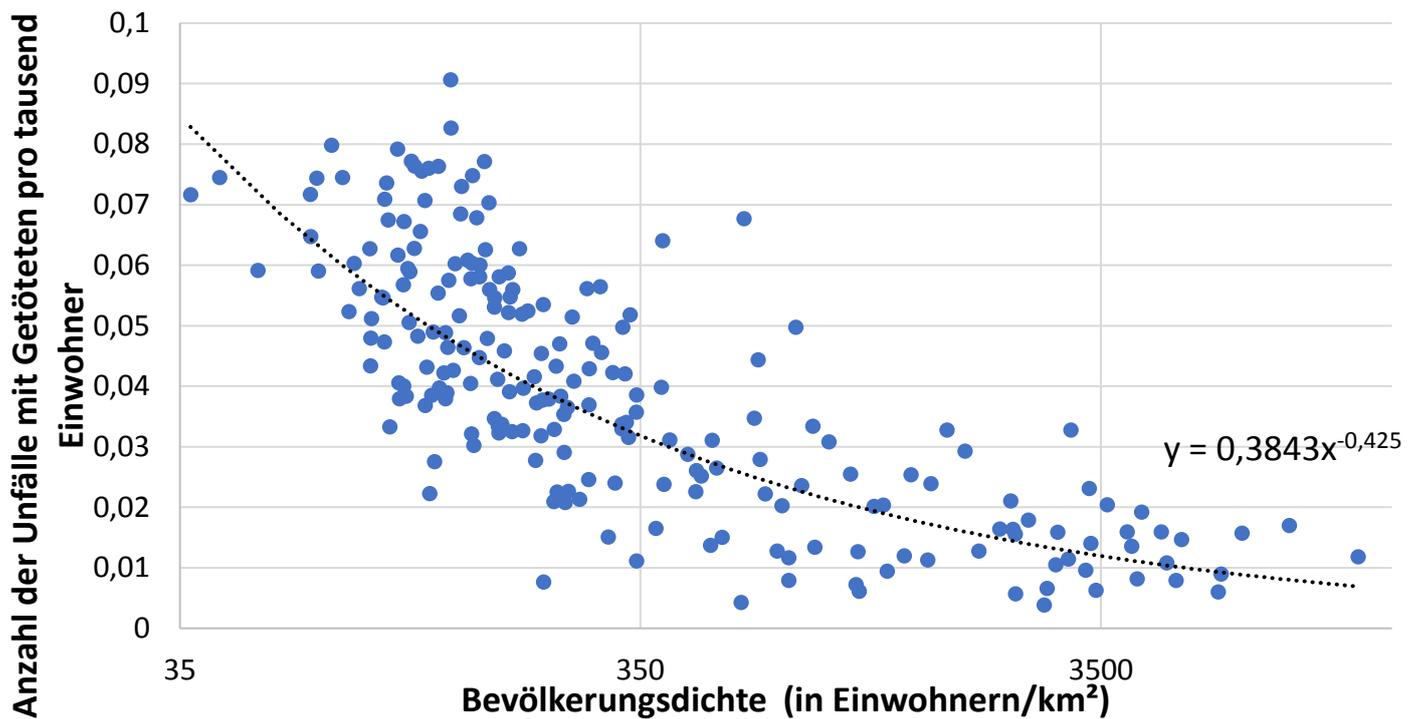


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Getöteten und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle bei winterglatter Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte

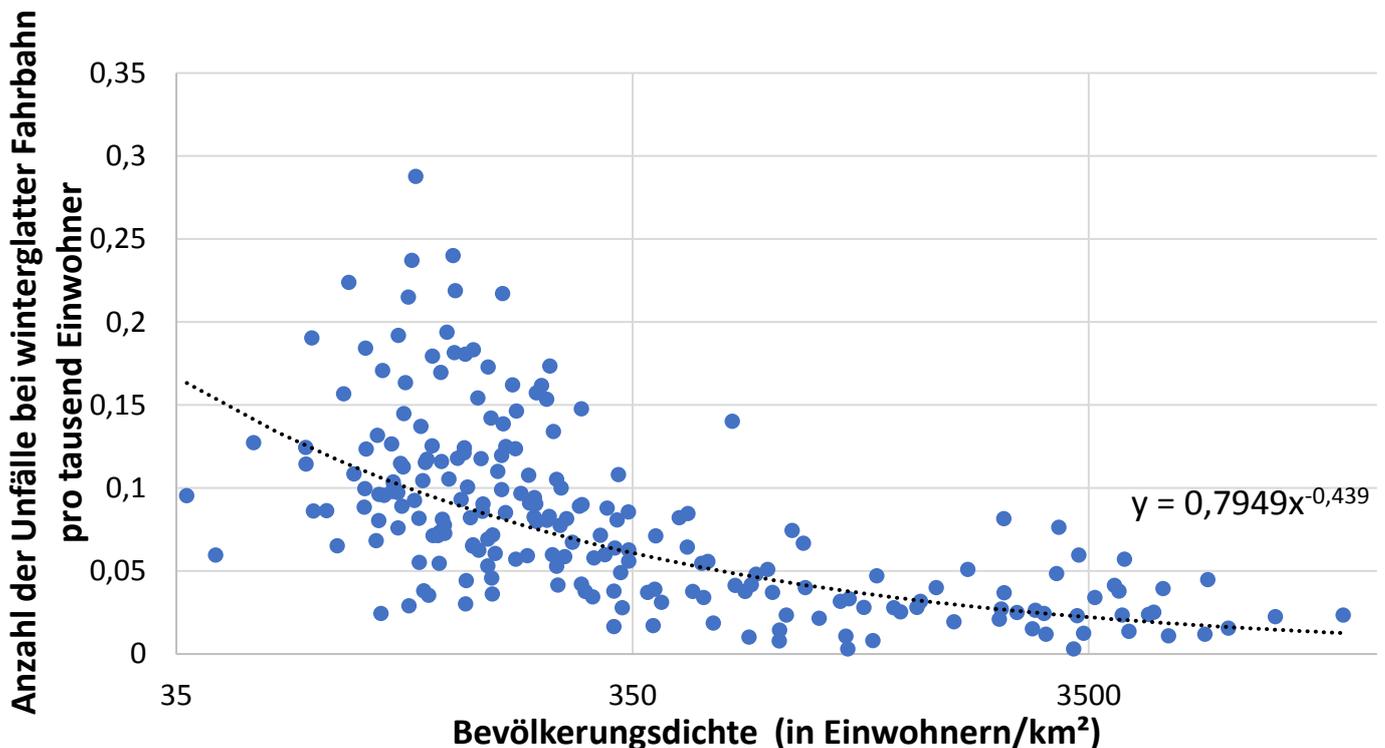


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle bei winterglatter Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und der Bevölkerungsdichte

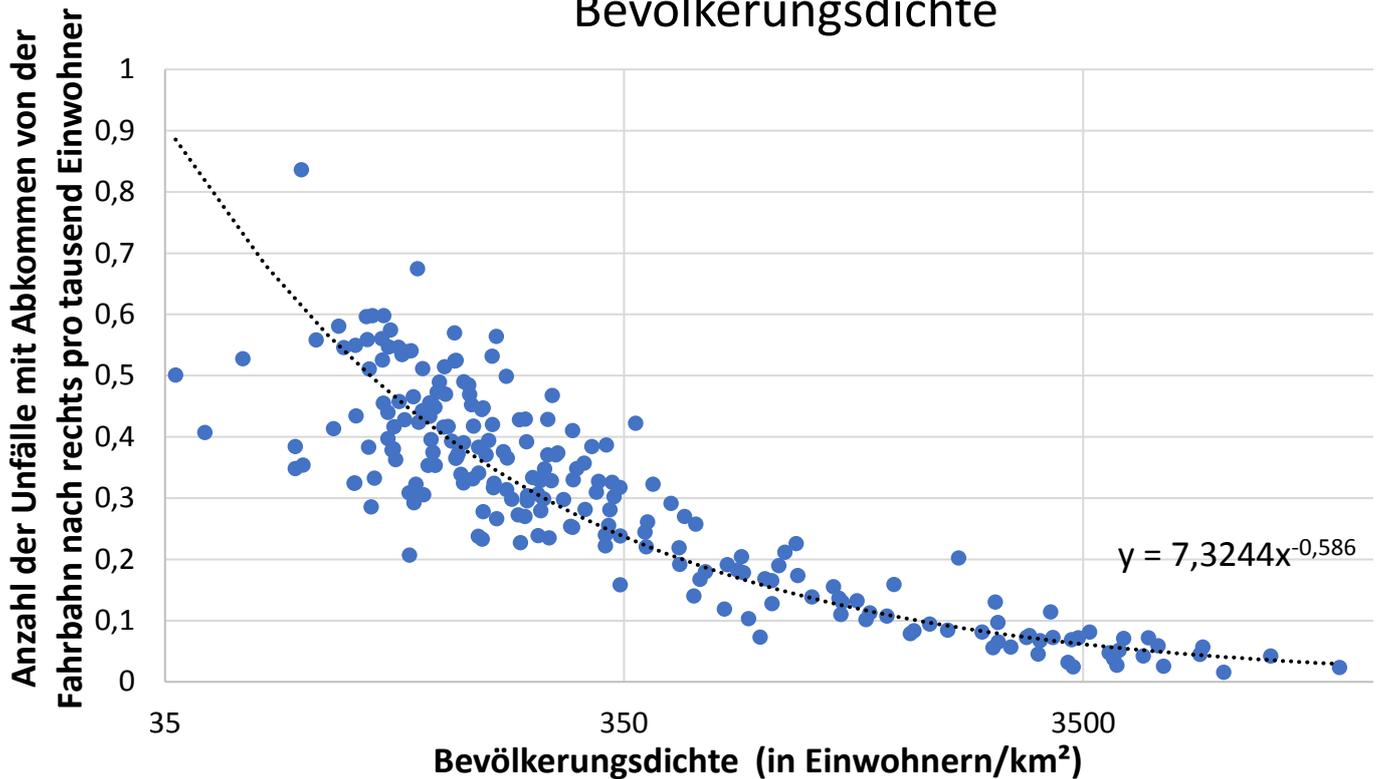


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und der Bevölkerungsdichte

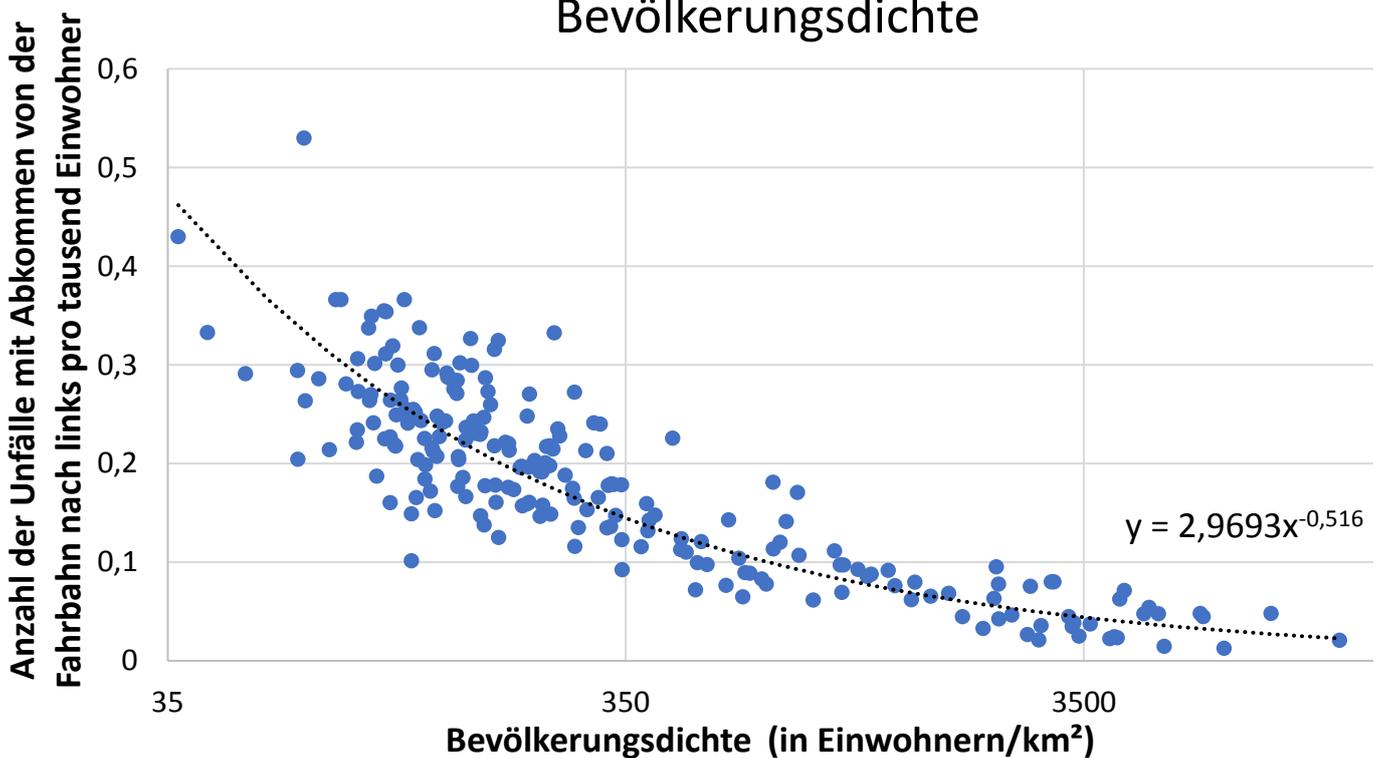


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Aufprall auf Fahrbahnhindernis und der Bevölkerungsdichte

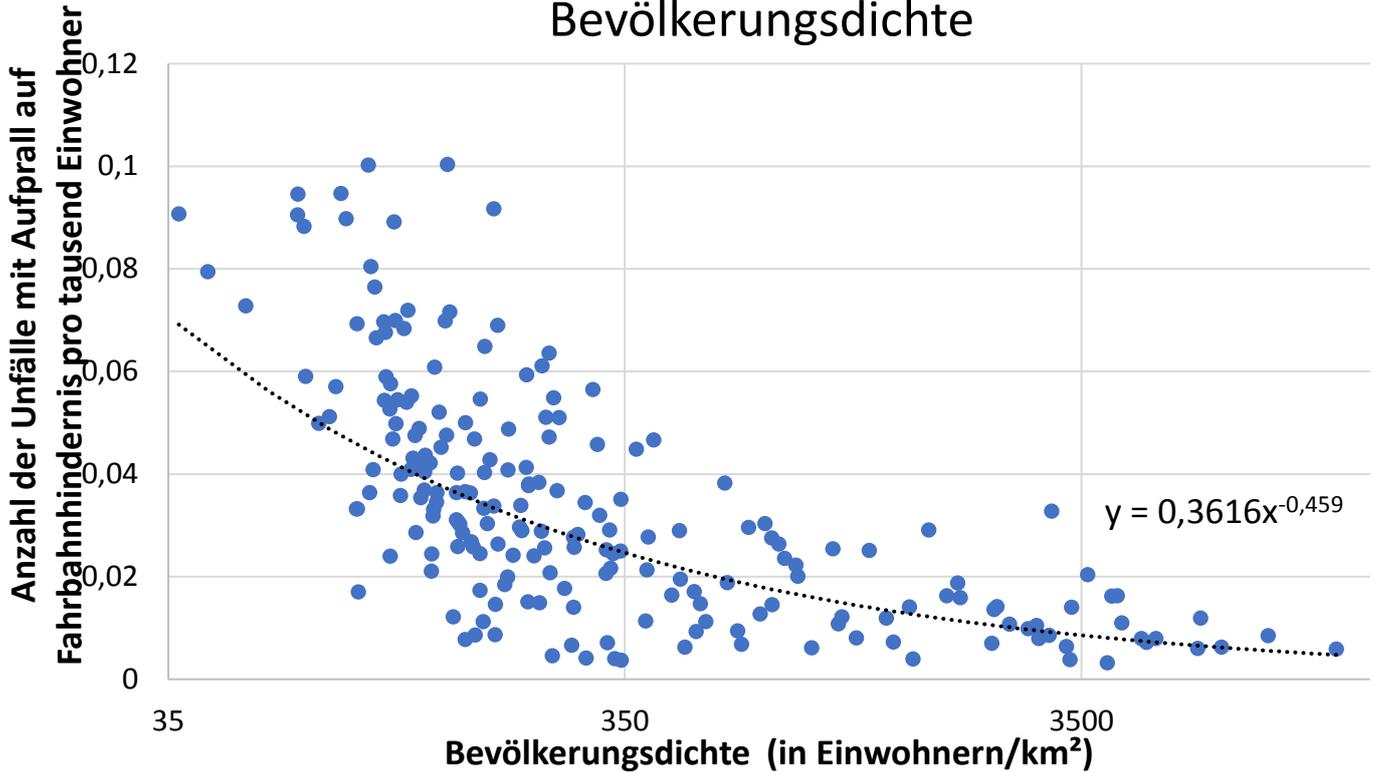


Abbildung 29: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Aufprall auf Fahrbahnhindernis und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit entgegenkommendem Fahrzeug und der Bevölkerungsdichte

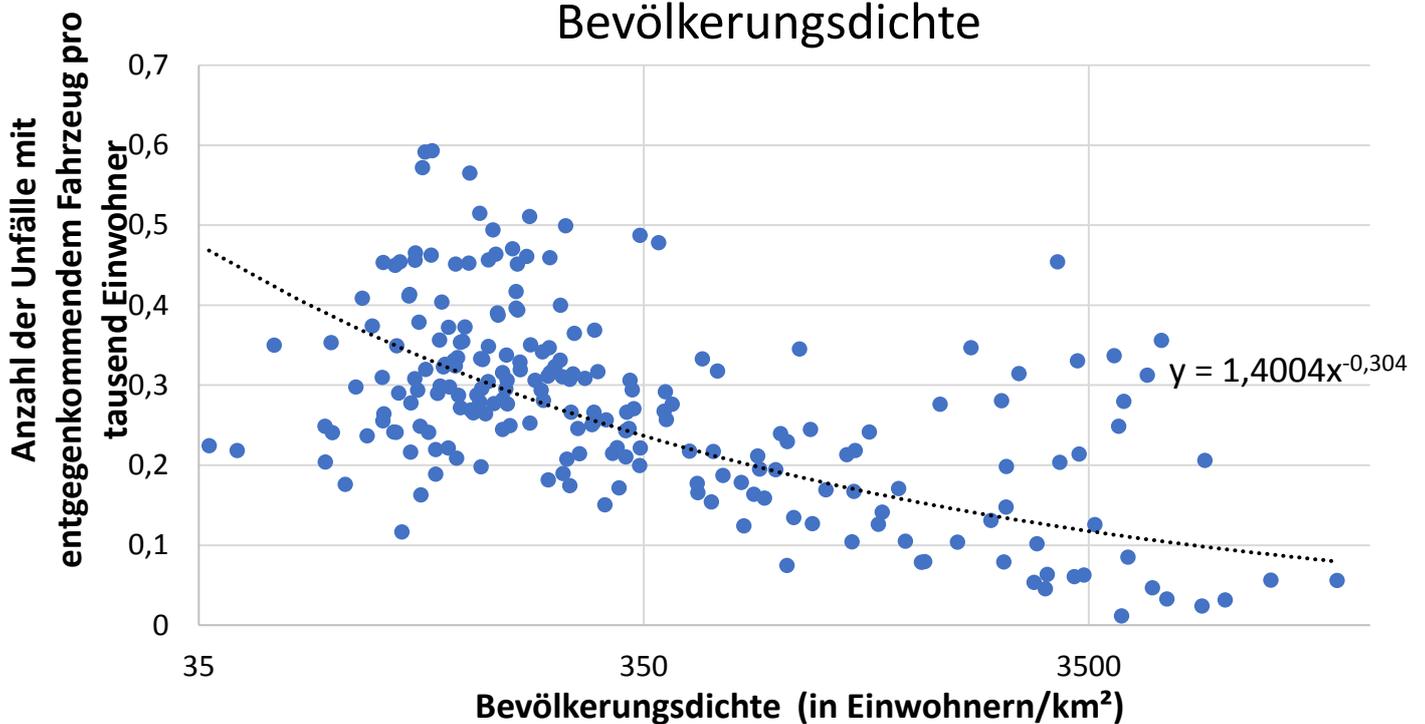


Abbildung 30: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit entgegenkommendem Fahrzeug und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger und der Bevölkerungsdichte

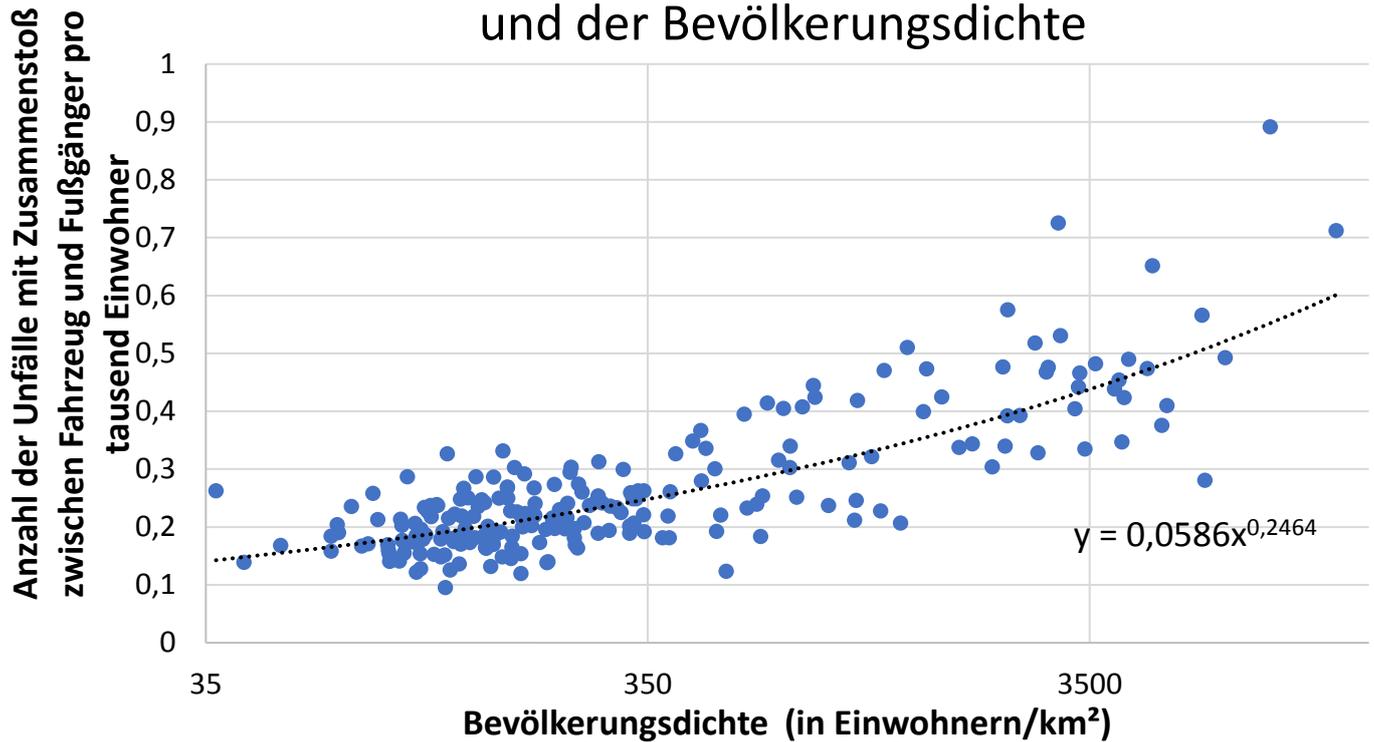


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte

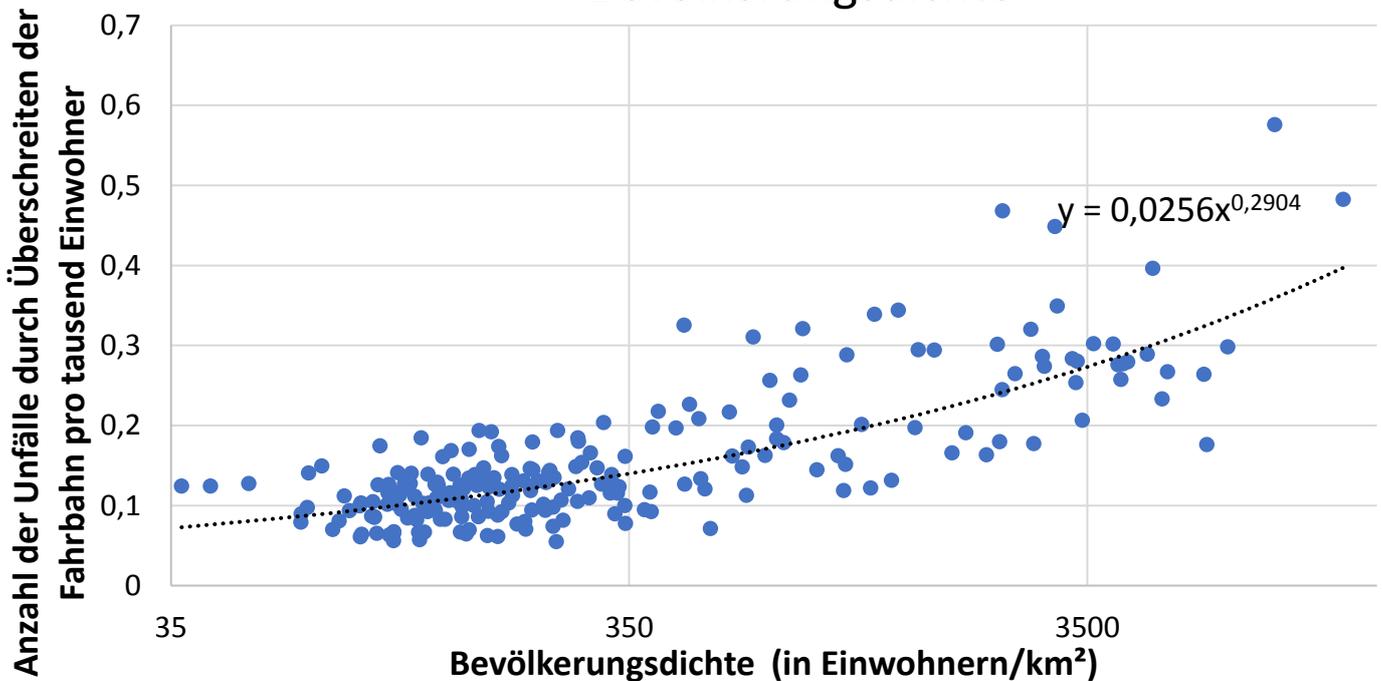


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch falsches Fahrverhalten und der Bevölkerungsdichte

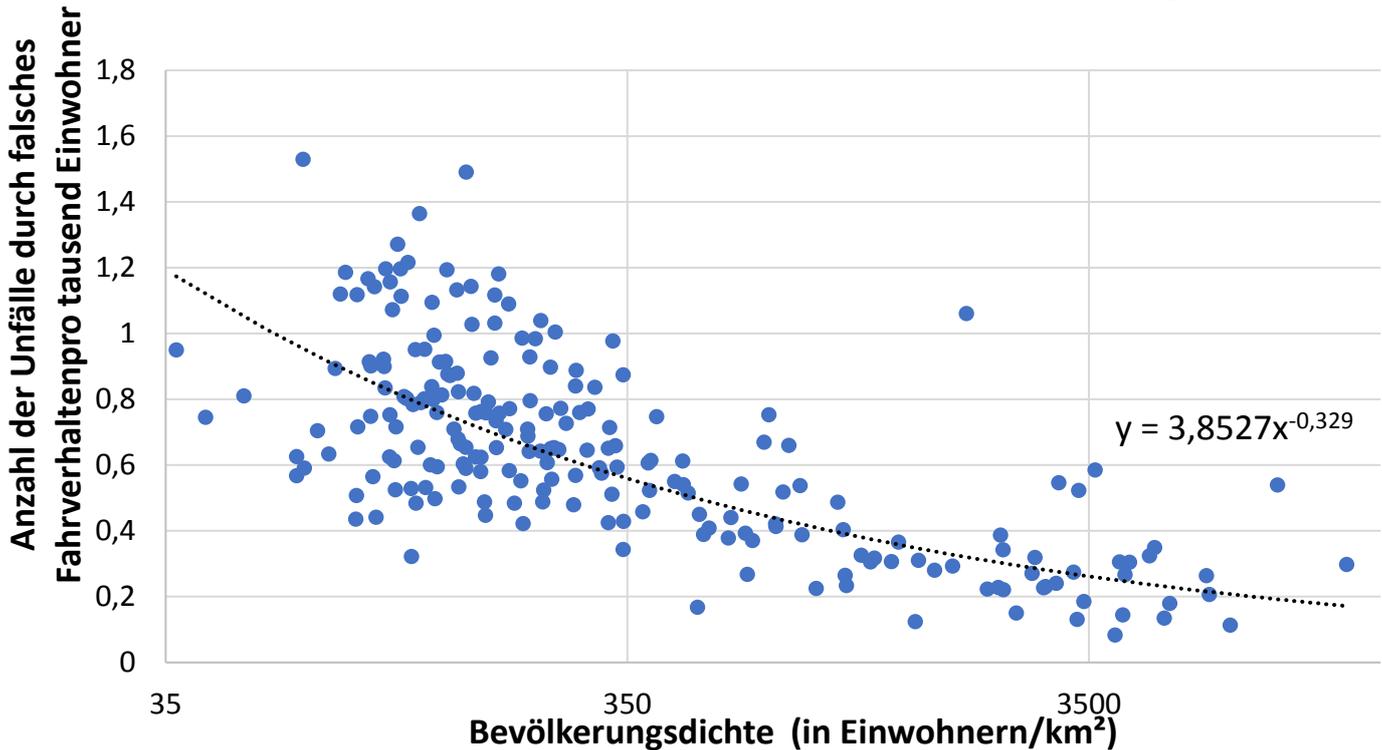


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch falsches Fahrverhalten und der Bevölkerungsdichte

## Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch ruhenden Verkehr und der Bevölkerungsdichte

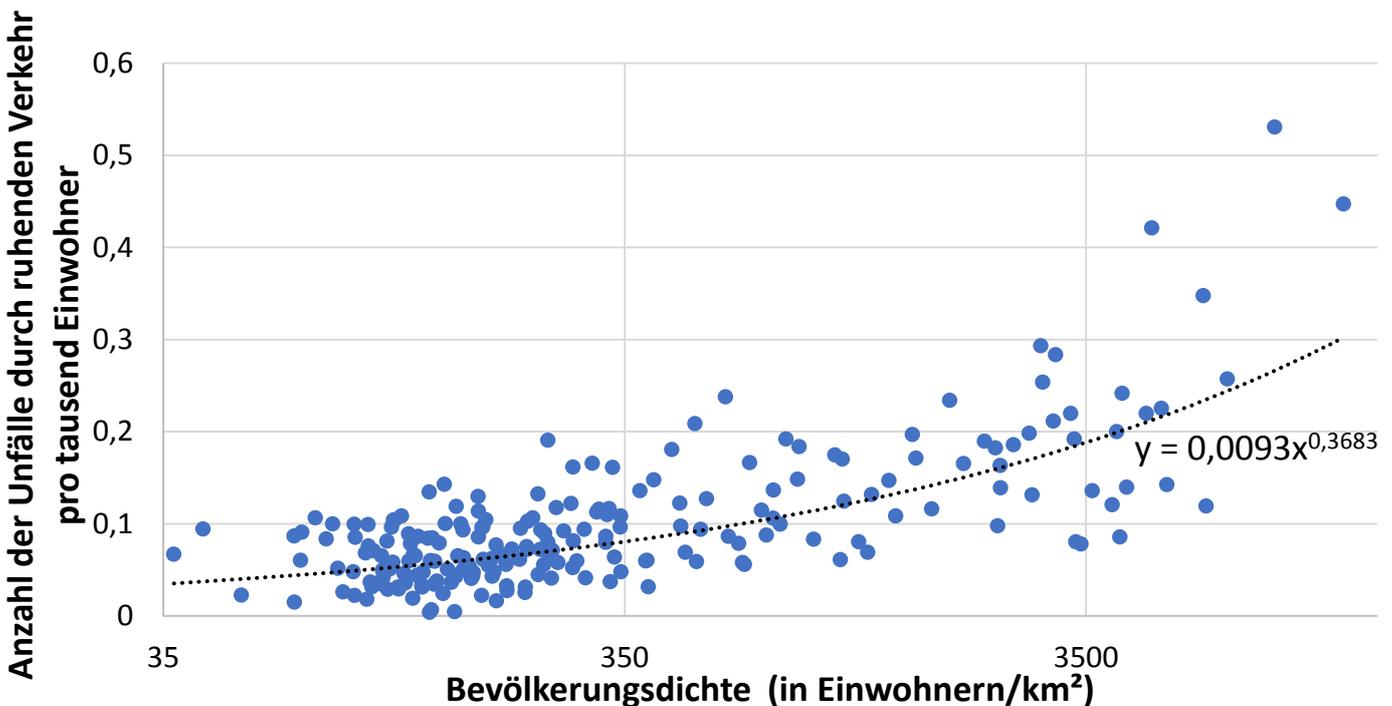


Abbildung 34: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch ruhenden Verkehr und der Bevölkerungsdichte

Um einen allgemeinen Überblick zu bekommen, wurde zunächst der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und der Bevölkerungsdichte dargestellt. Auch wenn die Trendlinie in dem Fall einen leichten Anstieg der Unfälle pro tausend Einwohner mit zunehmender Bevölkerungsdichte darstellt, ist der Unterschied gering und man kann behaupten, dass für Menschen in ländlichen und in städtischen Regionen ein ähnliches Risiko besteht in einen Unfall mit Personenschaden verwickelt zu sein. Bei Unfällen mit Schwerverletzten ist das Risiko auf dem Land schon sichtbar höher als in dicht besiedelten Gebieten. Betrachtet man die Zahl der Unfälle mit Getöteten pro tausend Einwohner, geschehen diese in schwach besiedelten Gebieten bis zu 6-mal so häufig als in städtischen Regionen. Ein Grund für die Zunahme der Unfallschwere in ländlichen Regionen könnten die höher gefahrenen Geschwindigkeiten sein.

Unfälle mit Personenschaden bei winterglatter Fahrbahn treten häufiger in Gebieten mit niedrigeren Bevölkerungsdichten auf als in urbanen Gebieten, dies könnte am verbesserten Winterdienst auf städtischen Straßen liegen, da diese im Gegensatz zu Landstraßen gebündelt sind und näher beieinander liegen. Außerdem sind auf Landstraßen höhere Geschwindigkeiten erlaubt was die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls erhöht.

Für Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links ist das Risiko in ländlichen Regionen deutlich höher als in Städten. Hierfür könnte es eine Vielzahl an Gründen geben. Neben den höher gefahrenen Geschwindigkeiten könnten auch Sichtverhältnisse eine Rolle spielen, aber auch eine kurvigere Trassierung auf Landstraßen kann auch für mehr Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn sorgen. Zusätzlich gibt es beim Abkommen von der Fahrbahn auf Landstraßen Gefahren wie Bäume/Felsen/Böschungen, die beim Zusammenstoß zu einer höheren Unfallschwere führen und somit als Unfälle mit Personenschaden erfasst werden.

Mit gering besiedelten Gebieten steigt das Risiko pro tausend Einwohner für einen Unfall mit Aufprall auf ein Fahrbahnhindernis, dabei kann es sich um umgestürzte Bäume oder Wild handeln und gibt Aufschluss über das erhöhte Risiko dieser Unfallart in ländlichen Regionen. Ähnlich verhält sich die Anzahl der Unfälle pro tausend Einwohner mit Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug. Auch wenn in manchen städtischen Gebieten die Zahl dieser Unfallart relativ hoch ist, ist das Risiko in ländlichen Regionen durchschnittlich höher. Ein möglicher Grund könnte das Risiko eines Unfalls beim Überholen auf Landstraßen sein, außerdem führen höhere Geschwindigkeiten zu einer erhöhten Unfallschwere.

Sowohl die Anzahl der Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn (z.B. Unfall mit querendem Fußgänger) als auch die Unfälle mit einem Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger nehmen in städtischen Gebieten zu, da dort mehr Fußgänger die Fahrbahn queren als in ländlichen Gebieten und beispielsweise auf Landstraßen normalerweise keine Fußgänger auf der Fahrbahn sind.

Unfälle mit falschem Fahrverhalten werden als solche gewertet, bei denen die Kontrolle über das Fahrzeug verloren wird und infolge dessen ein Unfall entsteht. In Gebieten mit einer niedrigen Bevölkerungsdichte ist das Risiko dieses Unfalltyps pro tausend Einwohner höher als in städtischen Regionen. Ein möglicher Grund könnten die höher gefahrenen Geschwindigkeiten sein, da diese bei Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug zu schwerwiegenderen Folgen führen können und es nicht mehr so einfach ist, die Kontrolle über das Fahrzeug zurückzugewinnen.

Unfälle mit ruhendem Verkehr beinhalten mindestens ein Fahrzeug, das parkt/hält oder ein Manöver zum Parken/Halten ausführt. In stark besiedelten Gebieten treten diese Unfälle etwas öfter auf was mit der erhöhten Anzahl an Parkplätzen an Hauptverkehrsstraßen zusammenhängen könnte. Außerdem steht dort weniger Platz zur Verfügung und es kann bei Unachtsamkeit leichter zu Unfällen kommen.

Während der Datenauswertung konnten nicht bei allen Unfallarten/-typen Zusammenhänge zur Bevölkerungsdichte festgestellt werden. So scheinen die Unfallarten mit Zusammenstoß mit einem anfahrenen/anhaltendem/ruhenden Fahrzeug als auch mit Zusammenstoß mit einem vorausfahrenden/wartenden Fahrzeug für alle Bevölkerungsdichten ein relativ ähnliches Risiko zu besitzen. Im Gegensatz zum Unfalltyp ruhender Verkehr wird hierbei nicht der Auslöser für den Unfall genannt, sondern welche Fahrzeuge beim Zusammenstoß beteiligt waren. So kann ein Unfall durch ruhenden Verkehr ausgelöst worden sein (Unfalltyp), aber es muss nicht zwangsläufig zu einer Kollision mit dem ruhenden Verkehr gekommen sein (Unfallart). Zusammenstöße mit seitlich in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen als auch mit einbiegenden/kreuzenden Fahrzeugen scheinen pro tausend Einwohnern in Städten und auf dem Land ähnlich häufig vorzukommen, nur in dicht besiedelten Gebieten (ab ca. 1.500 Einwohner/km<sup>2</sup>) kommt es vereinzelt zu höheren Risiken.

Die Unfalltypen Einbiegen-/Kreuzenunfall und Unfall im Längsverkehr sind über die Bevölkerungsdichten gleich verteilt und es kann kein verändertes Risiko pro tausend Einwohner festgestellt werden.

## 5.4. Verkehrsunfälle nach Bundesländern

Da nicht jedes Bundesland in Deutschland gleiche Bedingungen hat, sind Abweichungen bei den Verkehrsunfällen pro 100.000 Einwohner zu erwarten. Es werden nur Unfälle mit Personenschaden berücksichtigt. Für das Jahr 2018 sieht die Verteilung der Verunglückten nach Bundesländern so aus:

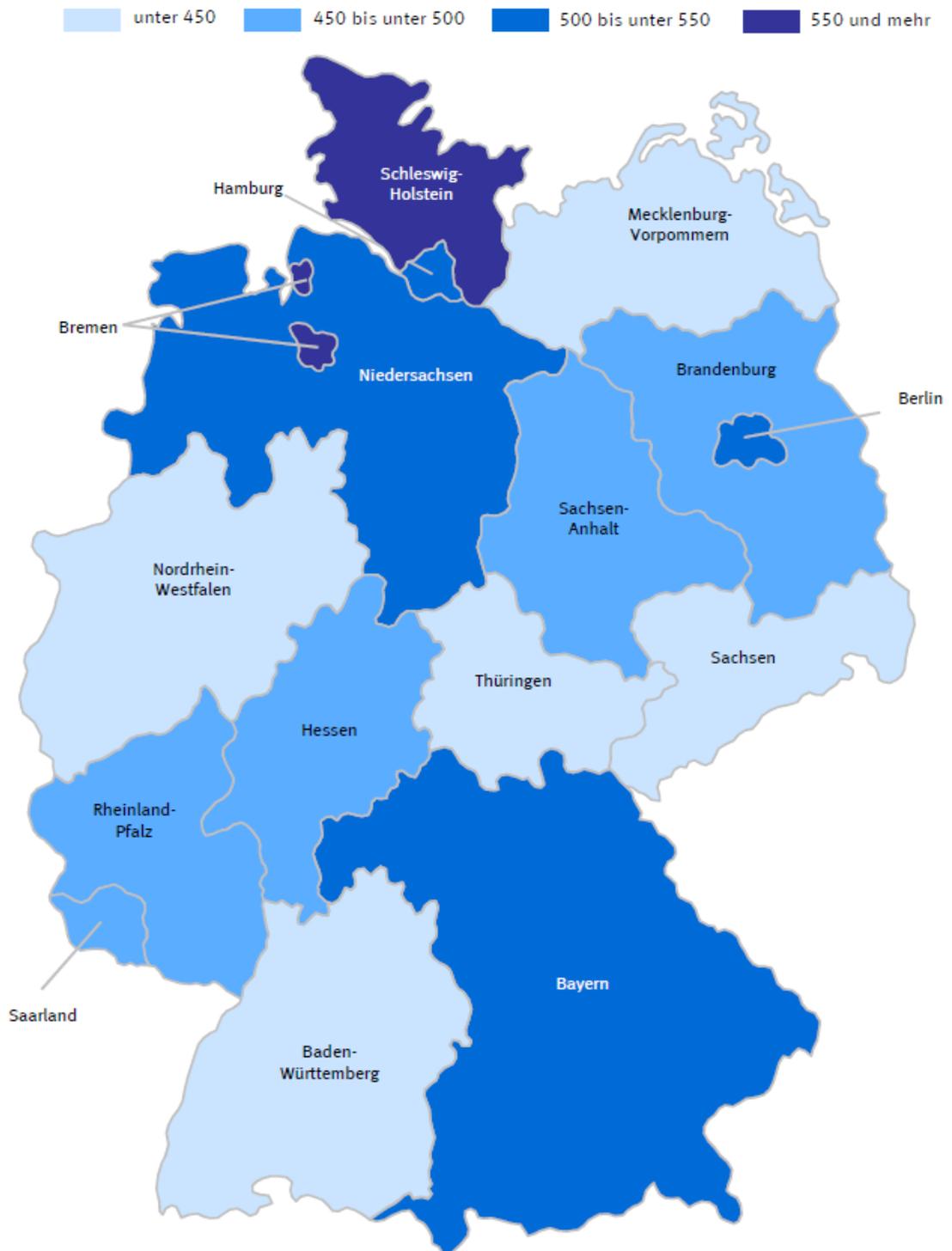


Abbildung 35: Verunglückte nach Bundesländern 2018 je 100.000 Einwohner [1]

Da die Verteilung der Verkehrstoten nach Bundesländern im Jahr 2018 anders ausfällt als die Verteilung der Verunglückten, ist diese hier ebenfalls dargestellt:



Abbildung 36: Verkehrstote nach Bundesländern 2018 je 1 Millionen Einwohner [1]

Betrachtet man die beiden Abbildungen, fällt auf, dass in Schleswig-Holstein und Bremen besonders viele Menschen pro 100.000 Einwohner verunglückt sind. Während Bayern ein relativ hohes Risiko hat in einem Verkehrsunfall verwickelt zu sein, ist dieses in den Bundesländern Sachsen, Thüringen, Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen am kleinsten.

Schaut man sich nun die Verteilung der Verkehrstoten je eine Millionen Einwohner an, sind in vielen Bundesländern wie Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern mindestens 50 Menschen pro eine Millionen Einwohner durch einen Verkehrsunfall gestorben. Stark städtische Bundesländer wie Berlin, Hamburg und Bremen weisen eine deutlich geringere Anzahl an Verkehrstoten pro eine Millionen Einwohner auf, obwohl die Anzahl der Verunglückten pro 100.000 Einwohner in diesen hoch war. Dies stimmt mit den gewonnenen Ergebnissen aus der Datenanalyse überein, nämlich dass Regionen mit hohen Bevölkerungsdichten geringere Todesraten durch Verkehrsunfälle haben als Regionen mit niedrigen Bevölkerungsdichten.

Bezogen auf die Verunglückten und Verkehrstoten pro Einwohner ist Nordrhein-Westfalen das sicherste Bundesland. Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern haben relativ wenige Verunglückte pro 100.000 Einwohner, jedoch fallen diese Unfälle häufiger tödlich aus als in anderen Bundesländern und damit ist dort die Wahrscheinlichkeit im Falle eines Verkehrsunfalls zu sterben am höchsten.

## 6. Fazit

Auch wenn in der Bachelorarbeit bereits einige Zusammenhänge dargestellt werden konnten, ist in manchen Bereichen ein größerer Forschungsbedarf notwendig. So wäre eine aktuelle Untersuchung zum Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verkehrssicherheit auf Autobahnen sinnvoll, da nach wie vor kein Tempolimit auf deutschen Autobahnen eingeführt wurde, obwohl dies immer wieder in der Diskussion ist. In dieser Bachelorarbeit wurde zwar ein Vergleich von Abschnitten ohne Tempolimit und mit Tempolimit bezüglich der Verkehrssicherheit durchgeführt, jedoch wurden unterschiedliche Verkehrsdichten nicht berücksichtigt. Dies führt zu dem Problem, dass Autobahnen in der Nähe von städtischen Gebieten (oftmals mit Tempolimit wegen Ein-/Ausfahrten, Lärmpegel, besserer Verkehrsfluss, usw.) gleich behandelt wurden wie Autobahnen mit niedrigeren Verkehrsdichten. Damit wurde die unterschiedliche Anzahl an Unfällen in Folge der höheren Verkehrsdichten nicht miteinbezogen. So macht ein Vergleich der Anzahl der Unfälle pro Kilometer nur bedingt Sinn und es kann keine eindeutige Aussage über die Sicherheit von Autobahnen mit und ohne Tempolimit getroffen werden. Allgemein wurde jedoch festgestellt, dass ein Verringern der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auch die Verkehrssicherheit erhöht. Dies müsste damit auch für Autobahnen gelten.

In der Literaturrecherche wurde herausgefunden, dass 519 Menschen durch den Aufprall auf Bäumen im Jahr 2018 gestorben sind. Bäume in der Nähe des Fahrbandrandes sind eine große Gefahr für die Verkehrsteilnehmer und können selbst mit 40 km/h bei einem seitlichen Aufprall einen tödlichen Unfall zur Folge haben. Deshalb ist aus Sicht der Verkehrssicherheit eine baumfreie Umgebung nahe der Fahrbahn notwendig, um die Anzahl der Verkehrstoten stark zu reduzieren. Da sogar Kosten durch das Anlegen von Alleen und Pflanzen von Bäumen in Fahrbahnnähe entstehen, wäre in diesem Fall das Vermeiden von Bäumen in Fahrbahnnähe eine günstige Möglichkeit die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Außerdem können Leitplanken an Gefahrenstellen eingesetzt werden, um das Abkommen von der Fahrbahn zu verhindern.

Technologien, die bis jetzt nur vereinzelt eingesetzt werden - wie z.B. HMB-Reflektoren oder Rüttelstreifen - sollten mehr getestet werden. Bei eindeutig positiven Ergebnissen könnte auch ein großräumiger Einsatz dieser Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Frage kommen. Auch wenn sich die Bachelorarbeit hauptsächlich mit baulichen und planerischen Aspekten auseinandersetzt, ist die Forschung im Bereich der Fahrzeugtechnologie in Zeiten von Fahrerassistenzsystemen immer bedeut-

samer. Ebenso sollten auch gesetzliche und politische Mittel zur Verringerung von Unfällen weiter ausgearbeitet werden.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden Zusammenhänge zwischen der Anzahl bestimmter Unfalltypen/-arten und der Bevölkerungsdichte dargestellt. Leider wurden zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch nicht in allen Bundesländern Unfälle mit Geokoordinaten erfasst, sodass die Datenanalyse sich nicht auf alle Bundesländer bezieht. Da in den nächsten Jahren der Unfallatlas Unfalldaten aus allen Bundesländern beinhalten soll, würde sich eine Vertiefung der Thematik anbieten. Dabei könnte eine Datenanalyse ausgeführt werden, die für ganz Deutschland repräsentativ ist. Im Jahresbericht des Statistischen Bundesamts könnten damit auch Graphen gezeigt werden, die die Unfallwahrscheinlichkeiten je nach Bevölkerungsdichte darstellen, in vergleichbarer Art und Weise wie dies in der vorliegenden Arbeit im Kapitel „Datenanalyse“ geschah.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten in Tausend [43] ..	1
Abbildung 2: Unfallrate auf Autobahnen und anderen Straßen in Norwegen [5].....	7
Abbildung 3: Einfluss verschiedener Aspekte auf die Verkehrssicherheit auf Autobahnen [5] .....	8
Abbildung 4: Sicherheitspotenziale im Bundesstraßennetz in Bayern und Verteilung der Sicherheitspotenziale nach Abschnittslängen [7] .....	11
Abbildung 5: Entwicklung der Verunglückten auf Landstraßen bei Unfällen insgesamt und bei Baumunfällen [8] .....	13
Abbildung 6: Aufprallgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abkommenswinkel und Hindernisabstand [8].....	14
Abbildung 7: Auswirkungen auf Unfälle durch Umgestaltung einer Kreuzung zu einem Kreisverkehr [5] .....	18
Abbildung 8: Einsatz HMB-Reflektoren [16] .....	20
Abbildung 9: Zusammenfassung alle in der CIE-Publikation ausgewerteten Studien [17] .....	20
Abbildung 10: Auswirkung auf das Unfallgeschehen durch Leitplanken entlang des Straßenrands [5].....	22
Abbildung 11: Vergleich der $v_{85}$ vor und nach Applikation der Rüttelstreifen auf der B 477 Fahrtrichtung LUXHEIM [24] .....	24
Abbildung 12: Einfluss von verschiedenen Gegebenheiten auf Unfälle in Tunnel [5] ..	27
Abbildung 13: Selbstrettungsbereiche bei einem Notausgangsabstand von 150 m, Alarmierung der Tunnelnutzer 40 s nach Brandausbruch [28] .....	28
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Änderung des Tempolimits und der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit [5].....	31
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsreduzierung und Anzahl von Todesfällen, Unfällen mit Personenschaden, leichten und schweren Verletzungen [5]	32
Abbildung 16: Anteile verschiedener Tempolimitregelungen und -höhen auf Bundesautobahnen ohne Arbeitsstellen (Stand 2015) [34] .....	34

Abbildung 17: Mittlere Geschwindigkeitsprofile an Ortseinfahrten mit hohen Annäherungsgeschwindigkeiten (Typ 1) [38] .....	37
Abbildung 18: Mittlere Geschwindigkeitsprofile an Ortseinfahrten mit niedrigen Annäherungsgeschwindigkeiten (Typ 2) [38] .....	38
Abbildung 19: Auswirkungen von ortsfesten Anlagen auf das Geschwindigkeitsverhalten von Pkw - Beispiel Simmerath, Fahrtrichtung Monschau (Kreis Aachen) - [40].....	39
Abbildung 20: Unfalldaten überlagert mit dem Straßennetz, Ausschnitt Hadern in München.....	42
Abbildung 21: Bevölkerungsdichte in Deutschland überlagert mit den Unfalldaten aus dem Jahr 2018.....	44
Abbildung 22: Ausschnitt aus ArcMap (Schleswig-Holstein, südlich der Insel Fehmarn): Unfallkoordinaten liegen außerhalb eines Wahlkreises .....	46
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und der Bevölkerungsdichte .....	49
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Schwerverletzten und der Bevölkerungsdichte .....	49
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Getöteten und der Bevölkerungsdichte .....	50
Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle bei winterglatter Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte .....	50
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und der Bevölkerungsdichte .....	51
Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und der Bevölkerungsdichte.....	51
Abbildung 29: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Aufprall auf Fahrbahnhindernis und der Bevölkerungsdichte .....	52
Abbildung 30: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit entgegenkommendem Fahrzeug und der Bevölkerungsdichte.....	52
Abbildung 31: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle mit Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger und der Bevölkerungsdichte .....	53
<b>Analyse von Verkehrssicherheitskonzepten und Beispiele ihrer Anwendung in der Praxis</b>	<b>63</b>

Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch Überschreiten der Fahrbahn und der Bevölkerungsdichte .....	53
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch falsches Fahrverhalten und der Bevölkerungsdichte.....	54
Abbildung 34: Zusammenhang zwischen Anzahl der Unfälle durch ruhenden Verkehr und der Bevölkerungsdichte .....	54
Abbildung 35: Verunglückte nach Bundesländern 2018 je 100.000 Einwohner [1].....	57
Abbildung 36: Verkehrstote nach Bundesländern 2018 je 1 Millionen Einwohner [1] ..	58

## Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalysen von Straßennetzen
FNL	Normenausschuss Lichttechnik
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GT/a	Getötete pro Jahr
HMB-Reflektoren	passiv beleuchtete Fußgängerstreifen
Kfz/ (d Rtg)	Fahrzeuge pro Tag und Richtung
RABT	Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln

# Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Verkehrsunfälle 2018,“ 2019.
- [2] H. Niemann und A. Hermann, Geschichte der Straßenverkehrssicherheit im Wechselspiel zwischen Fahrzeug, Fahrbahn und Mensch, Bielefeld: Delius&Klasing, 1999.
- [3] J. Gerlach, T. Kesting und E.-M. Thiemeyer, „Möglichkeiten der schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergische Universität Wuppertal - Abteilung Bauingenieurwesen, 2009.
- [4] ADAC, „Auf den Autobahnen droht der Kollaps,“ [Online]. Available: [https://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/Autobahn\\_Kollaps.aspx](https://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/Autobahn_Kollaps.aspx). [Zugriff am 15 09 2019].
- [5] R. Elvik, A. Høye, T. Vaa and M. Sørensen, THE HANDBOOK OF ROAD SAFETY MEASURES Second Edition, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway: Emerald Group Publishing Limited, 2009.
- [6] F. Engelmann, Fahrstreifenreduktionen an Autobahnen - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf, Hannover: Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, 2003.
- [7] N. Färber, M. Lerner und M. Pöppel-Decker, „Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2011.
- [8] J. E. Bakaba und M. Kühn, „Unfallforschung kompakt - Bekämpfung von Baumunfällen auf Landstraßen,“ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin, 2009.
- [9] W. Eichendorf, „Verkehrssicherheit an Kreuzungen und Einmündungen erhöhen - Innerorts,“ Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Bonn, 2016.
- [10] M. Gerstenberger, Unfallgeschehen an Knotenpunkten - Grundlagenuntersuchung zu Ursachen und Ansätzen zur Verbesserung durch Assistenz, München: Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München, TypeSet GmbH, 2016.
- [11] Unfallforschung der Versicherer, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., „Unfallforschung kompakt - Verkehrssicherheit innerörtlicher Kreisverkehre,“ Berlin, 2012.
- [12] W. Brilon, „Sicherheit von Kreisverkehrplätzen,“ *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, Nr. 43, pp. 23-27, 1997.
- [13] M. Doerfel, D. Bättig, H. P. Lindenmann, C. A. Huber und N. Berger,

„Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel,“ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Burgdorf, 2015.

- [14] Fördergemeinschaft Gutes Licht, „licht.wissen 03 - Straßen, Wege und Plätze,“ Druckhaus Haberbeck, Frankfurt am Main, 2013.
- [15] U. Pauen-Höppner, A. Giebel, M. Höppner und M. König, „Konzept für öffentliche Beleuchtung in Berlin - Beleuchtung und Verkehrssicherheit,“ Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr, Berlin, 2010.
- [16] H. P. Lindenmann, M. Laube und H. Burger, „Auswirkungen passivbeleuchteter Fussgängerstreifen auf die Verkehrssicherheit,“ Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) der ETH Zürich, 2003.
- [17] M. Eckert und H.-H. Meseberg, „Straßenbeleuchtung und Sicherheit - LiTG-Publikation Nr.17,“ Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e.V., Berlin, 1998.
- [18] T. Kathmann, „Detailanalyse von Schutzeinrichtungen,“ DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen, unbekannt (2013 oder später).
- [19] R. Klöckner und J. Fleisch, „Prüfung von Fahrzeurückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 131,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2007.
- [20] Bundesanstalt für Straßenwesen, „Einsatzempfehlungen für Fahrzeug-Rückhaltesysteme,“ 2019.
- [21] M. Gärtner und M. Egelhaaf, „Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeurückhaltesysteme,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2010.
- [22] A. Hegewald, A. Vesper, M. Irzik, R. Krautscheid, K. Sander, A. Lorenzen, U. Löffler, O. Ripke und F. Bommert, „Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefräßten Rüttelstreifen,“ Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG, Bergisch Gladbach, 2018.
- [23] M. Lerner und A. Hegewald, „Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2009.
- [24] C. Lank und B. Steinauer, „Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2009.
- [25] Bundesanstalt für Straßenwesen, „Sicherheit geht vor - Straßentunnel in Deutschland,“ Druckerei des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn, Bergisch Gladbach, 2017.
- [26] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Sicherheit in Straßentunneln,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/sicherheit-in->

strassentunneln.html. [Zugriff am 25 10 2019].

- [27] Bundesanstalt für Straßenwesen, „Jahresbericht 2007/2008,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2009.
- [28] C. Zulauf, P. Locher, B. Ernst, B. Steinauer, G. Mayer, U. Zimmermann, W. Baltzer, W. Riepe und P. Kündig, „Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln,“ Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bergisch Gladbach, 2009.
- [29] Polizei Bayern - Polizeipräsident München, „Geschwindigkeit,“ 20 08 2019. [Online]. Available: <https://www.polizei.bayern.de/muenchen/verkehr/studien/index.html/31494>. [Zugriff am 06 10 2019].
- [30] U. Ewert, G. Scaramuzza, S. Niemann und E. Walter, „Der Faktor Geschwindigkeit im motorisierten Strassenverkehr,“ Bubenberg Druck- und Verlags-AG, bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, 2010.
- [31] Deutscher Bundestag - Wissenschaftliche Dienste, „Fragen zu den Auswirkungen eines generellen Tempolimits,“ Deutscher Bundestag, 2007.
- [32] H.-U. Ottensmeyer, „Einfluss der Geschwindigkeit auf das Unfallgeschehen im Straßenverkehr,“ *Unfall und Fahrzeugtechnik*, p. 8, 09 09 1995.
- [33] ADAC, „Tempolimit auf Autobahnen,“ 08 10 2019. [Online]. Available: <https://www.adac.de/verkehr/positionen/tempolimit-autobahn-deutschland/>. [Zugriff am 12 10 2019].
- [34] B. Kollmus, H. Treichel und Q. Friedhelm, „Tempolimits auf Bundesautobahnen 2015 - Schlussbericht zum Arbeitsprogramm-Projekt F1100.6110020,“ Bergisch Gladbach, 2017.
- [35] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Verkehrsunfälle 2015,“ 2016.
- [36] G. Gohlisch und M. Malow, „Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen,“ Umweltbundesamt, Berlin, 1999.
- [37] Tagesschau, „Grüne wollen 130 auf Autobahnen,“ 04 10 2019. [Online]. Available: <https://www.tagesschau.de/inland/tempolimit-gruene-101.html>. [Zugriff am 16 10 2019].
- [38] W. Kockelke und J. Steinbrecher, „Fahrerverhaltensuntersuchungen zur Verkehrssicherheit im Bereich von Ortseinfahrten,“ Bundesanstalt für Straßenwesen Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, 1987.
- [39] C. Schulze und T. Gehlert, „Evaluation dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung,“ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. - Unfallforschung der Versicherer, Berlin, 2010.
- [40] I. Koßmann, „Die Bedeutung der ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachung für die Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen,“ Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2018 (online).

- [41] Deutscher Bundestag, „Geschwindigkeitsmessung im Straßenverkehr,“ Deutscher Bundestag - Wissenschaftliche Dienste, Berlin, 2008.
- [42] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, „Unfallatlas,“ [Online]. Available: <https://unfallatlas.statistikportal.de/>. [Zugriff am 17 12 2019].
- [43] esri Deutschland, „Wahlkreise 2017 mit Strukturdaten,“ [Online]. Available: <https://opendata-esri-de.opendata.arcgis.com/datasets/esri-de-content::wahlkreise-2017-mit-strukturdaten>. [Zugriff am 17 12 2019].
- [44] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Gesellschaft und Umwelt - Verkehrsunfälle,“ 2019. [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/\\_inhalt.html#sprg229230](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/_inhalt.html#sprg229230). [Zugriff am 21 11 2019].