



Graz University of Technology

**Institut für Straßen- und Verkehrswesen**

# **Einfluss von Pannenstreifen auf die Verkehrssicherheit**

## **MASTERARBEIT**

vorgelegt von

Meldijana Cehic, BSc.

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Robert Neuhold

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, am 10. Jänner 2019







Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008  
Genehmigung des Senats am 01.12.2008

### **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Meldijana Cehic, BSc.

### **Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Meldijana Cehic, BSc.

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Robert Neuhold, der durch seine fachliche Unterstützung zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen hat. Ebenso danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf für das Bereitstellen dieses des interessanten Themas der dieser Masterarbeit. Ein besseres Thema konnte hätte ich mir nicht wünschen können – herzlichsten Dank!

Ich bedanke mich auch bei meinen Freunden und Studienkollegen. Danke für die tolle Studienzeit!

Und natürlich möchte ich meiner Familie danken, insbesondere meinen Eltern und meinem Bruder, die mich während meines Studiums immer unterstützt haben. Ohne euch hätte ich das alles niemals geschafft!

Am Ende möchte ich mich auch herzlich bei meinem Freund bedanken, der mich ermutigt hat über mich hinauszuwachsen.

Institut für Straßen - und Verkehrswesen

Vorstand UnivProf. Dr.Ing. Martin Fellendorf

Rechbauerstraße 12  
A-8010 GrazTel.: +43 (0) 316 873-6221  
Fax: +43 (0) 316 873-4199  
isv@tugraz.at

DVR: 008 183 3

UID: ATU 574 77 929

**Aufgabenstellung für die Masterarbeit  
von Meldijana Cehic**

Graz, am 11.12.2017

**Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit****Problemstellung**

Die ASFINAG zählt im europäischen Vergleich zu den führenden Autobahnbetreibern. Neben dem Autobahnnetz wird von ASFINAG auch das Schnellstraßennetz in Österreich geplant, gebaut, erhalten sowie betrieben, bemaute und finanziert. Das A+S Netz umfasst in Summe etwa 2.200 Kilometer Autobahnen und Schnellstraßen, in dem die ASFINAG den Kunden eine möglichst hohe Verkehrsqualität bieten will. Dementsprechend zählt die Verkehrssicherheit zu den Schwerpunkten der ASFINAG. Laut der neuesten Analyse, welche die Europäische Kommission laufend gemeinsam mit dem KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) durchführt um die Performance der EU28-Länder (Europäische Unfalldatenbank CARE) zu beurteilen, belegt Österreich in Puncto Verkehrssicherheit Platz 9 mit einer Anzahl von 49 Getöteten pro 1 Mio. Einwohner im Jahr 2016. Das KfV stellt mit der Verkehrsunfallstatistik einen tiefen Einblick in das österreichische Unfallgeschehen bereit und liefert Informationen zur Unfallentwicklung, Unfallorten, Arten der Verkehrsbeteiligung, Unfallhäufigkeit in den Altersgruppen und zur Verwendung von Sicherheitseinrichtungen (z.B. Gurt, Kindersitz). Trotz Erfolgen in der Vergangenheit gibt es im österreichischen A+S Netz weiteres Verbesserungspotential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Pannestreifen auf Autobahnen und Schnellstraßen dienen zum sicheren Anhalten von Fahrzeugen, wenn ein technisches Gebrechen oder ein Notfall vorliegt. Jedoch kommt es auch auf Pannestreifen immer wieder zu Unfällen, bei der abgestellte Fahrzeuge, Fahrzeuginsassen oder auch Mitarbeiter des Straßenbetriebs beteiligt sind. Laut Gesetz ist der Pannestreifen, der rechts neben dem Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn befindliche Teil der Straße, wenn dieser nicht durch Bodenmarkierungen als Verzögerungs- oder Beschleunigungstreifen gekennzeichnet ist. Pannestreifen werden durch eine durchgehende Randlinie von der Richtungsfahrbahn abgegrenzt. Der Pannestreifen dient lediglich zum Anhalten havariierter Fahrzeuge, sofern die Befahrung nicht explizit durch Straßenverkehrszeichen, spezielle Bodenmarkierungen oder Anweisungen der Exekutive erlaubt ist. Einsatzfahrzeuge, Fahrzeuge des Straßendienstes, der Straßenaufsicht oder des Pannendienstes sind von diesem Verbot ausgenommen. Der Pannestreifen darf auch als "Beschleunigungstreifen" für das Wiedereinordnen in den Verkehr nach der Behebung einer Panne genutzt werden. Für die Wirkung des Pannestreifens auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit liegen in Österreich noch keine genauen Untersuchungen vor. In dieser Arbeit soll nun der Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit im ASFINAG-Netz untersucht werden.

## Aufgabenstellung

In der Arbeit sollen zur Verfügung gestellte Unfalldaten mit weiteren Informationen zum Straßennetz der ASFINAG verschmolzen werden, um neue Erkenntnisse zur sicherheitsrelevanten Wirkung von Pannestreifen zu gewinnen. Die Unfalldaten enthalten Informationen zu Unfallzeitpunkt, Unfallort, Witterungszustand, Anzahl der Fahrzeuginsassen, Verletzungsgrade, Unfalltyp und beteiligte Unfallfahrzeuge. Ziel dieser Analyse ist es Beziehungen zwischen Einzelunfällen, der Ausprägung des Pannestreifens (Breite) und der charakteristischen Eigenschaften der Straße (Längsneigung, Kurvigkeit, Verkehrsstärke, etc.) herzustellen. Damit sollen neue Erkenntnisse über den Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit in der Arbeit vorgestellt werden.

Erforderliche Datensätze (Unfalldaten, GIS-Daten und Netze) werden zur Verfügung gestellt, eine Bearbeitung der GIS-Daten wird von der Diplomandin vorausgesetzt.

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Masterarbeit. Abweichungen sind mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung möglich:

- Umfassende nationale und internationale Literaturrecherche zum Thema Pannestreifen und Verkehrssicherheit
- Interview mit ausgewählten Experten aus Forschung sowie ASFINAG intern zur Abfrage der Erfahrungen über Wirkung von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit
- Identifikation der Einzelunfälle auf Pannestreifen durch Auswertung der Unfalldaten
- Zusammenspielen der unterschiedlichen Geodaten (GIS-Datensätze zum ASFINAGNetz mit Informationen zu Geometrie, Geschwindigkeiten, Verkehrsstärken, Längsneigungen, Kurvigkeit, Pannestreifenbreiten, etc.)
- Analyse der Einzelunfälle in Bezug auf die folgenden Elemente:
  - Ausprägung des Pannestreifens: klassenfeine Unterscheidung der Pannestreifen wie z.B. nicht vorhanden, schmal, normalbreit, überbreit
  - Charakteristischen Straßeneigenschaften: Längsneigung, Kurvigkeit, Verkehrsstärke, zulässige Geschwindigkeit, Lage (städtisches oder ländliches Gebiet), Querschnitt (freie Strecke, Tunnel, Brücke)
- Zusammenfassende Beurteilung der Abhängigkeiten zwischen Pannestreifen und Verkehrssicherheit und Vergleich mit internationalen Studien um die Wirkung von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit darzulegen

Die Diplomandin verpflichtet sich, alle überlassenen projektrelevanten Daten ausschließlich zur Anfertigung der Masterarbeit zu verwenden.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Text der Masterarbeit, Präsentationen sowie allen Analysedaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf  
Tel. 0316 873 6220  
martin.fellendorf@tugraz.at  
Betreuer

Dipl.-Ing. Robert Neuhold  
Tel. 0316 873 6724  
robert.neuhold@tugraz.at  
Mitbetreuender Assistent



## Kurzfassung

Im Laufe dieses Projektes soll die Beziehung zwischen den Unfallkenngrößen, der Ausprägung (Breite) des Pannestreifens und den charakteristischen Eigenschaften der Straße detailliert untersucht werden. Durch diese Analyse sollen in dieser Arbeit neue Erkenntnisse über den Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit vorgestellt werden.

Durch eine umfangreiche internationale Literaturrecherche mit Fokus auf Pannestreifen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit wurden bisherige Erkenntnisse über Pannestreifen und deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit gesammelt und analysiert, damit sie mit den in dieser Arbeit neugewonnenen Erkenntnissen verglichen werden können. Die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigten, dass das Vorhandensein von Pannestreifen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat, sein Fehlen durch einige Maßnahmen allerdings auch kompensiert werden kann. Die Analyse zeigte auch, dass ab einer gewissen Ausprägung des Pannestreifens eine gegenteilige Auswirkung auf die Verkehrssicherheit auftritt.

Parallel zur Literaturrecherche wurden die Daten für die Berechnung von Unfallkenngrößen (Unfallhäufigkeit, Unfallrate und Unfallkostenrate) vorbereitet. Die Fusion der Unfalldaten mit den Streckendaten erfolgte in der Software GIS. Durch diese Fusion wurden die für die Berechnung von Unfallkenngrößen erforderlichen Variablen aufbereitet. Anschließend wurden die Unfallkenngrößen berechnet und für die weiteren Untersuchungen bereitgestellt. Nach der Berechnung der Unfallkenngrößen erfolgte eine netzweite Sicherheitsanalyse.

Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen der Breite von Pannestreifen (in sieben Klassen gruppiert) und den Unfallkenngrößen untersucht. Die Unfallzahlen wurden bezogen auf die Streckenlänge jeder Pannestreifenbreitenklasse miteinander verglichen. Strecken ohne Pannestreifen und Strecken mit sehr schmalen Pannestreifen, so zeigte sich, weisen nicht die höchste Anzahl an Unfällen pro Streckenkilometer auf. Unfallhäufigkeit und Unfallkostenrate sind auf solchen Strecken jedoch sehr wohl höher.

Danach wurde der Einfluss von Streckeneigenschaften auf die einzelnen Unfallkenngrößen durch eine Korrelations- und Varianzanalyse in der Software MATLAB untersucht. Die Korrelationsanalyse hat einen Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und einigen Unfallkenngrößen feststellen können. Es wurde auch eine Korrelationsanalyse für jede Pannestreifenbreitenklasse durchgeführt, sodass sichtbar wurde, wie sich die einzelnen Pannestreifenbreitenklassen auf die Unfallkenngrößen auswirken. Für diese Analyse wurden die Pannestreifenbreiten neu gruppiert. Diese Korrelationsanalyse zeigte, dass es einen Zusammenhang zwischen schmalen bzw. normalbreiten Pannestreifen und konkreten Unfallkenngrößen gibt. Durch eine Varianzanalyse wurde der Einfluss von streckenspezifischen Eigenschaften auf die Unfallkenngrößen untersucht. Laut der Ergebnisse der Varianzanalyse weisen einige Streckeneigenschaften einen signifikanten Einfluss auf die Unfallkenngrößen auf. Um feinere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wurde eine Detailanalyse einzelner Strecken durchgeführt. Diese Detailanalyse hat gezeigt, dass einige streckenspezifische Eigenschaften einen wesentlichen Einfluss auf die Unfallkenngrößen haben. Unter anderem wurde festgestellt, dass sich das Vorhandensein einer Mitteltrennung auf Abschnitten ohne Pannestreifen positiv auf die Unfallschwere auswirkt.

Am Ende wurden die Resultate dieser Arbeit mit den Daten aus der Literatur verglichen. Durch diese Vergleiche wurden signifikante neue Erkenntnisse über Auswirkung der Pannestreifenbreite auf die Verkehrssicherheit gewonnen.



## Abstract

This project examines the relationship between accident parameters, the characteristics of hard shoulders (in particular in terms of width) and the characteristic properties of the road. The analysis carried out in this paper should present new insights into the impact of hard shoulders on traffic safety.

In a first step, extensive international literature research with a focus on hard shoulders and their safety effects was carried out. This was done to collect and analyse existing findings about hard shoulders and their impact on traffic safety, which could later be compared with the findings gained in the present work. The results of the literature research showed that the presence of hard shoulders has a positive influence on traffic safety. Their absence, however, can be compensated by some measures. The analysis also showed that hard shoulders exceeding a certain width have a reverse effect on traffic safety.

Simultaneously to the literature research, some data for the calculation of accident parameters (accident frequency, accident rate and accident cost rate) were prepared. The accident data was then merged with the route data in GIS software, so that the required variables for the calculation of accident parameters were gained. Subsequently, the accident parameters were calculated and made available for further researches. After the calculation of accident parameters, a network-wide safety analysis was carried out.

First, the relationship between hard shoulder widths (grouped into seven categories) and accident parameters was examined. The accident rates were compared with each other, differentiated by hard shoulder width category. It could be seen that routes without hard shoulders and routes with very narrow hard shoulders did not show the highest number of accidents per kilometre. But they did show higher accident frequency and higher accident cost rates.

The impact of road characteristics on the accident parameters was then examined by means of a correlation and variance analysis in MATLAB software. The correlation analysis established a relationship between hard shoulder widths and some accident parameters. A correlation analysis was also performed for each hard shoulder width category so as to make visible in what way the individual hard shoulder width categories affect the accident parameters. For this analysis, different hard shoulder width categories were established. This correlation analysis showed that there is a correlation between narrow and normal wide hard shoulders and specific accident parameters. A variance analysis was then used to investigate the impact of road-specific properties on the accident parameters. According to the results of this variance analysis, some road properties have a significant impact on the characteristics of accidents.

To obtain more exact and meaningful results, a detailed analysis of individual road sections was carried out. This detailed analysis also showed that some section-specific properties have a significant impact on the accident characteristics. Among other things, it was determined that the presence of central dividing strips on sections without hard shoulder has a positive effect on the severity of the accident.

In the end, the results of this work were compared with data from the literature used. These comparisons provided new significant insights into the impact of hard shoulders on road safety.





# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>ii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1 Problemstellung.....	9
1.2 Ziel der Arbeit .....	9
1.3 Methodische Vorgehensweise dieser Arbeit .....	10
<b>2 Literaturanalyse .....</b>	<b>13</b>
2.1 Pannestreifen als Querschnittselement.....	13
2.1.1 Studie des DRIVE-Programms der Europäischen Union.....	13
2.1.2 Pannestreifenbreiten laut österreichischen RVS .....	14
2.1.3 Pannestreifenbreiten laut deutschen RAA .....	15
2.1.4 Pannestreifenbreiten laut niederländischen ROA .....	18
2.2 Einfluss von Pannestreifen auf den Verkehr .....	20
2.2.1 Einfluss der Pannestreifenfreigabe auf Verkehrsfluss und -sicherheit.....	21
2.2.2 Einfluss der Pannestreifenbreite auf die Verkehrssicherheit .....	26
2.2.3 Einfluss von Pannestreifen auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer .....	34
2.3 Unfallkenngrößen.....	43
2.4 Fazit .....	45
<b>3 Interviews mit Straßenmeistern.....</b>	<b>52</b>
3.1 Interview: Autobahnmeisterei Warth .....	53
3.2 Interview: Autobahnmeisterei Eisenstadt.....	57
3.3 Interview: Autobahnmeisterei Lebring .....	59
3.4 Interview: Autobahnmeisterei Ilz-Fürstenfeld .....	61
3.5 Interview: Autobahnmeisterei Wolfsberg.....	63
3.6 Fazit .....	66
<b>4 Datengrundlage.....</b>	<b>68</b>
4.1 Unfalldaten .....	68
4.2 ASFINAG-Netzdaten.....	70
4.3 Vorgehensweise bei der Berechnung von Unfallkenngrößen.....	71
4.4 Identifikation der Einzelunfälle auf Pannestreifen.....	72
<b>5 Netzweite Sicherheitsanalyse .....</b>	<b>79</b>

5.1	Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreiten und Unfallkenngrößen .....	79
5.2	Korrelationsanalyse .....	82
5.3	Varianzanalyse (ANOVA) .....	90
5.4	Detailanalyse .....	95
5.4.1	Vergleich 1: Abschnitt 8 vs. Abschnitt 9 .....	97
5.4.2	Vergleich 2: Abschnitt 15 vs. Abschnitt 16 .....	98
5.4.3	Vergleich 3: Abschnitt 15 vs. Abschnitt 17 .....	99
5.4.4	Vergleich 4: Abschnitt 16 vs. Abschnitt 17 .....	100
5.4.5	Vergleich 5: S3 vs. S31 mit dem Fokus auf Mitteltrennung .....	101
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>103</b>
6.1	Zusammenfassung .....	103
6.2	Resultate .....	107
6.3	Ausblick .....	109
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>111</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>113</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Flussdiagramm zur Masterarbeit „Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit“ .....	10
Abbildung 2:	Verkehrsführung 4+0 bei 2-streifigen Richtungsfahrbahnen von Straßen mit baulicher Richtungstrennung und Pannestreifen nach RVS 03.03.31 (s. [1]) .....	15
Abbildung 3:	Regelquerschnitte der Fernautobahn (EKA 1) nach RAA (s. [2]) .....	16
Abbildung 4:	Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und der Wahl des Querschnitts bei der EKA 1 nach RAA (s. [2]) .....	17
Abbildung 5:	Regelquerschnitt autobahnähnlicher Straßen (EKA 2) nach RAA (s. [2]) .....	17
Abbildung 6:	Regelquerschnitte der Stadtautobahn (EKA 3) nach RAA (s. [2]) .....	17
Abbildung 7:	Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Wahl des Querschnitts bei der EKA 3 nach RAA (s. [2]) .....	18
Abbildung 8:	Querschnittselemente eines Straßenquerschnitts nach ROA (s. [3]) .....	19
Abbildung 9:	Autobahnquerschnitt, auf dem die Studie basiert (s. [9]) .....	21
Abbildung 10:	Autobahnstrecke, auf der die Fallstudie basiert (s. [9]) .....	22
Abbildung 11:	Erwartete durchschnittliche Unfallhäufigkeit: Ohne Pannestreifenfreigabe, 2 Fahrstreifen pro Richtung (links) und mit Pannestreifenfreigabe, 3 Fahrstreifen pro Richtung (rechts). Autobahnabschnitt „Trient Nord – Trient Zentrum“ (s. [9]) .....	23
Abbildung 12:	Prozentuale Abweichung bei erwarteten Unfallhäufigkeiten in zwei untersuchten Fällen (mit und ohne Pannestreifenfreigabe) (s. [9]) .....	23
Abbildung 13:	Unfallhäufungsstelle, die in den Simulationen verwendet wurde (s. [8]) .....	30
Abbildung 14:	Screenshots der unterschiedlichen Pannestreifenbreiten mit und ohne Leitplanke während der Fahrt im Fahrsimulator (s. [14]) .....	35
Abbildung 15:	Die Auswirkung der Pannestreifenbreite und des Vorhandenseins der Leitplanke auf die tatsächliche Durchschnittsgeschwindigkeit (links) und die Auswirkung der Pannestreifenbreite und des Vorhandenseins der Leitplanke auf die durchschnittliche als sicher empfundene Geschwindigkeit (rechts) (s. [14]) .....	37
Abbildung 16:	Beschreibung der Spurposition eines Wagens (s. [14]) .....	39
Abbildung 17:	Auswirkung von Pannestreifenbreite und Vorhandensein der Leitplanke auf die mittlere Fahrspurposition (links) und Auswirkung von Straßengeometrie und Leitplankenvorhandensein auf die Standardabweichung der Spurposition (rechts) (s. [14]) .....	40
Abbildung 18:	Auswirkungen von Pannestreifenbreite und Leitplankenvorhandensein auf die Standardabweichung der Spurposition auf geraden Straßen (s. [14]) .....	41
Abbildung 19:	Abstand zur Straßenmitte als Funktion zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsbedingung (links) und Abstand zur Fahrstreifenmitte als Funktion zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsbedingung (rechts) (s. [15]) .....	43
Abbildung 20:	Zuständigkeitsgebiet der AM Warth .....	54
Abbildung 21:	Autobahn A2 im Bereich der Landesgrenze Niederösterreich-Steiermark (Wechselgebiet) mit schmalen Pannestreifen .....	54
Abbildung 22:	Autobahn A2 im Bereich der Anschlussstelle Schöffern mit normalbreiten Pannestreifen .....	55
Abbildung 23:	Zuständigkeitsgebiet der AM-Eisenstadt .....	57



Abbildung 24: Vergleich zwischen Anzahl aller Unfälle und Anzahl der Pannestreifenunfälle (2012–2016) im Zuständigkeitsgebiet der AM Eisenstadt.....	58
Abbildung 25: Zuständigkeitsgebiet der AM Lebring.....	59
Abbildung 26: Autobahn A9 bei winterlichen Fahrverhältnissen im Bereich der Anschlussstelle Wildon mit normalbreiten Pannestreifen .....	59
Abbildung 27: Autobahn A9 im Bereich der Anschlussstelle Wundschuh mit normalbreiten Pannestreifen und seitlicher Lärmschutzwand .....	60
Abbildung 28: Zuständigkeitsgebiet der AM Ilz-Fürstenfeld.....	61
Abbildung 29: Autobahn A2 Fahrtrichtung Graz im Bereich der Raststation Arnwiesen, Steigungsstrecke mit drei Fahrstreifen ohne Pannestreifen.....	62
Abbildung 30: Zuständigkeitsgebiet der AM Wolfsberg .....	63
Abbildung 31: Autobahn A2 Fahrtrichtung Klagenfurt im Packsattelbereich, Strecke mit zwei Fahrstreifen und Pannestreifen.....	64
Abbildung 32: Unfälle in den Jahren 2012 bis 2016 im Betrachtungsgebiet.....	65
Abbildung 33: Brücke G21 auf der Autobahn A2 Nähe der Anschlussstelle St. Andrä.....	65
Abbildung 34: Graphische Darstellung der Unfälle im ASFINAG-Netz.....	71
Abbildung 35: Anzahl der Unfälle pro Pannestreifenbreitenklasse im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016 .....	79
Abbildung 36: Anzahl der Unfälle im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016.....	80
Abbildung 37: Unfallhäufigkeit (UH) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016 .....	81
Abbildung 38: Unfallrate (UR) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016 .....	81
Abbildung 39: Unfallkostenrate (KR) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016.....	82
Abbildung 40: Gliederung der Korrelation (19) .....	82
Abbildung 41: Ein einfaches Streudiagramm (24).....	83
Abbildung 42: Zur Herleitung des Korrelationskoeffizienten (19).....	85
Abbildung 43: Richtung und Stärke eines linearen Zusammenhangs (24) .....	88
Abbildung 44: Grenzfälle exakter linearer Zusammenhänge (24).....	89
Abbildung 45: Formen der Unkorreliertheit zweier Merkmale (24).....	89

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Pannestreifenbreiten der Kategorie 1, 2 und 3 in untersuchten Ländern (s. [11]) ...	14
Tabelle 2:	Standardbreite der Pannestreifen in den Niederlanden (s. [3]).....	20
Tabelle 3:	Unfallreduktion in Folge einer Erhöhung der notwendigen Straßenrandbreite, um ein außer Kontrolle geratenes Fahrzeug sicher zu bergen (s. [10]) .....	32
Tabelle 4:	Durchschnittliche Anzahl der Unfälle mit Einzelfahrzeuge pro 100 Mio. Fahrzeugmeilen ünach Fahrstreifenbreite, Pannestreifenbreite und durchschnittlicher Straßenrandbreite, gemessen vom äußeren Rand des Pannestreifens auf Landstraßen (s. [10]) .....	33
Tabelle 5:	Durchschnitt und Standardabweichung von Geschwindigkeit und Spurposition für jede Kombination aus Pannestreifenbreite, Leitplankenvorhandensein und Fahrbahngeometrie (s. [14]).....	36
Tabelle 6:	Durchschnitt und Standardabweichungen der bewerteten Verkehrssicherheit für jede Kombination von Pannestreifenbreite, Vorhandensein der Leitplanke und Fahrbahngeometrie (s. [14]).....	38
Tabelle 7:	Entwicklung der Unfallkosten für jeden Verletzungsgrad durch die Jahre (s. [18]) ....	45
Tabelle 8:	Händisch berechnete Unfallkosten mittels lineare Interpolation .....	45
Tabelle 9:	Informationen zu den befragten Autobahnmeistern .....	53
Tabelle 10:	Unfälle auf den ausgewählten Autobahnen.....	73
Tabelle 11:	Unfallanzahl in Abhängigkeit vom Streckenzustand .....	74
Tabelle 12:	Anzahl der Unfälle pro Jahr .....	74
Tabelle 13:	Anzahl der Unfälle nach Jahreszeit.....	75
Tabelle 14:	Anzahl der Unfälle nach Uhrzeit .....	75
Tabelle 15:	Anzahl der Unfälle nach Tageszeit.....	76
Tabelle 16:	Häufigste Ursachen von Gesamt- und Pannestreifenunfällen .....	76
Tabelle 17:	Häufigste Unfalltypen bei den Gesamt- und bei den Pannestreifenunfällen .....	77
Tabelle 18:	Anzahl der Unfallteilnehmer nach der Verletzungsgrad .....	77
Tabelle 19:	Tabelle für die Wahl des entsprechenden Korrelationskoeffizienten.....	86
Tabelle 20:	Allgemeiner Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen .....	87
Tabelle 21:	Korrelation nach Pannesteifenbreitenklasse .....	87
Tabelle 22:	Korrelation nach Pannesteifenbreitenklasse .....	87
Tabelle 23:	Symbolisierung der Irrtumswahrscheinlichkeit p (25).....	89
Tabelle 24:	Varianten von Varianzanalyse (22).....	90
Tabelle 25:	Typen von Varianzanalyse (21).....	91
Tabelle 26:	Ergebnistabelle einer einfachen Varianzanalyse (23).....	93
Tabelle 27:	Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallhäufigkeit .....	94
Tabelle 28:	Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallrate.....	95
Tabelle 29:	Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallkostenrate.....	95
Tabelle 30:	Festgelegte Detailabschnitte .....	96

Tabelle 31:	Vergleich der Unfalltypen auf den Abschnitten 8 und 9 .....	97
Tabelle 32:	Vergleich der Unfallursachen auf den Abschnitten 8 und 9 .....	97
Tabelle 33:	Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 16.....	98
Tabelle 34:	Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 17.....	99
Tabelle 35:	Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 17.....	100
Tabelle 36:	Vergleich S3 vs. S31 .....	102

## Abkürzungen

AGR	European Agreement on Main International Traffic Arteries
AM	Autobahnmeisterei
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
BAB	Bundesautobahn
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EKA 1	Entwurfsklasse 1 der deutschen Autobahnen
EKA 2	Entwurfsklasse 2 der deutschen Autobahnen
EKA 3	Entwurfsklasse 3 der deutschen Autobahnen
JDTV	Jahresdurchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
KFV	Kuratorium für Verkehrssicherheit
KR	Kostenrate
RAA	Richtlinie für die Anlage von Autobahnen
ROA	Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen
RQ	Regelquerschnitt
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
UH	Unfallhäufigkeit
UPS	Unfälle mit Personenschaden
UR	Unfallkostenrate
USS	Unfälle mit Sachschaden

# 1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Problem- und die Aufgabenstellung sowie die Methodik dieser Masterarbeit ausführlich vorgestellt.

## 1.1 Problemstellung

Das 2 200 Kilometer lange Autobahn- und Schnellstraßennetz in Österreich wurde von der ASFINAG geplant, gebaut, erhalten sowie betrieben, bemautet und finanziert. Dadurch zählt die ASFINAG im europäischen Vergleich zu den führenden Autobahnbetreibern; einen ihrer Schwerpunkte bildet die Verkehrssicherheit. Laut neusten Studien, welche die Europäische Kommission laufend gemeinsam mit dem KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) durchführt, um die Performance der EU28-Länder (Europäische Unfalldatenbank CARE) zu beurteilen, belegt Österreich in Puncto Verkehrssicherheit mit einer Anzahl von 49 Getöteten pro einer Million Einwohner im Jahr 2016 Platz neun. Obwohl dieser neunte Platz ein Zeichen für die starke Verbesserung der Verkehrssicherheit in Österreich ist, ist eines der Ziele der ASFINAG, ihren Kunden bis 2020 die sichersten Autobahnen und Schnellstraßen Europas anzubieten. Um dieses Ziel zu erreichen, soll nun unter anderem auch der Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit im ASFINAG-Netz untersucht werden.

Der Pannestreifen ist in Österreich ein Standardteil des Straßenquerschnitts. Laut Gesetz dienen Pannestreifen auf Autobahnen und Schnellstraßen zum sicheren Anhalten von Fahrzeugen, wenn ein technisches Gebrechen oder ein Notfall vorliegt. Jedoch kommt es auch auf Pannestreifen immer wieder zu Unfällen, an denen abgestellte Fahrzeuge, Fahrzeuginsassen oder auch Mitarbeiter des Straßenbetriebs beteiligt sind. Laut Gesetz ist der Pannestreifen der rechts neben dem Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn befindliche Teil der Straße, wenn dieser nicht durch Bodenmarkierungen als Verzögerungs- oder Beschleunigungsstreifen gekennzeichnet ist. Pannestreifen werden durch eine durchgehende Randlinie von der Richtungsfahrbahn abgegrenzt. Der Pannestreifen dient lediglich zum Anhalten havariierter Fahrzeuge, sofern die Befahrung nicht explizit durch Straßenverkehrszeichen, spezielle Bodenmarkierungen oder Anweisungen der Exekutive erlaubt ist. Einsatzfahrzeuge, Fahrzeuge des Straßendienstes, der Straßenaufsicht oder des Pannendienstes sind von diesem Verbot ausgenommen. Der Pannestreifen darf auch als "Beschleunigungsstreifen" für das Wiedereinordnen in den Verkehr nach der Behebung einer Panne genutzt werden.

Für die Wirkung des Pannestreifens auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit liegen jedoch für Österreich noch keine genauen Untersuchungen vor. Durch die Durchführung einer ausführlichen Analyse zum Zusammenhang zwischen Unfallkenngrößen und der Ausprägung des Pannestreifens sollte diese Masterarbeit neue Erkenntnisse über die Wirkung des Pannestreifens auf die Verkehrssicherheit in Österreich liefern.

## 1.2 Ziel der Arbeit

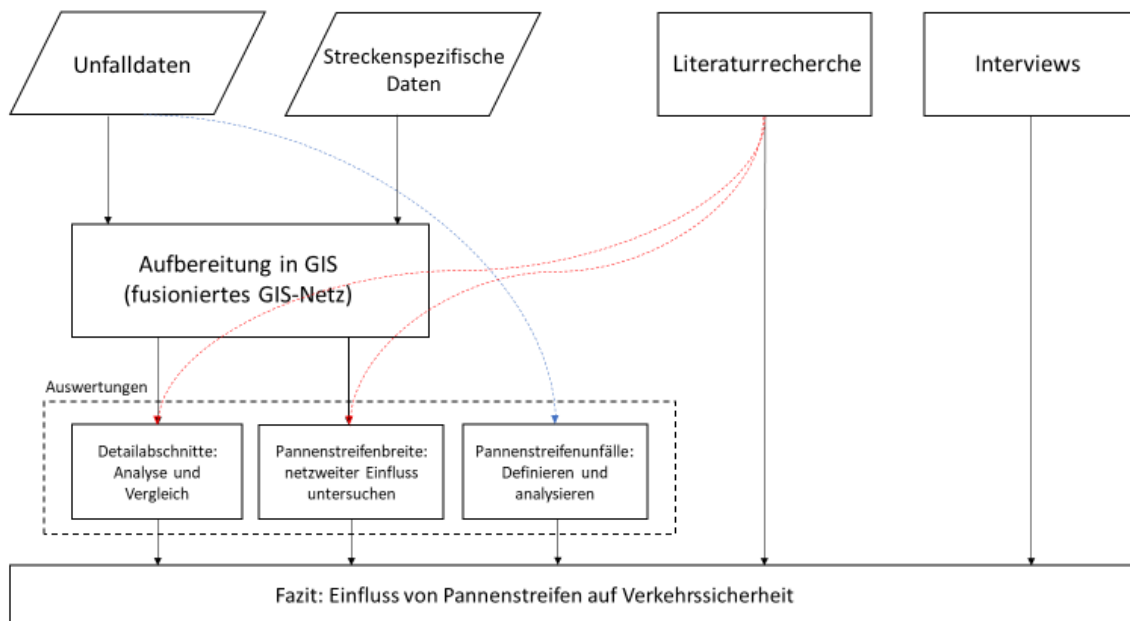
Um neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Pannestreifen und Unfallkenngrößen zu gewinnen, sollten in dieser Arbeit Unfalldaten mit spezifischen Informationen zum Straßennetz der ASFINAG verschmolzen werden.

Die für diese Arbeit von der ASFINAG zur Verfügung gestellten Unfalldaten enthalten Informationen zu Unfallzeitpunkt, Unfallort, Witterungszustand, Anzahl der Fahrzeuginsassen, Verletzungsgrad, Unfalltyp und beteiligten Unfallfahrzeugen. Zur Verfügung gestellt wurden auch streckenspezifische

Daten (Längsneigung, Kurvigkeit, Verkehrsstärke etc.). Anhand dieser Datensätze sollten die Unfallkenngrößen berechnet werden.

Weiters sollte die Beziehung zwischen den Unfallkenngrößen, der Ausprägung (Breite) des Pannestreifens und den charakteristischen Eigenschaften der Straße auf Detailabschnitten untersucht werden. Durch diese Analyse sollten in dieser Arbeit neue Erkenntnisse über den Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit gewonnen werden.

### 1.3 Methodische Vorgehensweise dieser Arbeit



**Abbildung 1: Flussdiagramm zur Masterarbeit „Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit“**

Eine umfangreiche internationale Literaturrecherche mit dem Fokus auf Pannestreifen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit kann als erster Baustein dieser Arbeit bezeichnet werden. Ziel dieser Recherche war es, die bisherigen Erkenntnisse über Pannestreifen und deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu sammeln und untersuchen, damit sie mit den in dieser Arbeit neugewonnenen Erkenntnissen verglichen werden können. (Siehe Kapitel 2)

Um Nutzen und Wirkung von Pannestreifen sowie deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus der Sicht des Straßenbetriebs zu eruieren, wurden Interviews mit verschiedenen Autobahnmeistern durchgeführt. Ein persönliches Interview ist eine geeignete Methode zu erfragen, wie auf bestimmten Strecken der tägliche Straßenbetriebsdienst abläuft und inwiefern das Vorhandensein und die Ausprägung des Pannestreifens einen Einfluss auf den Straßenbetriebsdienst haben. Für die Interviews wurden fünf Autobahnmeister nach den streckenspezifischen Eigenschaften der von ihnen zu betreuenden Abschnitte ausgewählt. Dabei sollten sich die Abschnitte in Bezug auf Längsneigung, Kurvigkeit, Verkehrsstärke und die Ausprägung des Pannestreifens als wichtigstes Kriterium unterscheiden (nicht vorhanden, schmal, normalbreit, überbreit). Die Fragen in den Interviews wurden in drei Gruppen gegliedert. Die erste Gruppe umfasst Fragen bezüglich des Betrachtungsgebietes (Einzugsgebiet) der Autobahnmeisterei. Während in der zweiten Gruppe Fragen über die Nutzung von

Pannestreifen konzentriert sind, beinhaltet die dritte Gruppe Fragen über Unfälle auf Pannestreifen (Verkehrssicherheit). (Siehe Kapitel 3)

Parallel zur Literaturrecherche erfolgte auch die Datenaufbereitung. Für die Durchführung dieses Projektes wurden entsprechende Unfalldaten zur Verfügung gestellt. Diese Unfalldaten beinhalten Informationen über Unfallereignisse, wie z. B. Koordinaten, Zeitpunkt, Ort oder Unfallteilnehmer, im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016. Diese Informationen wurden in Form einer Excel-Tabelle bereitgestellt. (Siehe Kapitel 4)

Wie schon erwähnt wurde, sollten in dieser Arbeit zur Verfügung gestellte Unfalldaten mit weiteren Informationen zum Straßennetz der ASFINAG verschmolzen werden, um neue Erkenntnisse über dem Zusammenhang zwischen Pannestreifen und Unfallkenngrößen zu gewinnen. Unter streckenspezifischen Daten werden z. B. die Längsneigung, die Kurvigkeit, die Anzahl der Fahrstreifen oder die DTV des ASFINAG-Netzes verstanden. (Siehe Kapitel 4)

Die Fusion der Unfalldaten mit den Streckendaten erfolgte in GIS. Die Unfälle wurden anhand ihrer Koordinaten in GIS eingespielt. Da im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, einen Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen herzustellen, mussten die Streckeninformationen bzw. das ASFINAG-Netz selbst für die Bestimmung von Unfallkenngrößen (Unfallhäufigkeit, Unfallrate und Unfallkostenrate) aufbereitet werden. Laut RVS 02.02.21 (17) werden die Unfallkenngrößen für maximal 250 m lange Abschnitte berechnet. Aus diesem Grund wurde das Netz in maximal 250 m lange Abschnitte gegliedert. Jedem Abschnitt wurden die ihm entsprechenden Unfälle (d. h. jene Unfälle, die auf ihm passierten) zugeordnet. Alle Informationen über Unfälle wurden auf die Netzabschnitte übertragen. Bei der Fusion wurden demnach jedem dieser Abschnitte die Anzahl der Unfälle, die auf ihm stattgefunden haben, die Anzahl und Art der teilnehmenden Fahrzeuge sowie die Anzahl der Unfallteilnehmer und der Grad deren Verletzungen zugeordnet. Durch diese Fusion wurden die für die Berechnung von Unfallkenngrößen erforderlichen Variablen vorbereitet. Anschließend wurden die Unfallkenngrößen berechnet und für die weiteren Untersuchungen bereitgestellt. (Siehe Kapitel 4)

Nach der Datenaufbereitung und dem Fusionieren der Unfall- mit den Netzdaten konnte mit der Analyse der Daten begonnen werden. Die erste Analyse umfasste die Unfälle, zu denen es auf den jeweiligen Pannestreifen kam. Ziel dieser Analyse war es, die Anzahl dieser Unfälle sowie deren Bedeutung für dieses Projekt zu bestimmen. Am Anfang war noch nicht sicher, ob man sich nur auf die Pannestreifenunfälle oder nicht doch auf alle Unfälle konzentrieren soll. Die Pannestreifenunfälle wurden mit den Gesamtunfällen verglichen und der Unterschied zwischen den beiden Gruppen detailliert untersucht.

Da die Pannestreifenunfälle nur 2,01 % der Gesamtunfälle darstellen, es keine einheitliche Erfassung der Unfalldaten gab und auch diese Unfälle nicht mit einer hundertprozentigen Sicherheit den Pannestreifenunfällen zugeordnet werden konnten, wurde für die weiteren Analysen in diesem Projekt die Unfälle gesamt herangezogen. (Siehe Kapitel 4)

Nach dem in Kapitel 4 festgelegt wurde, dass für die weiteren Analysen in dieser Arbeit die Unfälle gesamt herangezogen werden, konnte man mit der netzweiten Sicherheitsanalyse anfangen. Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen untersucht. Danach wurde der Einfluss von Streckeneigenschaften auf die einzelnen Unfallkenngrößen durch eine Korrelations- und Varianzanalyse untersucht. Die Ergebnisse dieser Vergleiche und Untersuchungen sind Kapitel 6 zu entnehmen.

Um feinere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wurde eine Detailanalyse einzelner Strecken durchgeführt. Nach langer Überlegung und Berücksichtigung aller Einflussfaktoren wurden für die

Detailanalyse 19 Abschnitte festgelegt. Unfallkenngrößen sowie Unfallursachen und Unfalltypen wurden je Abschnitt analysiert und die Abschnitte anschließend miteinander verglichen. (Siehe Kapitel 5)

In Kapitel 6 werden alle in dieser Arbeit neugewonnen Erkenntnisse zusammengefasst und mit dem durch die Literaturrecherche und in Interviews gesammelten Material verglichen.



## 2 Literaturanalyse

Da sich diese Arbeit mit der Auswirkung von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit befasst, war zunächst eine umfassende nationale und internationale Literaturrecherche zum Thema Pannestreifen und Verkehrssicherheit erforderlich. Die Ergebnisse dieser Recherche werden im Laufe dieses Kapitels vorgestellt.

### 2.1 Pannestreifen als Querschnittselement

Da Autobahnen durch eine hohe Verkehrsstärke geprägt sind und hohe Geschwindigkeiten zu gewährleisten haben, müssen sie eine entsprechende Verkehrssicherheit aufweisen. Das Verkehrssicherheitsniveau sowie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer werden durch die Entwurfs- und Betriebsmerkmale der Autobahnen stark beeinflusst. (s. [2])

Aus diesen Gründen sollen Autobahnen so geplant und entworfen werden, dass (s. [2]):

- sie auf weiten Streckenteilen möglichst gleiche Streckeneigenschaften aufweisen,
- die Geschwindigkeit dem Straßenverlauf und der Verkehrssituation rechtzeitig angepasst werden kann,
- die rechtzeitige Erkennung der Knotenpunkte gewährleistet werden kann,
- bei einem Unfall nicht nur die Unfallteilnehmer, sondern auch die Lebensräume neben der Straße vor schweren Unfallfolgen abgesichert werden können,
- außerhalb der Fahrbahn die Möglichkeit zu Nothalten besteht,
- *es über Notrufsäulen gewährleistet ist, Hilfe anzufordern.*

Der Regelquerschnitt besteht aus einzelnen Querschnittselementen. Räumliche Funktion, verkehrliche Funktion (Geschwindigkeit, Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung sowie Verkehrsorganisation), Verkehrssicherheit, Umweltauswirkungen, Umfeld- und Gestaltungsfunktion sowie betriebliche Erfordernisse haben einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung eines Straßenquerschnittes. (s. [1])

In diesem Kapitel werden bestehende Straßenquerschnitte in Österreich, Deutschland und den Niederlanden näher analysiert. Welches nationale Regelwerk (Österreich, Deutschland, Niederlande) auch immer betrachtet wird, der Pannestreifen ist im Regelfall ein Standardelement eines Autobahnquerschnittes. Im Folgenden wird eine Studie vorgestellt, die Informationen über Querschnittsabmessungen in fünfzehn europäischen Ländern liefert. Weiters werden nationale Regelwerke aus Österreich, Deutschland und den Niederlanden vorgestellt, welche die Abmessungen der Straßenquerschnitte mit Fokus auf Ausprägung und Nutzung von Pannestreifen definieren.

#### 2.1.1 Studie des DRIVE-Programms der Europäischen Union

Die Arbeit von Schoon [11] basierte auf einer Studie der Europäischen Union. Im Zuge des DRIVE-Programms der Europäischen Union sammelten O'Conneide et al. Daten über Querschnittsabmessungen (Mittelstreifen-, Pannestreifen- und Bankettbreiten) in fünfzehn europäischen Ländern (Deutschland, Dänemark, Finnland, Frankreich, Island, Irland, Italien, Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Vereinigtes Königreich und Österreich). In dieser Studie wurden die Straßen in folgende drei Kategorien gruppiert (s. [11]):

- Kategorie 1: Autobahn mit Mitteltrennung außerhalb von Ballungsräumen
- Kategorie 2: Autobahnähnliche Straße mit Mitteltrennung
- Kategorie 3: Ländliche Hauptverkehrsstraße ohne Mitteltrennung

Wenn es um die Pannestreifenbreiten der ersten Straßenkategorie in dieser Studie geht, kann festgestellt werden, dass die Breitenklassen von 2,50 bis 2,90 m und von 3,00 bis 3,40 m in den untersuchten Ländern sehr stark vertreten sind. (s. [11])

Bei der Analyse der Straßenkategorie 2 wurde festgestellt, dass die Straßenquerschnitte dieser Kategorie in drei Ländern keine Pannestreifen aufweisen. In den anderen Ländern variiert die Breite der Pannestreifen zwischen Pkw-Breiten und Pannestreifenbreiten auf den Autobahnen. (s. [11])

In der dritten Kategorie wird nicht zwischen inneren Seitenstreifen und Pannestreifen unterschieden. Ein Land stellte keine Daten für diese Kategorie zur Verfügung. (s. [11])

**Tabelle 1: Pannestreifenbreiten der Kategorie 1, 2 und 3 in untersuchten Ländern (s. [11])**

Kategorie 1		Kategorie 2		Kategorie 3	
Breite (m)	Häufigkeit	Breite (m)	Häufigkeit	Breite (m)	Häufigkeit
1,5–2,4	1	0–1,0	3	0–0,9	4
2,5–2,9	5	1,75–2,4	2	1,0–1,9	6
3,0–3,4	7	2,5–2,9	2	2,0–2,9	4
≥ 3,5	2	3,0–3,5	2	-	-
keine Daten	0	keine Daten	6	keine Daten	1
$\Sigma$	15	$\Sigma$	15	$\Sigma$	15

### 2.1.2 Pannestreifenbreiten laut österreichischen RVS

Unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren kann ein Straßenquerschnitt in Österreich nach RVS 03.03.31 [1] folgende Querschnittselemente aufweisen:

- Straßenkrone
- Fahrbahn
  - Fahrfläche
  - Befestigter Seitenstreifen (Randstreifen, Pannestreifen, Parkstreifen oder Radfahrstreifen)
- Bankett
- Mittelstreifen
- Gehsteig/Gehweg
- Radweg/Geh- und Radweg
- Grünstreifen
- Nebenfahrbahn

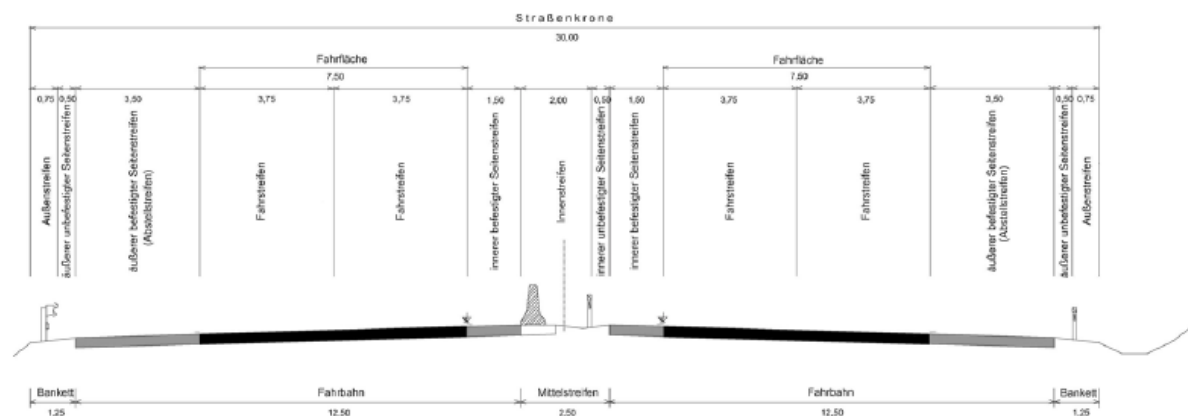
Solange die sicherheitstechnischen und verkehrlichen Voraussetzungen erfüllt sind, können den oben aufgelisteten Querschnittselementen temporär auch andere als die ihnen grundsätzlich zugeordneten Aufgaben zugeordnet werden. Das kann bei einer vorausschauenden Planung eine wichtige Rolle spielen. (s. [1])

Die Abmessungen der einzelnen Elemente werden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Faktoren wie etwa der Verkehrsstärke oder der zulässigen Geschwindigkeit festgelegt. (s. [1])

Die RVS legen fest, dass ab einer jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (JDTV) von 10 000 Kfz je Richtung die Anordnung eines Pannestreifens Pflicht ist. Nach RVS gilt der Pannestreifen als Teil einer Fahrbahn, der in erster Linie zum vorübergehenden Abstellen defekter Fahrzeuge dient. Der Pannestreifen wird auch durch Einsatz- und Straßenerhaltungsfahrzeuge befahren. (s. [1])

Bei einer Umleitung ermöglicht das Befahren des Pannestreifens eine mehrstreifige Führung des Verkehrs. Nur in einigen Ausnahmefällen (z. B. bei 3-streifigen Richtungsfahrbahnen auf Brücken oder in Steigungsstrecken) kann auf den Pannestreifen verzichtet werden. (s. [1])

Auf Strecken, an denen kein Pannestreifen vorhanden ist, müssen Pannenbuchten angeordnet werden. Pro Kilometer Richtungsfahrbahn dürfen nicht weniger als zwei Pannenbuchten angeordnet werden. Diese Pannenbuchten müssen eine Länge der Abstellfläche von mindestens 80 m aufweisen. Der Randstreifen wird durch den Pannestreifen ersetzt. Die Mindestbreite des Pannestreifens beträgt 2,50 m. Im Regelfall soll ein Pannestreifen eine Breite von 3,00 m aufweisen. Im Sonderfall ist zur Gewährleistung einer Verkehrsführung 4+0 bei 2-streifigen Richtungsfahrbahnen auf Straßen mit baulicher Richtungstrennung der Ausbau eines Pannestreifens mit einer Breite von 3,50 m notwendig. Im Bereich von Kunstbauten ist der Pannestreifen auf bis zu 4,00 m zu verbreitern. (s. [1])



**Abbildung 2: Verkehrsführung 4+0 bei 2-streifigen Richtungsfahrbahnen von Straßen mit baulicher Richtungstrennung und Pannestreifen nach RVS 03.03.31 (s. [1])**

### 2.1.3 Pannestreifenbreiten laut deutschen RAA

Während der Autobahnquerschnitt in Österreich nach den RVS gestaltet wird, unterliegt die Querschnittsgestaltung einer Autobahn in Deutschland den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, kurz RAA [2]. Die Querschnitte werden in drei Entwurfsklassen (EKA) gegliedert:

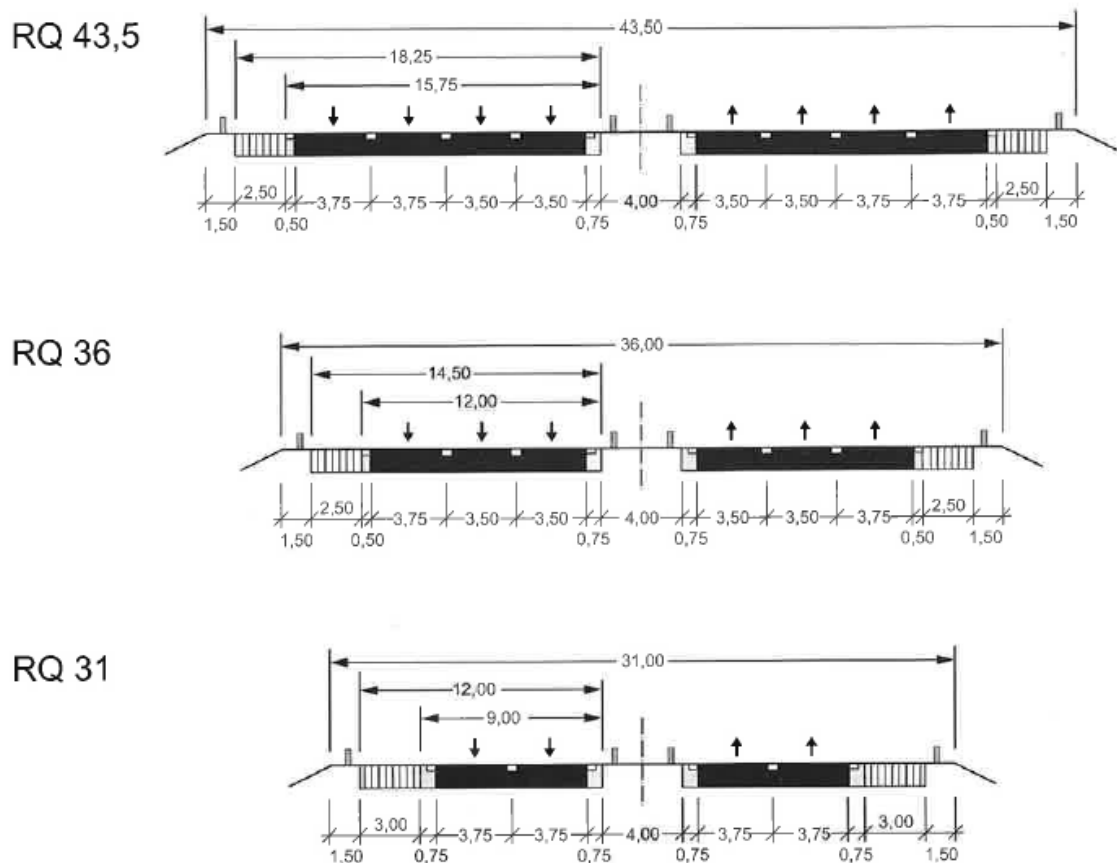
- EKA 1 (Fernautobahn/Überregionalautobahn)
- EKA 2 (Autobahnähnliche Straße)

- EKA 3 (Stadtautobahn)

Jede Entwurfsklasse beinhaltet unterschiedliche Regelquerschnitte (für 4-, 6- oder 8-streifige Autobahnen wurde jeweils nur ein RQ festgelegt), welche sich in der Breite der befestigten Flächen unterscheiden. Die erforderliche Breite des Straßenquerschnitts wird anhand der zugehörigen prognostizierten DTV und der angestrebten Qualität des Verkehrsablaufes bestimmt. (s. [2])

Die Verkehrssicherheit, die Qualität des Verkehrsablaufes sowie die Anforderungen aus Bau, Betrieb und Erhaltung gelten nach RAA als maßgebende Einflussgrößen für die Wahl der Bestandteile und für die Festlegung der Abmessungen der Regelquerschnitte von Autobahnen in Deutschland. (s. [2])

In Abbildung 3 werden Regelquerschnitte (RQ) der EKA 1 und in Abbildung 4 der Zusammenhang von RQ der EKA 1 mit der Verkehrsstärke (DTV) präsentiert. Beispielweise ist der RQ 31 in Abbildung 3 (Autobahnen mit vier Fahrstreifen mit Mitteltrennung und Pannestreifen) bis zu einer DTV von etwa 70 000 Kfz/24h ausreichend. Dieser Regelquerschnitt weist eine geringe Abweichung vom österreichischen Standardquerschnitt laut RVS auf. In den Abbildungen 5 und 6 werden Regelquerschnitte (RQ) der EK 2 und der EK 3 und in Abbildung 7 der Zusammenhang zwischen dem RQ der EKA 3 und der Verkehrsstärke (DTV) dargestellt. (s. [2])



**Abbildung 3: Regelquerschnitte der Fernautobahn (EKA 1) nach RAA (s. [2])**

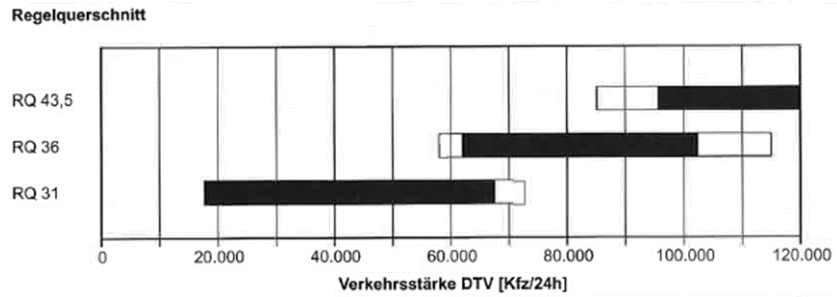


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und der Wahl des Querschnitts bei der EKA 1 nach RAA (s. [2])

RQ 28

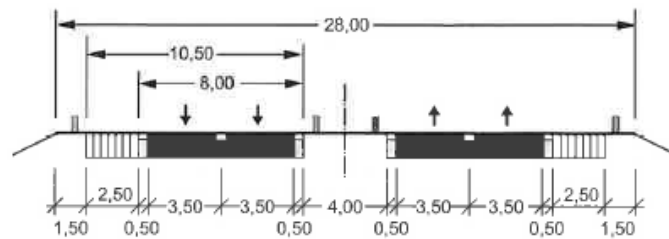
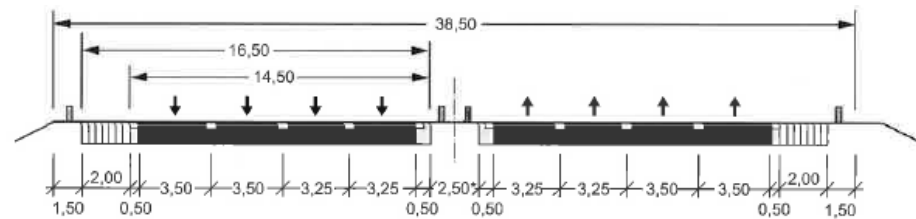
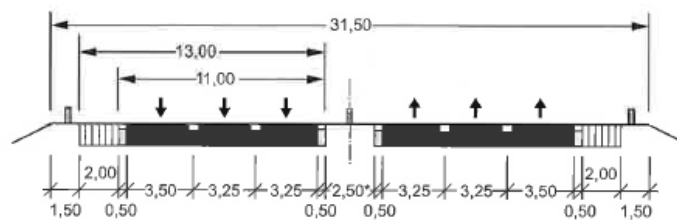


Abbildung 5: Regelquerschnitt autobahnähnlicher Straßen (EKA 2) nach RAA (s. [2])

RQ 38,5



RQ 31,5



RQ 25

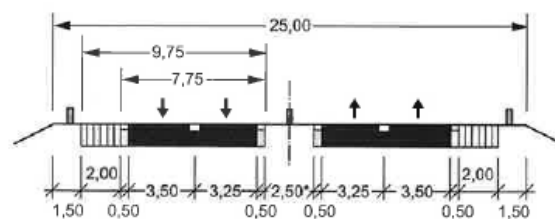
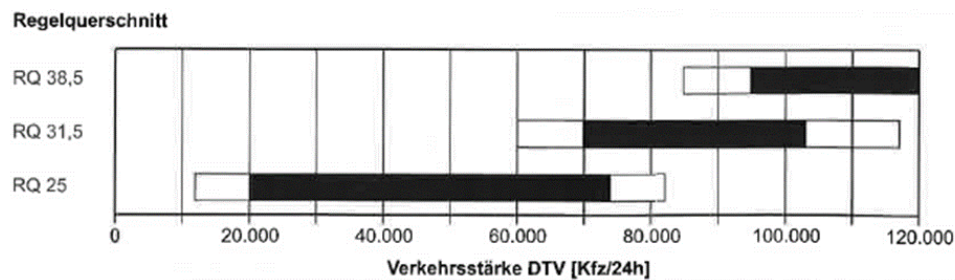


Abbildung 6: Regelquerschnitte der Stadtautobahn (EKA 3) nach RAA (s. [2])



**Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Wahl des Querschnitts bei der EKA 3 nach RAA (s. [2])**

In den deutschen RAA wird der Pannestreifen als „Seitenstreifen“ bezeichnet. Seitenstreifen sind nicht Teil der Fahrbahn. Zusammen mit der Fahrbahn bildet der Seitenstreifen die befestigte Fläche. (s. [2])

Nach RAA muss der Pannestreifen die gleiche konstruktive Befestigung wie der Fahrstreifen aufweisen, sodass er im Fall einer Arbeitsstelle oder Panne auch von schweren Lkws benutzt werden kann. Damit ein Lkw sicher abgestellt werden kann, muss die Seitenstreifenbreite mindestens 2,50 m betragen. Deswegen wird bei den Autobahnen der EKA 1 und EKA 2 diese Seitenstreifenbreite verlangt. Damit ein Pkw sicher abgestellt werden kann, ist eine Seitenstreifenbreite von mindestens 2,00 m erforderlich. Somit gilt diese Breite als Standardbreite eines Seitenstreifens bei Autobahnen der EKA 3. (s. [2])

Die notwendige Breite der befestigten Fläche für eine 4+0-Verkehrsführung im Bereich der Arbeitsstellen beim 4-streifigen Querschnitt der EKA 1 (RQ 31) wird so festgelegt, dass bei viel Verkehr ein 3,00 m breiter Seitenstreifen neben einem 0,75 m breiten Randstreifen vorübergehend als Fahrstreifen verwendet werden kann. (s. [2])

In Ausnahmefällen kann der Seitenstreifen auf begrenzter Länge entfallen. In solchen Fällen sind aus Gründen der Sicherheit Nothaltebuchten einzurichten. Diese sollen einschließlich Vorziehung 80 m lang und 3,00 m breit sein und zueinander nicht mehr als 1 000 m Abstand aufweisen. (s. [2])

Entfällt der Seitenstreifen, dann können alternativ oder zusätzlich zu den Nothaltebuchten die Bankette auf mindestens 2,00 m verbreitert und befestigt sowie die Fahrzeug-Rückhaltesysteme nach hinten versetzt werden, sodass zumindest noch das Abstellen eines Pkws neben der Fahrbahn möglich ist. (s. [2])

Im Falle von Kapazitätsengpässen, egal ob es sich um unfall-, baustellen- oder verkehrsstärkenbedingte Engpässe handelt, stellt die Umnutzung von Pannestreifen zu Fahrstreifenstreifen eine kostengünstige Lösung für die Herstellung eines fließenden Verkehrs dar. (s. [2])

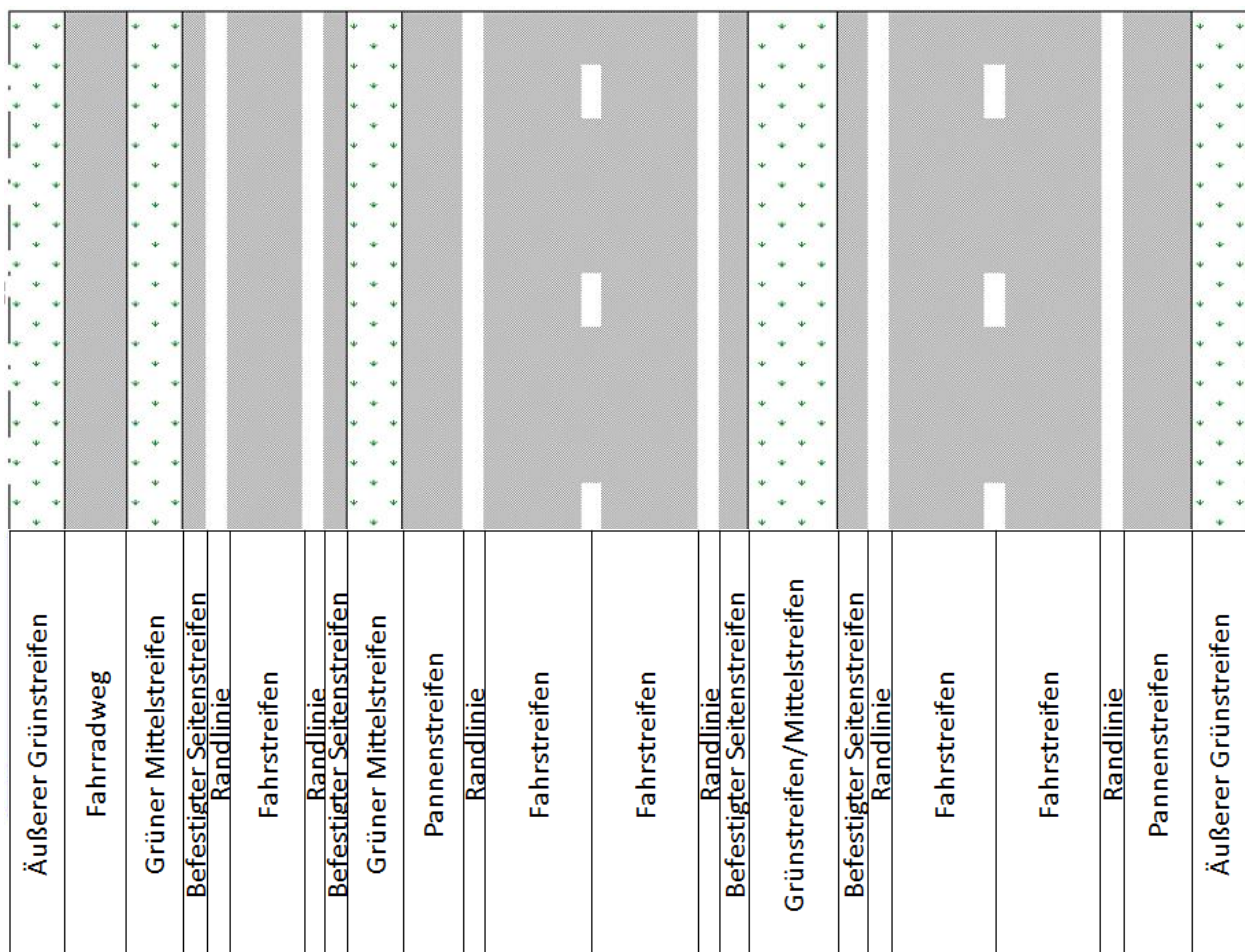
#### **2.1.4 Pannestreifenbreiten laut niederländischen ROA**

Die Gestaltung des Straßenquerschnitts unterliegt in den Niederlanden den Richtlinien für den Entwurf von Autobahnen (Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen), kurz ROA [3]. Nach ROA wird ein Straßenquerschnitt in folgende Querschnittselemente gegliedert:

- Fahrbahn
  - Fahrstreifen
  - Pannestreifen

- Befestigter Seitenstreifen
- Markierung
- Kurvenverbreiterung
- Bankett
  - Grünstreifen/Mittelstreifen
  - Äußerer Grünstreifen
  - Mittelstreifen
- Böschung

Im nachstehenden Bild (Abb. 8) sind einige der obengenannten Querschnittselemente auch graphisch dargestellt.



**Abbildung 8: Querschnittselemente eines Straßenquerschnitts nach ROA (s. [3])**

Der Pannestreifen ist in den ROA als ein Querschnittselement, das sich auf der rechten Seite einer Fahrbahn befindet (entlang der Fahrstreifen, Rampen und Ausfahrten angeordnet), definiert. Befahren oder Anhalten auf dem Pannestreifen ist nur in besonderen Fällen oder im Notfall zulässig. (s. [3])

Dem Pannestreifen werden nach ROA folgende Aufgaben zugeordnet (s. [3]):

- Gelegenheit zur Kurskorrektur,

- Möglichkeit zum Abstellen defekter Fahrzeuge,
- Beschleunigungsstreifen,
- Fahrstreifen für Rettungs- und Wartungsfahrzeuge,
- Raumkapazitäten durch zusätzliche Härtingsbreite, z. B. für vorübergehende (Wartungs-) Situationen oder eine 4+0-Installation,
- Anerkennung der Autobahn als eine sichere Straße, sodass sie wie vorhergesehen genutzt wird.

Der Pannestreifen in den Niederlanden ist so zu gestalten, dass während der Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten der Abstand zwischen dem Arbeitsfahrzeug (2,60 m Breite) und der ersten Fahrspur 1,10 m beträgt, sodass eine Sperre der ersten Fahrspur während der Baustellenzeiten oder im Fall einer Panne vermieden werden kann. Die Randlinie gehört nicht zum Pannestreifen. Dementsprechend beträgt die Standardbreite des Pannestreifens 3,50 m. (s. [3])

**Tabelle 2: Standardbreite der Pannestreifen in den Niederlanden (s. [3])**

Entwurfsgeschwindigkeit	Normatives Fahrzeug	Abstand zum Arbeitsfahrzeug	Randlinie	Gesamtbreite
120 km/h	2,60 m	1,10 m	0,20 m	3,50 m
90 km/h				
70 km/h				
50 km/h				

Im Fall einer Verkehrsführung 4+0 weist der Pannestreifen folgende Breiten auf (s. [3]):

- bei 70 km/h: Pannestreifenbreite 3,8 m
- bei 90 km/h: Pannestreifenbreite 5,6 m

Im Ausnahmefall kann auf die Standard-Pannestreifenbreite von 3,50 m verzichtet werden (eine Begründung ist erforderlich). In dieser Ausnahmesituation muss die Mindestbreite des Pannestreifens ohne Randlinie 3,15 m betragen. (s. [3])

In besonderen Situationen kann der Pannestreifen zusätzliche Funktionen erhalten, zum Beispiel als dynamischer Fahrstreifen in der Hauptverkehrszeit. In diesen speziellen Situationen gelten zusätzliche Richtlinien. (s. [3])

## 2.2 Einfluss von Pannestreifen auf den Verkehr

An den Aufgaben von Pannestreifen ist zu sehen, dass sie ein hohes Niveau an Verkehrssicherheit gewährleisten und den Betriebsdienst erleichtern.

In diesem Kapitel werden Untersuchungen zum Einfluss von Pannestreifen auf den Verkehr vorgestellt. Die durchgeführte Literaturrecherche kann in drei Teile gegliedert werden:

- Einfluss der Pannestreifenfreigabe auf Verkehrsfluss und -sicherheit
- Einfluss der Pannestreifenbreite auf die Verkehrssicherheit
- Einfluss von Pannestreifen auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer



## 2.2.1 Einfluss der Pannestreifenfreigabe auf Verkehrsfluss und -sicherheit

Während der Betriebszeit wird der Pannestreifen für die Erfüllung seiner Aufgaben meist nicht benötigt und sein Potential nicht ausgenutzt. Aus diesem Grund wird der Pannestreifen nicht nur im Falle von unfall- oder baustellenbedingten Kapazitätsengpässen genutzt, sondern auch dafür, allgemein bestehende Kapazitätsengpässe im Autobahnnetz möglichst kostengünstig zu beseitigen. Die Pannestreifenfreigabe wird als kurzfristige Maßnahme zur Verbesserung des Verkehrsablaufs durchgeführt (s. [4]). Einige Studien zur Pannestreifenfreigabe werden im Folgenden vorgestellt.

### a) Ingenieurbüro Vössing

Im Gegensatz zur Querschnittsuntersuchung Heidemann et al. [7] basiert die Vorher-Nachher-Untersuchung des Ingenieurbüros Vössing, beschrieben in Arnold [4], auf der Neudefinition der Unfallkategorien aus dem Jahr 1995. Auf Strecken in Ballungsräumen ohne Pannestreifen, auf welchen Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverbote herrschen, wurde keine negative Auswirkung einer Pannestreifenumnutzung auf die Unfallzahlen bzw. auf die Unfallschwere beobachtet. (s. [4])

Diese Studie zeigt auch, dass die Unfallraten (UPS und USS) durch die Pannestreifenfreigabe eher sinken. Der Anteil von schweren Unfällen (insbesondere mit Personenschäden und schweren Personenschäden) an der Gesamtzahl der Unfälle nimmt aber nach dieser Studie bei der Pannestreifenfreigabe zu. (s. [4])

### b) Guerrieri und Mauro, 2016

Eine italienische Fallstudie von Guerrieri und Mauro [9] beschäftigt sich auch mit den Auswirkungen von Pannestreifenfreigaben auf die Verkehrskapazität und die Verkehrssicherheit. Für die Untersuchungen wurde die A22 (Brenner Autobahn) in 25 Elementarsegmente unterteilt. Ein Segment betrifft dabei den Abschnitt zwischen zwei Autobahnanschlussstellen. (s. [9])

Für jeden Streckenabschnitt wurden die durchschnittliche Anzahl der Kollisionen pro Jahr (Sicherheitsleistungsfunktionen), die erwartete Anzahl von Kollisionen nach dem Implementieren einer bestimmten Gegenmaßnahme (Unfallmodifikationsfaktoren) und die erwartete durchschnittliche Unfallhäufigkeit pro Streckenabschnitt eruiert. Anhand der Unfalldaten auf der A22 im Zeitraum von 2013 bis 2015 (aufgezeichnete Daten: 877 Unfälle im Jahr 2013, 958 Unfälle im Jahr 2014, 883 Unfälle im Jahr 2015) wurde für jedes Segment ein Kalibrierungsfaktor – das ist ein Multiplikationsfaktor, der verwendet wird, um einen geschätzten realen Wert aus einem gemessenen oder berechneten Wert zu erhalten – bestimmt. (s. [9])

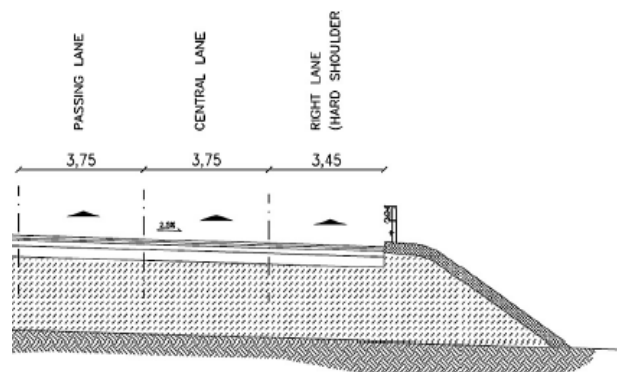


Abbildung 9: Autobahnquerschnitt, auf dem die Studie basiert (s. [9])



**Abbildung 10: Autobahnstrecke, auf der die Fallstudie basiert (s. [9])**

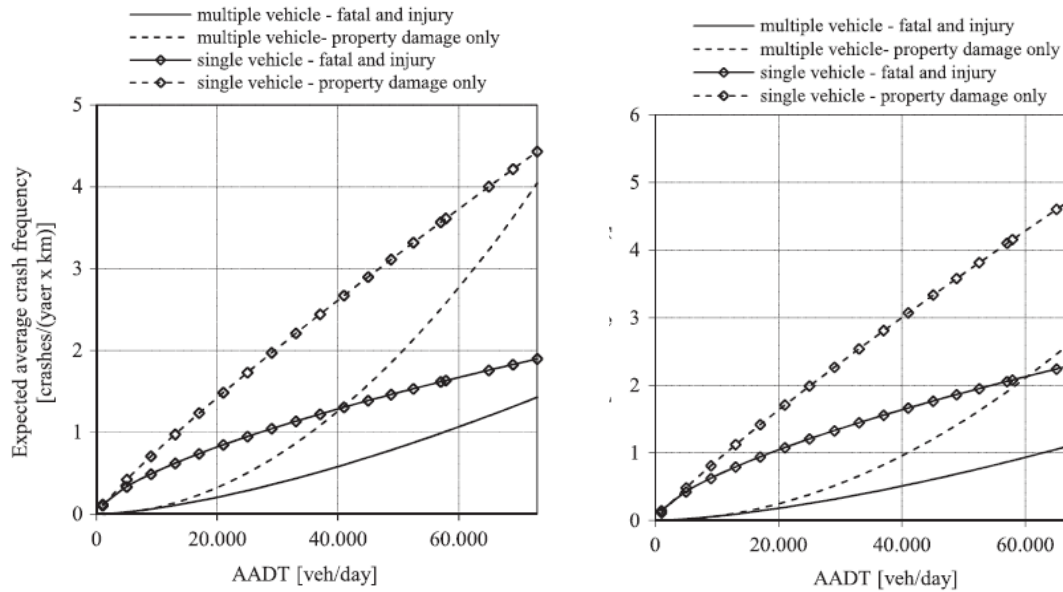
Die Unfälle wurden für das Pannestreifenfreigabemodell folgendermaßen klassifiziert (9):

- die jährliche Unfallhäufigkeit pro Kilometer mit nur einem einzigen betroffenen Fahrzeug und Schäden nur am Eigentum (single vehicle – property damage only);
- die jährliche Unfallhäufigkeit pro Kilometer bei einem einzigen betroffenen Fahrzeug und schwer oder tödlich verletzten Personen (single vehicle – fatal and injury);
- die jährliche Unfallhäufigkeit pro Kilometer mit mehreren beteiligten Fahrzeugen und Schäden nur am Eigentum (multiple vehicle – property damage only);
- die jährliche Unfallhäufigkeit pro Kilometer mit mehreren beteiligten Fahrzeugen und schwer oder tödlich verletzten Personen (multiple vehicle – fatal and injury).

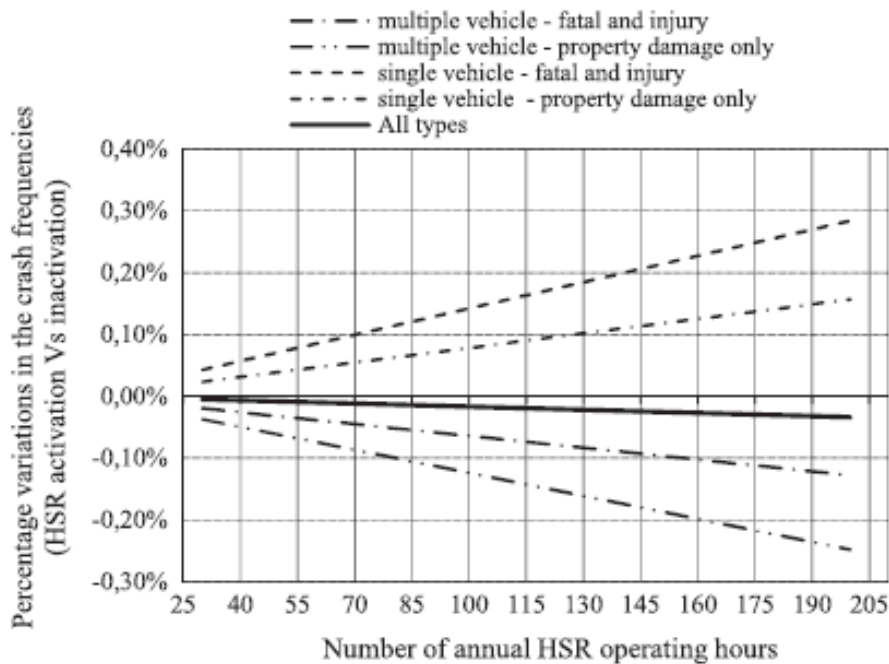
Die Schätzung der erwarteten Unfallhäufigkeiten hängt auch von den auf der A22 erfassten Spitzenverkehrszeiten (beobachtete Daten) und von den Stunden ab, in denen die Verkehrsstärke alarmierende Werte erreicht oder übertrifft, die eine Pannestreifenfreigabe erfordern. Daher wurde eine Sensitivitätsanalyse der erwarteten Unfallhäufigkeiten bei unterschiedlicher jährlicher Dauer an Stunden durchgeführt, während derer eine Pannestreifenfreigabe aktiviert werden soll. (s. [9])

Bei der Sensitivitätsanalyse wurden die folgenden Grenzwerte berücksichtigt (s. [9]):

- Pannestreifenfreigabe für 30 h pro Jahr (entspricht 0,34 % der jährlichen Stunden), die Verkehrsstärken von  $Q \geq 3000$  Pkw-Einheiten/h auf den Fahrbahnen aufweisen;
- Pannestreifenfreigabe für 200 Stunden pro Jahr (das entspricht 2,3 % der Stunden pro Jahr), die Verkehrsstärken von  $Q \geq 2400$  Pkw-Einheiten/h auf den Fahrbahnen aufweisen.



**Abbildung 11: Erwartete durchschnittliche Unfallhäufigkeit: Ohne Pannestreifenfreigabe, 2 Fahrstreifen pro Richtung (links) und mit Pannestreifenfreigabe, 3 Fahrstreifen pro Richtung (rechts). Autobahnabschnitt „Trient Nord – Trient Zentrum“ (s. [9])**



**Abbildung 12: Prozentuale Abweichung bei erwarteten Unfallhäufigkeiten in zwei untersuchten Fällen (mit und ohne Pannestreifenfreigabe) (s. [9])**

Nach Meinung der Autoren führt eine Pannestreifenfreigabe für 200 Stunden pro Jahr zu vernachlässigbaren Schwankungen bei den zu erwartenden Unfallhäufigkeiten im Vergleich zu den aktuellen Werten (höchstens 0,28 % bei Ein-Fahrzeug-Unfällen mit tödlichen oder nicht tödlichen Verlusten, siehe Abb. 12). Daher zeigt die Anwendung des Pannestreifenfreigabemodells in dieser Fallstudie, dass die Aktivierung der Pannestreifenfreigabe trotz ihrer beträchtlichen Vorteile für die

Autobahnfunktionalität nicht zu signifikanten Änderungen der Verkehrssicherheit auf der Autobahn A22 führt. (s. [9])

### c) Coffey und Park, 2016

Ein amerikanischer Artikel von Coffey und Park [12] beschäftigte sich in erster Linie mit einer Literaturrecherche über die Auswirkungen von Pannestreifenfreigaben auf die Verkehrssicherheit. In diesem Artikel wurden einige Studien näher vorgestellt. (s. [12])

Eine dieser Studien, jene von Sisiopiku, Sullivan und Fadel, analysierte die temporäre Pannestreifenfreigabe auf einem neun Meilen (ca. 14,5 km) langen Abschnitt der Interstate 65 in Birmingham, Alabama. Diese Studie fasst die Auswirkungen von Pannestreifenfreigaben auf Sicherheit und Umwelt zusammen und sollte eine Anleitung für das zukünftige Vorgehen hinsichtlich Pannestreifenfreigaben in den USA darstellen. In der mikroskopischen Simulationssoftware CORSIM wurden die folgenden sieben Szenarien simuliert (s. [12]):

- kein Pannestreifen, Freigabe des linken Pannestreifens,
- Freigabe des linken Pannestreifens zur Hauptverkehrszeit,
- Freigabe des rechten Pannestreifens, keine Pannestreifenbenutzung nach Unfall,
- eine stundenlange Freigabe des linken Pannestreifens nach einem Unfall sowie eine zweistündige Freigabe des linken Pannestreifens nach einem Unfall.

Die Unfallszenarien beinhalten eine Pannestreifenfreigabe stromabwärts des Unfallereignisses. Dieses System ist stochastisch und erlaubt variable Szenarien für eine verbesserte Annäherung an die Realität. (s. [12])

Durch eine Kosten-Nutzen-Analyse wurden die Ergebnisse dieser Studie quantifiziert und analysiert. Die Kosteninformationen wurden von verschiedenen Quellen zur Verfügung gestellt, darunter vom „National Safety Council for estimated crash costs“ und von der „US Environmental Protection Agency for emission costs“. Wie in der Studie angegeben, wurden zur Schätzung der Vorteile und Kosten der Pannestreifenfreigabe die Lebenszykluskosten herangezogen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Pannestreifenfreigabe zur Reduktion von Emissionen führt. (s. [12])

Die Emissionskosten für die Pannestreifenfreigabe-Szenarien sind niedriger bis gleichbleibend im Vergleich zu den Basisszenarien ohne Pannestreifenfreigabe. Die Studie stellt weiter fest, dass bei einer Pannestreifenfreigabe im Vergleich höhere bis gleichbleibende Unfallkosten auftreten. (s. [12])

In diesem Artikel wird auch eine auf den deutschen Autobahnen A4, A6 und A7 anhand gesammelter Unfalldaten aus Polizeiberichten durchgeführte Sicherheitsanalyse von Lemke vorgestellt. In dieser Studie wird der Pannestreifen bei Erreichen einer bestimmten Verkehrsstärke freigegeben. Die Ergebnisse wurden anhand zweier Unfalltypen analysiert: Während die erste Gruppe schwere Verletzungen bis Todesfälle umfasst, beinhaltet die zweite Gruppe leichte Verletzungen bis hin zu reinen Sachschäden. (s. [12])

Die wichtigste Erkenntnis der Studie war, dass durch eine entsprechende Sicherheitsanalyse während des Entwurfs, zusammen mit dem Wegschaffen von Risikobereichen vor der Freigabe, der freigegebene Pannestreifen auf dem gleichen Sicherheitsniveau bleibt. Wenn die Unfallrate unter einem bestimmten Niveau liegt, kann angenommen werden, dass die Sicherheit nach der Pannestreifenfreigabe gleichbleibt. Damit wird die Verkehrssicherheit durch die Pannestreifenfreigabe nicht negativ beeinflusst. (s. [12])

Der Artikel befasst sich außerdem mit einer Studie aus Deutschland von Geistefeldt, welche eine einfache Sicherheitsanalyse beinhaltet. Es handelt sich um eine Fallstudie über Pannestreifenfreigaben, durchgeführt auf den deutschen Autobahnen A5 von Friedberg bis Bad Homburg und A3 von Hanau bis Frankfurt. Während die Studie mit Schleifendetektordaten für die Betriebsanalyse durchgeführt wurde, beruhte die Sicherheitsanalyse auf Daten zu Unfallraten. (s. [12]) In dieser Studie wurden die Unfallraten zwischen Obertshausen und Offenbach auf der Autobahn A3 untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Pannestreifenfreigabe auf dem Abschnitt überhaupt keinen Einfluss auf die Unfallrate hatte, die Unfallraten stromaufwärts des freigegebenen Pannestreifens sich allerdings spürbar reduzierten. (s. [12])

Die Daten, die in die Analyse miteinbezogen wurden, umfassen die Zeit vier Jahre vor der Implementierung, ein Jahr eines vorübergehenden Installationssystems und die endgültige Implementierung eines Linienkontrollsystems. Die gesamte Unfallrate blieb über diesem Zeitraum hinweg stabil, mit einer stochastischen Spitze in einem der Jahre nach der vollständigen Implementierung. Es gab einen zusätzlichen Anstieg während des vorübergehenden Installationsjahres, aber das war zu erwarten, da ein neuer Betriebsablauf die Erwartungen der Fahrer verändert. Die Studie legt nahe, dass die Reduktion stromaufwärts auf die Reduktion von Auffahrunfällen zurückzuführen ist, die bei Annäherung an einen Stau auftreten. (s. [12])

#### **d) Aron, Seidowsky und Cohen, 2010**

Auch in Frankreich werden Pannestreifen im Falle eines Kapazitätsengpasses freigegeben, wie Aron, Seidowsky und Cohen in ihrer Studie beschreiben [13]. Im Osten von Paris teilen sich zwei Stadtautobahnen (A4 und A86) einen 2,3 km langen Abschnitt. Wenn die Verkehrsströme der beiden Autobahnen zusammenkommen, ist der Verkehr auf diesem Abschnitt zu bestimmten Stunden besonders dicht. (s. [13])

Um Staus zu reduzieren, öffnet der französische Straßenbetreiber DIRIF im Durchschnitt vier Stunden pro Tag einen Hilfsfahrstreifen am Pannestreifen für den Verkehr. Zu Hauptverkehrszeiten wird eine bewegliche Barriere entfernt, die einen Teil des Seitenstreifens für den Verkehr öffnet. Die Breite der Fahrstreifen wird von 3,50 m auf 3,20 m reduziert. Die Breite des Hilfsfahrstreifens beträgt 3,00 m. Während die Auswirkungen auf die Verkehrsüberlastung offensichtlich positiv sind und der Verkehrsfluss verbessert wird, sind die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Verkehrssicherheit weniger eindeutig. Die Bewertung beruht auf einer Vorher-Nachher-Beobachtungsmethode der Verkehrssicherheit: Hierbei wurde die Anzahl der tatsächlich stattgefundenen Unfälle mit der Anzahl jener Unfälle verglichen, die laut Vorhersagen stattgefunden hätten, wenn es keine Veränderung (in diesem Fall keine Pannestreifenfreigabe) gegeben hätte. (s. [13])

Die Pannestreifenfreigabe zur Hauptverkehrszeit, so zeigte sich, verringert die Verkehrsdichte und dadurch auch die Unfallanzahl. Dies ist der Hauptgrund für eine Pannestreifenfreigabe zur Hauptverkehrszeit, da das Unfallrisiko bei fließendem Verkehr geringer ist als bei dichtem Verkehr. Es kam jedoch, wie die Untersuchung zeigt, zu einer Verlagerung der Verkehrsdichte und der Unfälle stromabwärts, somit wurde dieser Effekt teilweise ausgeglichen. Generell ist die Auswirkung auf die Verkehrssicherheit an diesem wichtigen Autobahnabschnitt positiv (3 % weniger Unfälle auf dem ganzen Abschnitt während der Pannestreifenfreigabe), statistisch ist das jedoch unbedeutend (Zunahme der Unfälle um 0,5 % bei Standardabweichung = 2.7). (s. [13])

## 2.2.2 Einfluss der Pannestreifenbreite auf die Verkehrssicherheit

Neben dem Einfluss der Freigabe von Pannestreifen beschäftigten sich auch mehrere Studien mit den Auswirkungen unterschiedlicher Pannestreifenbreiten auf die Verkehrssicherheit. Einige Studien werden in Folgenden etwas detaillierter vorgestellt.

### a) Bauer et al.

Deutsche Studie von Bauer et al, beschreiben in Mattheis. [6], beschäftigte sich mit der Anzahl sowie der Art des Anhaltens am Pannestreifen und dessen Abhängigkeit von Verkehrsbelastung und Verkehrsart. Die gewonnenen Werte sollten zum Schluss nach Strecken mit bzw. ohne Pannestreifen differenziert werden. Die Anzahl der Halte, so zeigte sich, wird mehr von der Verkehrsbelastung als von der Anzahl der Fahrstreifen und dem Vorhandensein von Pannestreifen beeinflusst. Je höher die Verkehrsstärke ist, desto seltener halten Fahrzeuge an. Nach Meinung der Autoren nehmen die Verkehrsteilnehmer das Anhalten bei geringerer Verkehrsbelastung als weniger gefährlich wahr. Nach dieser Studie haben das Vorhandensein von Pannestreifen und die Einrichtung von Nothaltebuchten auf Abschnitten ohne Pannestreifen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit. (s. [6])

### b) Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung, 1997

Um unter Berücksichtigung definierter Einflussgrößen die Auswirkung von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit zu ermitteln, wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung im Jahr 1997 Vergleiche von Unfallkenngrößen durchgeführt und einer umfassenden statistischen Analyse unterzogen. Als Einflussgrößen wurden verkehrsregelnde Randbedingungen, Lagepläne, Querschnitts- und Gradientenmerkmale sowie Verkehrsbelastung und -zusammensetzung definiert. Die Untersuchung basierte auf Daten aus dem Jahr 1992 und umfasste 939 Autobahnabschnitte mit einer Länge von insgesamt 5 034 km Richtungsfahrbahn. (s. [6])

Die Ergebnisse dieses Projektes zeigen, dass 2-streifige Abschnitte eine geringere Rate an Unfällen mit Personenschaden aufwiesen als 3-streifige. Diese Aussage gilt gleichermaßen für Strecken ohne wie auch für Strecken mit Pannestreifen. Die Unfallrate auf Strecken ohne Pannestreifen ist in dieser Studie um etwa 26 % höher als auf den Strecken mit Pannestreifen. (s. [6])

Die statistische Analyse zeigte, dass Strecken ohne Pannestreifen unter gleichen Voraussetzungen weitaus höhere Unfallraten aufweisen. Die Rate der Unfälle mit Personenschaden ist in dieser Studie auf den Strecken ohne Pannestreifen um 37 % höher als auf den Strecken mit Pannestreifen. Ein niedriger Ferienverkehrsanteil, der Faktor Ballungsraum, ein Lkw-Anteil unter 10 %, Lkw-Überholverbote und Geschwindigkeitsbeschränkungen verursachen, dass die Unterschiede in den Unfallraten zwischen Strecken mit bzw. ohne Pannestreifen statistisch nicht mehr signifikant sind. Nach Ansicht der Autoren spielt der Pannestreifen im Bereich der Verkehrssicherheit eine sehr wichtige Rolle. (s. [6])

### c) Brühning und Völker, 1978

Eine ältere Studie von Brühning und Völker, beschreiben in Mattheis [6], untersuchte die Korrelation zwischen Raten von Unfällen mit Personenschaden und verkehrlichen Einflussgrößen. Die Untersuchung basiert auf Unfallraten aus den Jahren 1968, 1970 und 1973. Bei der Analyse wurde zwischen Querschnitten mit zwei und drei Fahrstreifen mit und ohne Pannestreifen unterschieden. Nach dieser Studie haben Strecken mit 2-streifigen Richtungsfahrbahnen ohne Pannestreifen höhere Unfallraten als solche mit Pannestreifen. 2-streifige Richtungsfahrbahnen mit Pannestreifen weisen

eine leicht geringere (nicht statistisch signifikante) Unfallrate auf als 3-streifige Richtungsfahrbahnen. (s. [6])

**d) Heidemann et al., 1998**

Ziel der Querschnittsuntersuchung von Heidemann et al. [7] war es, den Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit zu ermitteln. Im Zuge dieser Untersuchung wurde an insgesamt 900 Abschnitten auf deutschen Autobahnen der Einfluss von unterschiedlichen Faktoren (unter anderem das Vorhandensein eines Pannestreifens) auf die Unfall- und Verunglücktenzahlen analysiert. Für die Untersuchung wurden Verkehrsdaten und Unfalldaten des Jahres 1992 verwendet. Unter Unfalldaten versteht man in diesem Fall:

- Anzahl der Unfälle mit Personenschaden oder schwerem Sachschaden
- Anzahl Verunglückter (Leichtverletzte, Schwerverletzte und Getötete)
- Unfallkosten [s. [4], [7]]

Neben den Unfalldaten wurden auch Umfelddaten der Abschnitte in die Analyse miteinbezogen. Dies sind Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote, Baustellen, Pannestreifen, Kurvigkeit, Längsneigung, Querschnittstyp und die Lage des Abschnittes im Netz. (s. [7])

Die 900 Abschnitte wurden in Untersuchungsstrecken (ohne Pannestreifen) und Vergleichsstrecken (mit Pannestreifen) gegliedert. Die gesamte Länge dieser Abschnitte beträgt 5 035 Richtungskilometer (s. [7]):

- 4 571 km von 2-streifigen Autobahnen (1 094 km ohne Pannestreifen)
- 451 km von 3-streifigen Autobahnen (140 km ohne Pannestreifen)

31 von 41 Milliarden der untersuchten Fahrzeugkilometer entfielen alleine auf die Vergleichsstrecken. In der Studie war kein Vorher-Nachher-Vergleich gleicher Abschnitte möglich, da die Strecken ohne Pannestreifen mit den Strecken mit Pannestreifen nicht lagegleich waren. (s. [7])

Die Untersuchung startet mit einer deskriptiven Analyse der Unfalldaten von Strecken mit und ohne Pannestreifen. Um auch andere Einflussfaktoren in die Untersuchung miteinzubeziehen, waren für diese Untersuchung statistische Modelle notwendig. Zu diesem Zweck wurde eine Modellbildung mit abhängigen und unabhängigen Stichproben getestet. (s. [7])

Für die Gesamtunfälle (UPS und USS), Pkw-Unfälle, Lkw-Unfälle, Unfälle mit Personenschaden, Unfälle mit schwerem Personenschaden, Anzahl Verunglückter, Anzahl schwer Verunglückter und Unfallkosten als abhängige Variablen wurden die Erklärungsmodelle statistisch gesetzt. Diese Modelle wurden als log-lineare Modelle definiert (s. [4]). Dadurch wurde der Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Unfallkenngrößen untersucht (s. [7]). Der Einfluss der unabhängigen Variablen (z. B. Vorhandensein eines Pannestreifens, DTV, Längsneigung, etc.) wurden bei diesen Modellen entweder gesondert oder als Merkmalskombinationen geschätzt (s. [4]).

Da die untersuchten Unfallkenngrößen (als abhängige Variablen) weder normalverteilt sind noch die Zusammenhänge zwischen diesen und den abhängigen Variablen als linear definiert werden können, sind einfache lineare Modelle für diese Untersuchung nicht geeignet. (s. [7])

Da kein bedeutsamer Einfluss der Unfallrate auf Strecken mit Pannestreifen auf die Unfallrate auf Strecken ohne Pannestreifen ermittelt wurde, wurde die auf abhängigen Variablen basierende Modellbildung wieder verworfen. (s. [7])

Durch eine deskriptive Analyse von Unfalldaten wurde ein deutlicher Unterschied zwischen den Unfallraten auf Strecken mit und ohne Pannestreifen festgestellt. Während die Unfallrate auf den Strecken ohne Pannestreifen insgesamt 0,484 beträgt, ergibt sich auf den Strecken mit Pannestreifen eine Unfallrate von 0,340. Werden nur die Unfälle mit Personenschaden in die Betrachtung miteinbezogen, ergibt sich eine Unfallrate von 0,175 auf den Strecken mit Pannestreifen und 0,138 auf den Strecken ohne Pannestreifen – die Unfallrate bei den Gesamtunfällen nimmt bei den Strecken ohne Pannestreifen also relativ um 42 % zu. Bei den Unfällen mit Personenschaden beträgt diese Zunahme 27 % auf den Abschnitten ohne Pannestreifen. Bei dieser Analyse weisen die Kurvigkeit und die Anzahl der Fahrstreifen keinen Einfluss auf die Unfallrate auf. Im Gegensatz zu diesen Faktoren hat die Längsneigung vor allem bei Strecken ohne Pannestreifen einen Einfluss auf die Unfallrate. Ballungsräume haben eine signifikant niedrigere Unfallrate. (s. [7])

Bei dem ersten Modell (Gesamtunfälle UPS und USS) wurde bei Nichtvorhandensein eines Pannestreifens eine deutliche Erhöhung der Gesamtunfallzahlen erkannt. Der Lkw-Anteil spielt dabei eine wesentliche Rolle. Bei einem Lkw-Anteil von über 20 % nimmt die Gesamtunfallzahl um fast 80 % zu. (s. [7])

Es wurde auch ein deutlicher Unterschied zwischen Gebieten innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen beobachtet. Wenn in Ballungsräumen auf Strecken ohne Pannestreifen gleichzeitig eine Geschwindigkeitsbeschränkung und ein Lkw-Überholverbot herrschen, dann konnte in Puncto Unfallrate kein signifikanter Unterschied zu den Strecken mit Pannestreifen festgestellt werden. Dies ist jedoch anders auf Strecken außerhalb von Ballungsräumen. Hier wiesen die Strecken ohne Pannestreifen, auch bei angeordneter Geschwindigkeitsbeschränkung und Lkw-Überholverbot, höhere Unfallraten auf; eine Ausnahme bilden hier Strecken mit einem Lkw-Anteil von unter 10 %. Bei höheren Lkw-Anteilen waren die Unfallraten auf den Strecken ohne Pannestreifen um 22 bis 49 % höher als auf den Strecken mit Pannestreifen. (s. [4])

Durch das Fehlen des Pannestreifens steigt bei einem hohen Ferienfaktor die Anzahl der Unfälle um 54 %. Solange sich der Abschnitt ohne Pannestreifen in einem Ballungsraum befindet, in dem eine Geschwindigkeitsbeschränkung und ein Lkw-Überholverbot herrschen, wird bei einem geringen Ferienfaktor keine Erhöhung der Unfallzahlen registriert. (s. [7])

Nach dem Modell für Unfälle mit Personenschaden kommt es bei einem Wegfall des Pannestreifens, einer Verengung der Fahrstreifenbreite sowie dem Erlass von Lkw-Überholverboten und Geschwindigkeitsbeschränkungen zu einer Erhöhung der Unfallrate mit Personenschaden um 38 %. Durch eine Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverboten kann diese Erhöhung kompensiert werden. (s. [7])

Dieses Modell zeigt keine Wechselwirkung zwischen umnutzungstypischen Merkmalen (wie z. B. Pannestreifen) und Randbedingungen (wie z. B. Ballungsräumen) auf. (s. [4])

Im Gegensatz zu diesem Modell stellt das Modell, das schwere Personenschäden (USV + UGT) miteinbezieht, eine signifikante Beziehung zwischen der Fahrstreifenbreite, der Anzahl der Fahrstreifen sowie dem Vorhandensein eines Pannestreifens und der Anzahl bzw. Rate der Unfälle mit schweren Personenschäden fest (s. [4]). Daraus resultiert, dass die Strecken mit drei Fahrstreifen zu je 3,50 m ohne Pannestreifen eine um 141 % höhere Unfallrate aufweisen als die Strecken mit zwei Fahrstreifen zu je 3,75 m mit Pannestreifen. Wenn in diesen Abschnitten ohne Pannestreifen eine Geschwindigkeitsbeschränkung und ein Lkw-Überholverbot angeordnet sind, reduziert sich diese Erhöhung auf 102 %. Die Anzahl der Verunglückten nimmt beim Nichtvorhandensein des



Pannestreifens um 41 % zu. Dies kann jedoch durch eine Geschwindigkeitsbeschränkung und ein Lkw-Überholverbot kompensiert werden. (s. [7])

Es wird auch vermutet, dass durch das Nichtvorhandensein von Pannestreifen die Schwere der Unfälle ansteigt, was auch bei dem Modell zur Erklärung der Unfallkostenrate zu beobachten ist. Da das Gewicht der Unfälle angestiegen ist, wurde auch ein Anstieg der Unfallkosten von über 100 % beobachtet (4). Während die Unfallkostenrate auf 2-streifigen Abschnitten ohne Pannestreifen um 37 % höher ist als mit Pannestreifen, nimmt die Unfallkostenrate auf 3-streifigen Abschnitten ohne Pannestreifen um 158 % zu. (s. [7])

Zusammenfassend stellt der Pannestreifen nach dieser Untersuchung von Heidemann et al. [7] einen signifikanten Verkehrssicherheitsfaktor dar. Durch die Anordnung eines Pannestreifens wird die Verkehrssicherheit erheblich verbessert. (s. [7])

Es muss noch erwähnt werden, dass es im Jahr 1995 für die Statistik zu einer Neudefinition der Unfallkategorien in Bezug auf die Unfälle mit Sachschäden gekommen ist. Durch diese Neudefinition sind jene Unfallkategorien, auf denen die Untersuchung von Heidemann et al. [7] basiert, nicht mehr mit den heutigen Unfallkategorien vergleichbar. Die Anzahl der heute schwerwiegenden Unfälle ist demnach deutlich kleiner als früher. Umgekehrt kann es vorkommen, dass Unfälle, die früher als leichte Unfälle mit Sachschaden definiert wurden, nach neuer Definition den schwerwiegenden Unfällen zugeordnet werden müssen. Die Ergebnisse von Heidemann et al [7] lassen sich daher nur begrenzt auf die neuen Unfallkategorien umlegen. Das Bewertungsverfahren muss sich jedoch auf diese Untersuchung stützen, da neuere Studien in derselben Form bzw. demselben Umfang und Detaillierungsgrad zu den neu definierten Unfallkategorien nicht vorliegen. (s. [4])

#### **e) Nitsche et al., 2012**

In der Studie von Nitsche et al. [8] wurde die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Verbesserung oder Erweiterung des Straßenrandes untersucht. Als Maßnahmen zur Verbesserung oder Erweiterung des Straßenrandes wurden unbefestigte Randstreifen, Pannestreifen und Bäume mit einem Abstand von 1,50 m vom Straßenrand simuliert. Bei dieser Fallstudie galten das Auftreten und die Schwere der Unfälle als maßgebliche Messgrößen. Durch Simulationen wurden Kopfschutzkriterien und Werte der verkürzten Verletzungsskala ermittelt. In die Analyse wurden nur Unfälle mit einem Beteiligten (durch Abkommen) miteinbezogen. Diese Unfälle passieren, wenn Fahrzeuge die Fahrbahn verlassen und mit Hindernissen kollidieren oder sich überschlagen. (s. [8])

Für diese Studie von Nitsche et al. [8] wurden Unfallhäufungsstellen identifiziert und in einer virtuellen Umgebung, welche auf einem dreidimensionalen Straßenmodell basiert, rekonstruiert. Dieses Projekt benutzte alle Unfälle mit Personenschaden in einem Zeitraum von 1994 bis 2010 für die Bestimmung von Unfallhäufungsstellen. Ein Streckenabschnitt mit einer Länge von max. 250 m wird dann als Unfallhäufungsstelle bezeichnet, wenn dort in einem Zeitraum von drei Jahren drei gleichartige Unfälle mit Personenschaden oder innerhalb eines Jahres mindestens fünf gleichartige Unfälle passieren. Die Unfallhäufungsstellen wurden nach Unfallhäufigkeit und Unfallschwere, welche nach den entsprechenden Unfallkosten für jede Kategorie gewichtet ist, gereiht. (s. [8])

Das Straßenmodell berücksichtigt Straßeneigenschaften wie Trassierung, Rauigkeit oder Griffigkeit, die durch die Messungen vom österreichischen Straßennetz ermittelt wurden. Diese Messungen erfolgten durch den RoadSTAR, ein mobiles Laboratorium. Der RoadSTAR wurde für die Messung aller relevanten Verkehrssicherheitsparameter, wie etwa Griffigkeit, Beschaffenheit der Fahrbahn, Kurvenradien, Querneigung, Gradient oder Quer- und Längsneigung, entwickelt. Die Messung kann unter normalen Verkehrsbedingungen (40–120 km/h; Standardgeschwindigkeit: 60 km/h) während einer Fahrt

erfolgen. Ein dreidimensionales Straßenmodell kann direkt aus nachbearbeiteten RoadSTAR-Messdaten generiert werden. (s. [8])

Für die Ausführung von Simulationen wurde die Software PC-Crash verwendet. Diese Software verfügt über Fahrzeug-, Fahrer- und mehrere Insassenmodelle sowie über eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Fahrzeugtypen. Bäume, Masten und Hindernisse auf den Straßen werden auch als Fahrzeugmodelle betrachtet, die sich in Gewicht, Form oder Elastizität unterscheiden. Zum Zweck dieser Studie wurde für die Simulationen ein BMW X3 gewählt. (s. [8])

Alle Fahrmanöver, also Reaktionen des Fahrers, wie etwa Beschleunigung, Bremsen oder Lenkung, können folgerichtig festgelegt werden. Die Mittellinie der Straße wurde als Fahrlinie vorgegeben. Während der Simulationen können keine manuellen Reaktionen sowie Korrekturen des Ablaufs stattfinden. Die erhaltenen Straßenmodelle ermöglichten eine Unfallrekonstruktion sowie eine Analyse unterschiedlicher Straßenrandmaßnahmen in Simulationen. Außerdem konnte der Einfluss von Maßnahmen am Straßenrand auf die Verkehrssicherheit bewertet werden. Bewertet werden können auch das dynamische Verhalten von Fahrzeugen sowie alle möglichen Insassenverletzungen. (s. [8])



**Abbildung 13: Unfallhäufungsstelle, die in den Simulationen verwendet wurde (s. [8])**

Für die Simulation von Pannestreifen wurde der Reibungsgrad des Straßenrandes erhöht. Es wurde angenommen, dass der Reibungsgrad auf der rechten Seite der Straße 0,45 beträgt. Diese Schätzung zeigt die erwarteten Auswirkungen auf. Das Fahrzeug konnte die Kontrolle wiedererlangen. Es zeigte nur einen minimalen Brems- und Lenkvorgang. Es wurden in der Simulation insgesamt drei Maßnahmen hinsichtlich unterschiedlicher Pannestreifenbreiten umgesetzt. Maßnahme 1 (Pannestreifenbreite 2,00 m) und Maßnahme 2 (Pannestreifenbreite 1,00 m) zeigen ähnliche Simulationsergebnisse, während Maßnahme 3 (Pannestreifenbreite 0,50 m) zusätzliche Brems- und Lenkreaktionen des Fahrermodells zeigt. (s. [8])

Die Werte der Verletzungsskala gliedern sich in Werte mit bzw. ohne Sicherheitsgurt. Die Studie zeigt, dass die Verletzungswahrscheinlichkeit zunimmt, wenn die Insassen keinen Sicherheitsgurt tragen. Das Einsetzen von Pannestreifen zeigt einen optimierten Fall. Durch die Einführung von Pannestreifen kommt es bei diesem spezifischen Unfallszenario zu einer deutlichen Verbesserung der Verkehrssicherheit. (s. [8])

**f) Zegeer et al., 1988**

Eine ähnliche Untersuchung wurden von Zegeer et al. [10] durchgeführt. Die Ziele dieser Analyse waren (s. [10]):

- eine oder mehrere Methoden zur Bewertung von Gefahren am Straßenrand zu entwickeln,
- Faktoren, die Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere bei Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn haben, zu ermitteln
- und die Vorteile unterschiedlicher Verbesserungsmaßnahmen des Straßenrandbereiches zu eruieren.

Zu diesem Zweck wurden insgesamt 4 951 Meilen (7 968 km) 2-streifiger Landstraßen mit zahlreichen Verkehrs-, Straßen- und Straßenrandvariablen (DTV, Fahrbahnbreite, Pannestreifenbreite, Pannestreifentyp, Böschungen) in sieben US-amerikanischen Bundesstaaten (Alabama, Michigan, Montana, North Carolina, Utah, Washington und West Virginia) untersucht. (s. [10])

In die Analyse wurden auch Unfallvariablen wie zum Beispiel Unfalltyp und Unfallschwere einbezogen. Die verwendeten Unfalldaten wurden meist über einem Zeitraum von fünf Jahren gesammelt. Jedem Streckenabschnitt wurden die Informationen über die Anzahl der Unfälle, die Anzahl der Unfälle nach Schwere (nur Sachschaden, A-Verletzung, B-Verletzung, C-Verletzung und tödlich), die Anzahl der verletzten Personen nach Verletzungsgrad, die Unfallzahl in Bezug auf Licht- und Straßenbelagsverhältnisse, die Unfallanzahl pro Unfalltyp sowie die Anzahl der Unfälle nach dem Typ feststehender Hindernisse, zugeordnet. Die Untersuchungsabschnitte wurden zufällig aus Straßenklassen mit bestimmten Fahrbahn- und Pannestreifenbreiten, Pannestreifentypen sowie DTV gewählt. (s. [10])

Mehrere statistische Methoden (Chi-Quadrat-Analyse, Varianzanalyse sowie Kovarianz und schrittweise Regression) wurden verwendet, um jene Verkehrs- und Straßenelemente zu bestimmen, die einen signifikanten Einfluss auf die Unfallereignisse haben. Die Einzelfahrzeugunfälle (mit festen Objekten, Unfälle durch Abkommen von der Straße mit anschließendem Überschlag und andere Unfälle durch Abkommen von der Straße) stehen mit den Verkehrs- und Straßenelementen am engsten in Verbindung (10). Für die Analyse wurden die Unfälle, die durch Abkommen von der Straße entstanden waren und mit Frontalkollisionen oder Streifschäden (Gegen- und Gleichfahrtrichtung) kombiniert waren, als „verbunden“ (AO) bezeichnet. In die Modellierung wurde auch die Gesamtunfallzahl miteinbezogen. (s. [10])

Es wurde außerdem statistisch untersucht, welche Verkehrs- und Straßeneigenschaften (DTV, Fahrstreifenbreite, Breite von gepflasterten und nicht gepflasterten Seitenstreifen, Art der Straßenrandgefahren, zur sicheren Bergung eines außer Kontrolle geratenen Fahrzeuges notwendige durchschnittliche Mindestbreite des Straßenrandes, Steilheit der Böschung, Terrain, horizontale Kurvigkeit, Anzahl der Einfahrten und Kreuzungen pro Meile) am engsten mit den Unfällen auf den 2-streifigen Landstraßen verbunden sind. (s. [10])

Zur Erstellung des Unfallvorhersagemodells wurden diese Eigenschaften (Variablen) und deren Wechselwirkung genutzt. Da die Pannestreifenbreite schon in das Modell einbezogen wurde, wurde die Straßenrandbreite, die notwendig ist, um ein außer Kontrolle geratenes Fahrzeug sicher zu bergen, zum Zwecke der Modellerstellung umdefiniert. Normalerweise wird diese Breite als ebener, ungehinderter und glatter Bereich neben dem Außenrand des Fahrstreifens (Kantenlinie) definiert,

innerhalb dessen eine angemessene Möglichkeit zur sicheren Bergung eines außer Kontrolle geratenen Fahrzeugs besteht. Die dafür notwendige Breite am Straßenrand ist der seitliche Abstand von der Kantenlinie zum nächsten der folgenden Punkte (s. [10]):

- ein Gelenkpunkt, an dem die Steigung zuerst steiler wird als 4:1;
- ein Längselement wie eine Leitplanke, eine Brückenschiene oder eine Bordsteinkante;
- ein unnachgiebiges und daher gefährliches Objekt;
- die Grabenlinie eines nicht begehbaren Seitengrabens (als Annahme, dass ein Graben befahrbar ist, wenn sowohl Vorland als auch Abhang 4:1 oder flacher sind);
- andere Merkmale wie eine raue oder unregelmäßige Oberfläche, loses Gestein oder ein Wasserlauf, der für fahrende Fahrzeuge eine Gefahr darstellt.

In der unteren Tabelle kann man den Einfluss einer Erhöhung der Straßenrandbreite auf die Anzahl der „verbundenen“ Unfälle (AO) sehen. Wird die Breite um 1,50 m erhöht, nimmt die Anzahl der verbundenen Unfälle um 13 % ab. Bei einer Erhöhung von 6,10 m wird die Unfallzahl nach dem Modell um 44 % geringer. (s. [10])

**Tabelle 3: Unfallreduktion in Folge einer Erhöhung der notwendigen Straßenrandbreite, um ein außer Kontrolle geratenes Fahrzeug sicher zu bergen (s. [10])**

Ausmaß der Straßenrandverbreiterung (Fuß Länge)	Ausmaß der Straßenrandverbreiterung (m)	Reduktion der zugehörigen Unfälle (%)
5	1,50	13
8	2,44	21
10	3,05	25
12	3,66	29
15	4,57	35
20	6,10	44

Nach diesem Modell sinkt die durchschnittliche Einzelfahrzeugunfallrate mit Zunahme der Fahrstreifen- und Pannestreifenbreite sowie der Straßenrandbreite, welche für das sichere Bergen eines außer Kontrolle geratenen Fahrzeugs notwendig ist. Die untenstehende Tabelle 4 zeigt, dass die niedrigste Einzelfahrzeugunfallrate bei einer Straßenrandbreite von 17 bis 30 Fuß (5,20–9,14 m) auftritt. Die Zahlen in Klammern stellen die Anzahl der Probestrecken in dem Modell dar. (s. [10])

**Tabelle 4: Durchschnittliche Anzahl der Unfälle mit Einzelfahrzeuge pro 100 Mio. Fahrzeugmeilen nach Fahrstreifenbreite, Pannestreifenbreite und durchschnittlicher Straßenrandbreite, gemessen vom äußeren Rand des Pannestreifens auf Landstraßen (s. [10])**

Fahrstreifenbreite (m)	Pannestreifenbreite (m)	Durchschnittliche Straßenrandbreite, gemessen vom äußeren Rand des Pannestreifens (m)		
		0–2,43	2,74–4,88	5,18–9,14
2,43–3,05	0–0,91	203 (130)	183 (47)	87 (20)
	1,21–1,52	140 (95)	119 (80)	70 (58)
	1,83–3,96	144 (19)	85 (104)	43 (67)
3,35–4,26	0–0,91	146 (100)	133 (95)	58 (92)
	1,21–1,52	122 (92)	77 (121)	46 (86)
	1,83–3,96	96 (50)	74 (301)	45 (244)

#### g) Hauer, 2000

Eine nicht veröffentlichte Studie von Hauer [16] beschäftigt sich mit einer Literaturrecherche über die Auswirkung von Pannestreifen bzw. ihren Breiten auf die Verkehrssicherheit in einem Zeitraum von 1953 bis 1999. In dieser Studie wurden auch alte Studien mit neuen Methoden überprüft (falls die notwendigen Datensätze zur Verfügung gestellt wurden) und die Ergebnisse dieser Überprüfungen mit den Ergebnissen der alten Studien verglichen. (s. [16])

Die Ergebnisse dieser nicht veröffentlichten Studie können unter folgenden Punkten zusammengefasst werden (s. [16]):

- Mehrere Studien stellen eine Verbindung zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsstärke fest. Die Verkehrssicherheit bei höheren Verkehrsstärken hängt mehr als bei niedrigen Verkehrsstärken von der Breite der Pannestreifen ab.
- Es gibt Hinweise darauf, dass Straßen mit breiteren Pannestreifen zu schwereren Unfällen neigen.
- Es gibt die Tendenz, dass ab einer Pannestreifenbreite von 6 bis 8 Fuß (1,83–2,43 m) die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden zunimmt.
- Die Sicherheitseffekte von Pannestreifen auf ebenen und geraden Straßen sind wahrscheinlich wesentlich geringer als auf scharfen Kurven und Straßen mit starker Längsneigung.

- Die analysierten Studien zeigen, dass bei breiteren Pannestreifen weniger Unfälle durch ein Abkommen von der Straße und weniger Unfälle im Begegnungsverkehr auftreten, die etwa 40 bis 60 % aller Unfälle ausmachen. Jedoch können breitere Pannestreifen mit mehr "anderen" Unfalltypen in Verbindung gebracht werden.
- Straßen mit befestigten Pannestreifen weisen weniger Unfälle auf als ähnliche Straßen mit Rasenstreifen.

### 2.2.3 Einfluss von Pannestreifen auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer

Fast ein Drittel aller Verkehrsunfälle (31,4 %) in der Europäischen Union im Zeitraum von 2004 bis 2013 sind Einzelunfälle mit nur einem beteiligten Fahrzeug. Es handelt sich hier meist um Unfälle durch das Abkommen von Fahrzeugen von der Fahrbahn. Darüber hinaus traten 33 % der Unfälle mit Todesfolge im Dunkeln auf, während 51 % bei Tageslicht oder in der Dämmerung geschahen. Dass Unfälle häufig durch das Abkommen von Fahrzeugen ohne Beteiligung Dritter oder aufgrund schwerer Wahrnehmungsschwierigkeiten verursacht werden, deutet darauf hin, dass die Fahrer häufig Probleme haben, die richtige Querführung aufrechtzuerhalten. (s. [15])

Aus diesem Grund haben einige Studien (Ben-Bassat und Shinar, [14]; Mecheri, Rosey und Lobjois, [15]) den Einfluss von unterschiedlichen Straßenquerschnittselementen und deren Merkmalen (Fahrbahnbreite, Pannestreifenbreite etc.) auf das Fahrverhalten von Verkehrsteilnehmern analysiert und stellten fest: Persönlichkeit, Erfahrung und Einstellung des Fahrers sowie die Straßenumgebung haben einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten. Die Straßen sollen demnach so entworfen werden, dass den Fahrern das Risiko eines unsicheren Verhaltens bewusst wird. (s. [14])

#### a) Ben-Bassat und Shinar, 2011

An der in Israel durchgeführten Studie von Ben-Bassat und Shinar [14] nahmen elf männliche und elf weibliche StudentInnen teil. Sie waren zwischen 23 und 31 Jahre alt (Durchschnitt: 26 Jahre) und hatten zwischen 5,5 und 13 Jahren (Durchschnitt: 8,63 Jahre) Fahrpraxis. Die Studie wurde in zwei Teile gegliedert (s. [14]):

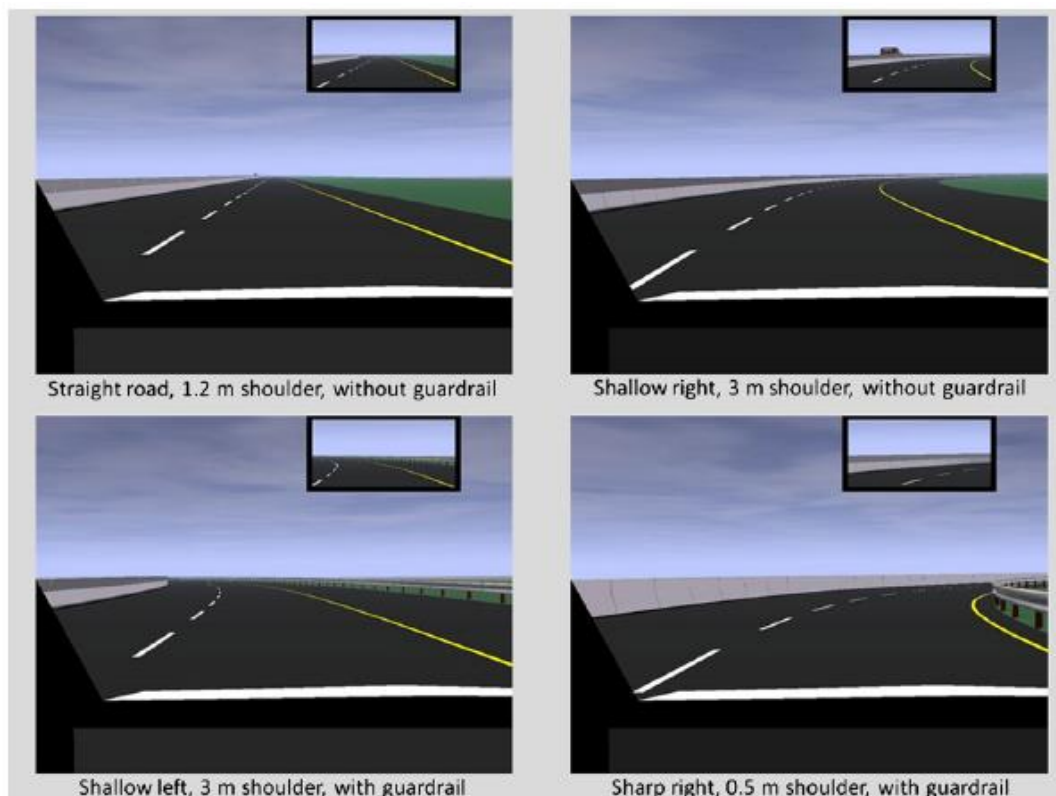
- eine objektive Bewertung unter Verwendung eines Fahrsimulators,
- eine subjektive Bewertung unter Verwendung eines ausgefüllten Fragebogens.

Alle Straßen in den simulierten Szenarien waren Autobahnen mit zwei Fahrstreifen je Richtung zu je 4,50 m Breite. Die richtungsgetrenten Fahrbahnen wurden durch eine drei Fuß (0,91 m) hohe Beton-Jersey-Barriere getrennt. Die Fahrstreifen wurden durch eine gestrichelte Bodenmarkierung getrennt. Die rechte Kante des rechten Fahrstreifens wurde durch eine durchgehende gelbe Linie markiert. Die Pannestreifen (0,5 m, 1,2 m und 3,0 m) befanden sich rechts von der gelben Kantenlinie des rechten Fahrstreifens. (s. [14])

Während der Fahrsimulation wurden drei unabhängige Messgrößen variiert (s. [14]):

- *Pannestreifenbreite*: 0,50 m (minimale Pannestreifenbreite gemäß den israelischen Richtlinien), 1,20 m und 3,00 m (maximale Pannestreifenbreite gemäß den israelischen Richtlinien);
- *Vorhandensein der Leitplanke*: ja oder nein;

- *Fahrbahngeometrie*: Die israelische Verkehrsrichtlinie legt die Entwurfsgeschwindigkeit gemäß dem Kurvenradius fest – 50 km/h für einen Radius von 80 m (in diesem Experiment als scharfe Kurve definiert) und 90 km/h für einen Radius von 380 m (in diesem Experiment als flache Kurve definiert). Somit beinhaltete die Fahrbahngeometrie fünf Optionen: flache Rechtskurve, flache Linkskurve, scharfe Rechtskurve, scharfe Linkskurve und eine gerade Straße. (s. [14])



**Abbildung 14: Screenshots der unterschiedlichen Pannestreifenbreiten mit und ohne Leitplanke während der Fahrt im Fahrsimulator (s. [14])**

Die Fahrgeschwindigkeit (km/h) und die Fahrlinie der Probanden (Abstand von der Beton-Jersey-Barriere) wurden objektiv während der Simulationsfahrt erfasst. (s. [14])

Im zweiten Teil der Studie bewertete jeder Teilnehmer subjektiv die verschiedenen Straßen anhand eines kurzen biografischen Fragebogens. In diesem Teil mussten die Teilnehmer auch die subjektiv als sicher wahrgenommene Fahrgeschwindigkeit (km/h) und die geschätzte Verkehrssicherheit auf einer Skala von 1 bis 10 bewerten. (s. [14])

- Beschreibende Statistik

Tabelle 5 enthält eine Zusammenfassung der Durchschnittsgeschwindigkeiten, Spurpositionen (Fahrlinie) und ihrer Standardabweichungen für jede Kombination der drei variierenden Elemente – Pannestreifenbreite, Vorhandensein der Leitplanke und Fahrbahngeometrie. (s. [14])

**Tabelle 5: Durchschnitt und Standardabweichung von Geschwindigkeit und Spurposition für jede Kombination aus Pannestreifenbreite, Leitplankenvorhandensein und Fahrbahngeometrie (s. [14])**

Pannestreifen (m)	mit/ohne Leitplanke	Fahrbahngeometrie	Geschwindigkeit (km/h)		Spurposition (m)	
			Durchschnitt	Standard Abweichung	Durchschnitt	Standard Abweichung
0,5	mit	gerade	112,46	26,57	6,77	0,35
		scharf rechts	7,91	16,51	6,51	0,35
		scharf linke	74,04	16,01	6,54	0,53
		flach rechts	102,87	25,43	6,66	0,36
		flach links	95,9	18,11	6,69	0,36
0,5	ohne	gerade	116,85	30,89	7,17	0,31
		scharf rechts	78,36	14,29	7,09	0,4
		scharf linke	78,69	17,15	7,5	1,33
		flach rechts	105,83	29,79	7,1	0,36
		flach links	101,34	21,9	7,07	0,3
1,2	mit	gerade	122,29	28,05	6,99	0,32
		scharf rechts	81,04	11,79	6,74	0,46
		scharf linke	79,71	13,79	6,82	0,51
		flach rechts	109,14	25,78	7,15	0,39
		flach links	100,89	24,67	6,98	0,59
1,2	ohne	gerade	115,74	28,87	7,25	0,4
		scharf rechts	79,2	12,57	7,11	0,38
		scharf linke	82,15	16,23	7,45	0,96
		flach rechts	100,11	24,07	7,28	0,44
		flach links	100,33	24,29	7,18	0,47
3	mit	gerade	125,72	22,62	7,29	0,42
		scharf rechts	85,74	10,84	7,19	0,48
		scharf linke	83,51	11,86	6,96	0,46
		flach rechts	109,22	18,73	7,32	0,52
		flach links	102,5	17,64	7,04	0,34
3	ohne	gerade	119,08	25,1	7,35	0,45
		scharf rechts	78,29	14,42	7,21	0,33
		scharf linke	79,29	15,53	7,65	1,89
		flach rechts	105,63	22,82	7,45	0,46
		flach links	103,32	21,93	7,18	0,42

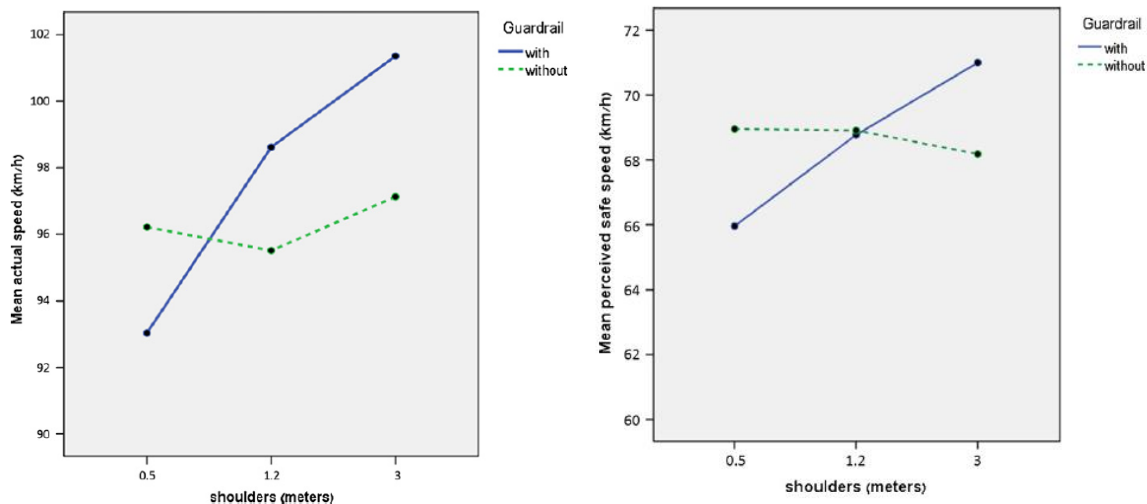
○ *Fahrgeschwindigkeit und als sicher empfundene Geschwindigkeit*

Mittels einer Varianzanalyse (oder ANOVA für „Analysis Of VAriance“) mit wiederholten Messungen wurde der Einfluss von Pannestreifenbreite, Vorhandensein einer Leitplanke und Straßengeometrie auf die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit ermittelt. (s. [14])

Die Varianzanalyse erkannte ein signifikantes Zusammenwirken von Pannestreifenbreite und dem Vorhandensein von Leitplanken. Die Fahrer erhöhen die Fahrgeschwindigkeit mit zunehmender Pannestreifenbreite, wenn die Leitplanke die Kante des Pannestreifens markiert. Auf einer Straße ohne Leitplanken ist der Einfluss der Pannestreifenbreite minimal und die Durchschnittsgeschwindigkeit bleibt relativ konstant. (s. [14])

Es wurde auch ein signifikantes Zusammenwirken von Pannestreifenbreite und Fahrbahngeometrie festgestellt. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, korreliert die Fahrgeschwindigkeit positiv mit der Pannestreifenbreite beim Fahren auf einer geraden Straße. Das 85. Perzentil der Fahrgeschwindigkeit stieg an, und zwar von 123 km/h bei schmalen Pannestreifen auf 127 km/h bei mittelbreiten und 133 km/h bei breiten Pannestreifen. Während beim Fahren in einer scharfen Rechtskurve die höchste Geschwindigkeit bei schmalen Pannestreifen erreicht wird, hat die Pannestreifenbreite beim Fahren in einer scharfen Linkskurve keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit. (s. [14])





**Abbildung 15: Die Auswirkung der Pannestreifenbreite und des Vorhandenseins der Leitplanke auf die tatsächliche Durchschnittsgeschwindigkeit (links) und die Auswirkung der Pannestreifenbreite und des Vorhandenseins der Leitplanke auf die durchschnittliche als sicher empfundene Geschwindigkeit (rechts) (s. [14])**

Eine Varianzanalyse (ANOVA) mit wiederholten Messungen der Auswirkungen von drei unabhängigen Variablen auf die als sicher empfundene Geschwindigkeit zeigte ähnliche Effekte wie die tatsächliche Geschwindigkeitsanalyse. Es konnte festgestellt werden, dass die Breite des Pannestreifens und das Vorhandensein von Leitplanken eine signifikante Wirkung darauf haben, welche Geschwindigkeit als sicher empfunden wird. (s. [14])

Ähnlich wie bei der tatsächlichen Geschwindigkeit auf Straßenabschnitten mit Leitplanken korreliert die als sicher empfundene Geschwindigkeit mit den Pannestreifenbreiten. Die als sicher empfundene Geschwindigkeit erhöht sich mit Zunahme der Pannestreifenbreite. Auf den Abschnitten ohne Leitplanke wurde die als sicher empfundene Geschwindigkeit der Teilnehmer nicht durch die Pannestreifenbreite beeinflusst. Eine graphische Darstellung ist der Abbildung 15 zu entnehmen. Der Vergleich zwischen Abbildung 15 links, welche die tatsächliche Geschwindigkeit darstellt, und Abbildung 15 rechts, welche die als sicher empfundene Geschwindigkeit darstellt, zeigt zwei bedeutende Unterschiede auf. Während der Simulationsfahrt fuhren die Teilnehmer im Fahrsimulator deutlich schneller als mit der Geschwindigkeit, die sie als für die Fahrbahnbedingungen sicher einschätzten. Außerdem war die Geschwindigkeitsvarianz der Teilnehmer beim Fahren im Fahrsimulator höher als die als sicher empfundene Geschwindigkeit. (s. [14])

- Bewertung der Verkehrssicherheit

Im zweiten Teil der Studie bewerteten die Teilnehmer subjektiv jeden Straßenabschnitt hinsichtlich Verkehrssicherheit (wahrgenommene Sicherheit) auf einer Skala von 1 bis 10: 1 bedeutete "nicht sicher" und 10 bedeutete "sehr sicher". (s. [14])

Tabelle 6 zeigt die durchschnittliche Evaluierung der Verkehrssicherheit und deren Standardabweichung für jedes der 30 den Teilnehmern je Straßenabschnitt präsentierten Bilder. Die Tabelle zeigt, dass die wahrgenommene Sicherheit wie erwartet bei geraden Straßen mit einer Pannestreifenbreite von 3,00 m und einer vorhandenen Leitplanke am höchsten ist. (s. [14])

Die Tabelle 6 zeigt auch, dass die größte Abweichung in der geschätzten Verkehrssicherheit bei geraden Straßen mit 0,50 m Pannestreifenbreite auftritt, die durch eine Leitplanke begrenzt sind. (s. [14])

**Tabelle 6: Durchschnitt und Standardabweichungen der bewerteten Verkehrssicherheit für jede Kombination von Pannestreifenbreite, Vorhandensein der Leitplanke und Fahrbahngeometrie (s. [14])**

Pannestreifen (m)	mit/ohne Leitplanke	Fahrbahngeometrie	Bewertete Straßensicherheit (1 - 10 Skala)	
			Durchschnitt	Standard Abweichung
0,5	mit	gerade	7,3	2,2
		scharf rechts	5,7	1,8
		scharf linke	5,1	1,9
		flach rechts	5,9	2,0
		flach links	6,3	2,0
0,5	ohne	gerade	7,6	1,8
		scharf rechts	5,5	1,9
		scharf linke	4,9	1,8
		flach rechts	6,3	1,8
		flach links	6,1	1,6
1,2	mit	gerade	8,1	1,9
		scharf rechts	6,3	0,9
		scharf linke	5,8	1,6
		flach rechts	7,7	1,4
		flach links	6,7	1,5
1,2	ohne	gerade	8,4	1,5
		scharf rechts	6,1	1,4
		scharf linke	5,0	1,8
		flach rechts	6,1	1,4
		flach links	6,6	1,2
3	mit	gerade	8,8	1,6
		scharf rechts	6,2	1,6
		scharf linke	6,3	1,9
		flach rechts	7,8	1,5
		flach links	7,6	1,1
3	ohne	gerade	8,4	1,5
		scharf rechts	6,1	1,7
		scharf linke	5,7	1,8
		flach rechts	7,0	1,1
		flach links	7,0	1,3

Um die Wirkung jedes der drei Faktoren auf die geschätzte Sicherheit im Straßenverkehr zu testen, wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) mit wiederholten Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse zeigten eine signifikante Beziehung zwischen geschätzter Sicherheit, Pannestreifenbreite und Straßengeometrie. Während sich die bewertete Verkehrssicherheit mit zunehmender Pannestreifenbreite auf deutlich höhere Werte (6,7 für 1,20 m und 7,1 für 3,00 m Pannestreifenbreite) erhöhte, war das durchschnittliche Sicherheitsempfinden bei schmalen Pannestreifen (0,50 m) am niedrigsten (Mittelwert: 6,1). (s. [14])

Auch zur Pannestreifenbreite und zur Existenz von Leitplanken wurde eine signifikante Wechselwirkung gefunden. Es gibt keinen Unterschied in der Bewertung der Sicherheit zwischen Straßen mit und ohne Leitplanke, wenn der Pannestreifen schmal ist (0,50 m). Mit einer zunehmenden Pannestreifenbreite aber erhöht die Existenz einer Leitplanke die wahrgenommene Sicherheit der Straße. (s. [14])

- Tatsächliche Geschwindigkeit, als sicher wahrgenommene Geschwindigkeit und geschätzte Verkehrssicherheit

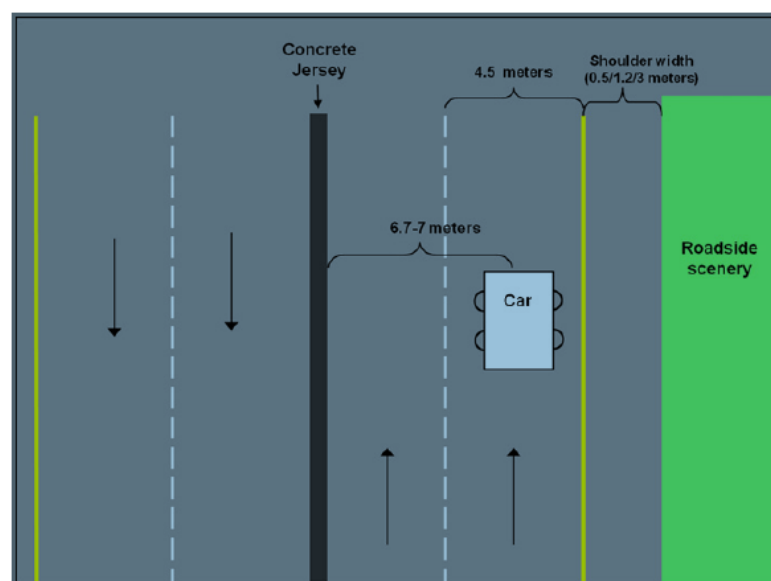
Um die Beziehungen zwischen der tatsächlichen Geschwindigkeit, der als sicher wahrgenommenen Geschwindigkeit und der bewerteten Verkehrssicherheit für jede der Kombinationen aus Pannestreifenbreite und dem Vorhandensein von Leitplanken zu untersuchen, wurde eine Pearson-Korrelationsanalyse durchgeführt. Da die Straßengeometrie einen großen Einfluss auf die Geschwindigkeit hatte, wurde für die geraden Straßenabschnitte nur diese Korrelation berechnet. (s. [14])

Überraschenderweise war die Korrelation zwischen der tatsächlichen Geschwindigkeit und der als sicher beurteilten Geschwindigkeit sehr niedrig bzw. statistisch nicht signifikant. Offensichtlich führen in einigen Straßenabschnitten die Teilnehmer schneller als es der von ihnen angenommenen sicheren Geschwindigkeit entspricht, während dieselben Teilnehmer in anderen Straßenabschnitten langsamer fahren als es ihrer Bewertung entspricht. (s. [14])

Zu ähnlichen Ergebnissen kam man auch im Vergleich zwischen tatsächlicher Geschwindigkeit und bewerteter Sicherheit. Das tatsächliche Verhalten der Teilnehmer während der Fahrsimulation entsprach nicht ihrer Bewertung der Verkehrssicherheit. Nur die Korrelationen zwischen den beiden Werten zur subjektiven Einschätzung der Sicherheit waren moderat und statistisch signifikant. Die Wahrnehmung der Verkehrssicherheit durch die Teilnehmer beeinflusste somit die verbal genannte optimale Geschwindigkeit, aber nicht die von ihnen gewählte tatsächliche Geschwindigkeit. (s. [14])

- Spurposition (Fahrlinie)

Abbildung 16 stellt die Spurposition eines Wagens graphisch dar. Die Spurposition wurde als Abstand zwischen der Mitte des Fahrzeugs und der Trennlinie zwischen den zwei Fahrspuren definiert. Dementsprechend bedeutet die Fahrspurposition von 6,70 bis 7,00 m, dass der Fahrer wie gewünscht in der Mitte des rechten Fahrstreifens fährt. (s. [14])

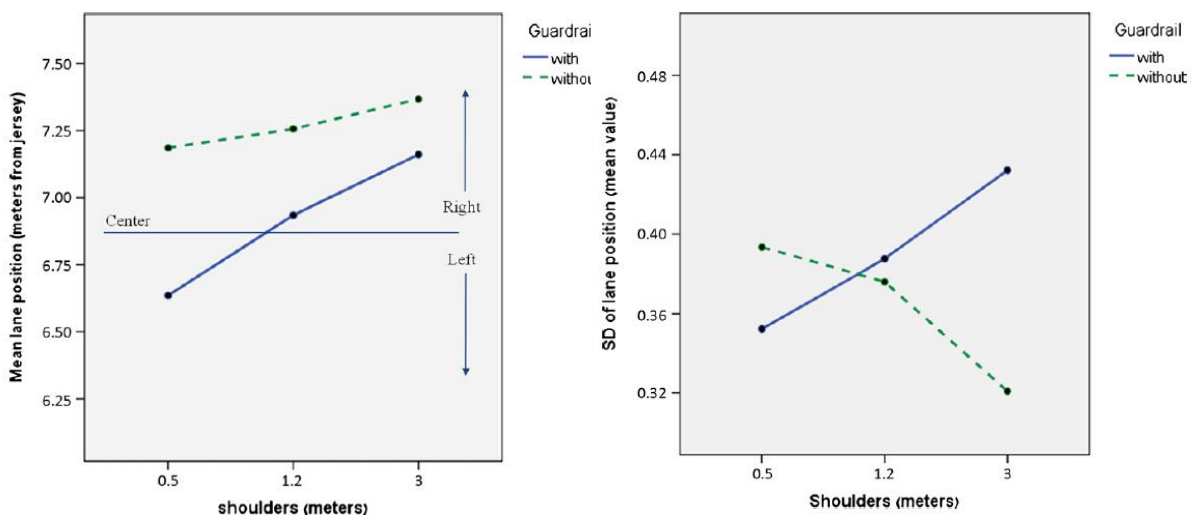


**Abbildung 16: Beschreibung der Spurposition eines Wagens (s. [14])**

Um die Wirkung jedes der drei Einflussfaktoren auf die mittlere Spurposition zu untersuchen, wurde die ANOVA-Analyse wiederholt durchgeführt. Im Gegensatz zur Analyse der tatsächlichen Geschwindigkeiten zeigte eine weitere Analyse signifikante Einflüsse der Pannestreifenbreite und der Leitplanke auf die durchschnittliche Spurposition auf. Überraschenderweise konnte kein signifikanter Einfluss der Fahrbahngeometrie festgestellt werden. Im Gegensatz zu 1,20 m (Durchschnitt = 7,1; Standardabweichung = 0,06) und 3,00 m (Durchschnitt = 7,3; Standardabweichung = 0,07) breiten Pannestreifen führen die Teilnehmer bei 0,50 m breiten Pannestreifen deutlich näher am linken Fahrstreifen (Durchschnittl. Spurposition = 6,9; SD = 0,04). (s. [14])

Abbildung 17 (links) zeigt eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Pannestreifenbreite und dem Vorhandensein der Leitplanke. Das Vorhandensein einer Leitplanke verstärkt also die Wirkung des Pannestreifens:

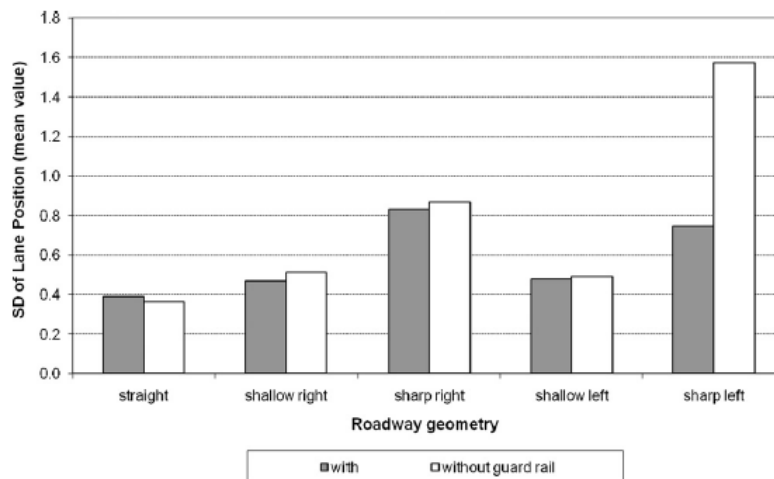
- mittlere Spurposition = 6,70–7,00 m: das Fahrzeug befindet sich in der Mitte des Fahrstreifens;
- mittlere Spurposition < 6,10 m: das Fahrzeug weicht zur linken Seite ab;
- mittlere Spurposition > 7,60 m: das Fahrzeug weicht auf die rechte Seite ab.



**Abbildung 17: Auswirkung von Pannestreifenbreite und Vorhandensein der Leitplanke auf die mittlere Fahrspurposition (links) und Auswirkung von Straßengeometrie und Leitplankenvorhandensein auf die Standardabweichung der Spurposition (rechts) (s. [14])**

In der Untersuchung von Ben-Bassat und Shinar [14] wurde mittels ANOVA mit wiederholten Messungen auch die Wirkung aller drei Faktoren –Pannestreifenbreite, Fahrbahngeometrie und Leitplankenexistenz – auf die Standardabweichung der Spurposition (SD) getestet. Ziel dieser Analyse war es, zu untersuchen, ob diese Faktoren die Fähigkeit des Fahrers beeinflussen, eine stabile Position in der Mitte des rechten Fahrstreifens zu halten. Ein Einfluss der Straßengeometrie konnte festgestellt werden. Abbildung 17 (rechts) zeigt, dass die Standardabweichung der Spurposition in scharfen Kurven deutlich höher ist als in allen anderen Formen der Straßengeometrie. Es wurde auch ein signifikanter Einfluss des Vorhandenseins von Leitplanken auf die Standardabweichung der Spurposition festgestellt: Die Standardabweichung war während der Fahrt auf einer Straße ohne Leitplanke (mittlere Standardabweichung = 0,8) signifikant höher als auf einer Straße mit Leitplanke (mittlere Standardabweichung = 0,6). (s. [14])

Um die Auswirkung von scharfen Linkskurven auf die Spurabweichung zu neutralisieren, wurde eine ANOVA für die Standardabweichung der Spurposition nur für die geraden Straßen durchgeführt. Durch diese Analyse wurde eine signifikante Wechselwirkung zwischen Pannestreifenbreite und Vorhandensein einer Leitplanke festgestellt (siehe Abb. 18). Hier hatte die Leitplanke einen gegenteiligen Effekt auf die Variabilität der Spurposition bei unterschiedlichen Pannestreifenbreiten: Wenn die Leitschiene nicht vorhanden war, nahm die Variabilität der Spurposition ab. Jedoch trat der gegenteilige Effekt auf, wenn die Pannestreifenbreite größer wurde, während, eine Leitplanke die Pannestreifen markierte. (s. [14])



**Abbildung 18: Auswirkungen von Pannestreifenbreite und Leitplankenvorhandensein auf die Standardabweichung der Spurposition auf geraden Straßen (s. [14])**

#### b) Mecheri, Rosey und Lobjois, 2016

Die in Frankreich durchgeführte Studie von Mecheri, Roses und Lobjois [15] untersuchte die Wirkung von Fahrspurweite, Pannestreifenbreite und Neugestaltung des Querschnitts auf die Anpassung des Fahrverhaltens auf 2-streifigen Landstraßen. (s. [15])

Die vorliegende Studie wurde an einem festen Fahrsimulator durchgeführt. Es ging darum herauszufinden, wie sich Geschwindigkeit und seitliche Position durch unterschiedliche Fahrspur- und Pannestreifenbreitenkombinationen beeinflussen lassen, wenn die Querschnittsbreite der Straße neu gestaltet wird. (s. [15])

Die Untersuchung wurde auf konstanten und variablen Fahrbahnbreiten auf 2-streifigen Landstraßen durchgeführt, da auf diesen Straßen in Frankreich (68 %) und Europa (62 %) rund zwei Drittel der Todesfälle bei Einzelunfällen passieren. Die Route im Fahrsimulator war eine 6,2 km lange 2-streifige Landstraße zwischen zwei Kreisverkehren. Die Route bestand aus zwei geraden Abschnitten von je 3 km, die durch eine Kurve voneinander getrennt waren. (s. [15])

Vor der Analyse wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch eine Pannestreifenverbreiterung die Teilnehmer schneller und näher an die Randlinie fahren würden. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass die Auswirkungen einer Verengung der Fahrbahn bei gleichbleibender Fahrbahnbreite durch eine Verbreiterung des Pannestreifens abgemildert würden. (s. [15])

Insgesamt 30 Fahrer (21 Männer und 9 Frauen) wurden über Internetannoncen rekrutiert und für ihre Teilnahme bezahlt. Die Altersspanne lag zwischen 20 und 52 Jahren (Mittelwert:  $29,7 \pm 10,1$  Jahre). Alle Teilnehmer hatten ihren Führerschein seit mindestens zwei Jahren und mindestens 10 000 km Fahrpraxis. Die gefahrenen Gesamtkilometer lagen laut eigenen Angaben zwischen 10 000 und

580 000 km (Mittelwert: 109 233 km) und die jährliche Laufleistung lag zwischen 5 000 und 30 000 km (Mittelwert: 9 459 km). Alle hatten normales oder korrigiertes bis normales Sehvermögen und waren sich der Hypothesen, die untersucht wurden, nicht bewusst. (s. [15])

Die Teilnehmer fuhren im Fahrsimulator das Auto auf der rechten Straßenseite bei Tageslicht und guter Sicht. Die Geschwindigkeitsbegrenzung betrug 90 km/h, dies entspricht der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für 2-streifige Landstraßen in Frankreich. Es gab zwei Untersuchungsszenarien, einmal mit Umgebungsverkehr, einmal ohne (d. h. nur mit eigenem Simulatorfahrzeug). (s. [15])

Während der Untersuchung wurden folgende Variablen gemessen und für die Auswertung der Ergebnisse herangezogen (s. [15]) :

- Abstand von der Straßenmitte (cm): Abstand zwischen der Mitte des Fahrzeugs und der Mitte der Straße (Fahrbahn). Ein Wert von 0 zeigt an, dass das Fahrzeugzentrum genau über der Straßenmitte positioniert war. Positive Werte entsprechen einer Abweichung zur Randlinie.
- Abstand zur Fahrstreifenmitte (cm): Abstand zwischen der Mitte des Fahrzeugs und der Mitte seines Fahrstreifens. Positive Werte entsprechen einer Abweichung zur Randlinie und negative Werte entsprechen einer Abweichung zur Straßenmitte.
- Abweichung der Seitenposition
- Geschwindigkeit (km/h): eine von den Teilnehmern bestimmte Fahrgeschwindigkeit im Fahrsimulator.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass der Abstand von der Straßenmitte mit der Breite des Pannestreifens zunahm: Der Abstand im Bereich ohne Pannestreifen war signifikant geringer als bei den mittleren (d. h. 0,50 m;  $192 \pm 32$  cm) und breiteren (d. h. 0,75 m;  $195 \pm 32$  cm) Pannestreifen. Es wurde auch ein signifikanter Unterschied zwischen schmalen (d. h. 0,25 m;  $189 \pm 30$  cm) und breiten Pannestreifen beobachtet. (s. [15])

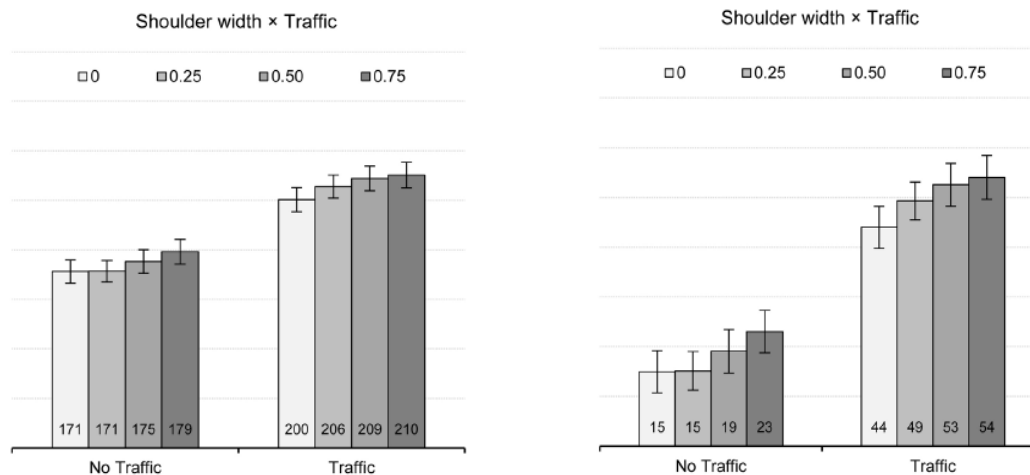
Abbildung 19 (links) zeigt: Die Auswirkungen von Pannestreifenbreiten auf den Abstand von der Straßenmitte sind unterschiedlich, je nachdem ob Umgebungsverkehr vorhanden ist oder nicht. Im verkehrsfreien Zustand nahm der Abstand von der Straßenmitte mit der Pannestreifenbreite ab 0,50 m deutlich zu. Mit Umgebungsverkehr nahm der Abstand von der Straßenmitte, mit Ausnahme der Verbreiterung von 0,25 auf 0,50 m und von 0,50 auf 0,75 m, mit der Pannestreifenbreite deutlich zu. Außerdem waren die Teilnehmer bei Umgebungsverkehr unabhängig von der Pannestreifenbreite deutlich weiter von der Straßenmitte entfernt als im verkehrsfreien Zustand, d. h. näher zum Pannestreifen. (s. [15])

Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass die Pannestreifenbreite und der Umgebungsverkehr einen deutlichen Einfluss auf die Distanz zwischen Fahrzeug und Fahrstreifenmitte haben. In Bereichen ohne Pannestreifen ( $30 \pm 27$  cm) ist der Abstand zur Fahrstreifenmitte deutlich geringer als bei mittleren ( $36 \pm 29$  cm) und breiteren ( $39 \pm 28$  cm) Pannestreifen. Es wurde diesbezüglich auch ein signifikanter Unterschied zwischen schmalen ( $32 \pm 27$  cm) und breiten Pannestreifen festgestellt. (s. [15])

Die Interaktion zwischen Pannestreifenbreite und Verkehr wurde in Abbildung 19 (rechts) dargestellt, die ebenfalls zeigt, dass der Abstand zur Fahrstreifenmitte je nach Verkehrsbedingung unterschiedlich von der Pannestreifenbreite beeinflusst wurde. Im verkehrsfreien Zustand nahm der Abstand zur Fahrstreifenmitte ab einer Pannestreifenbreite von 0,50 m deutlich zu. Im Szenario mit Umgebungsverkehr nahm diese Entfernung mit der Pannestreifenbreite deutlich zu, mit Ausnahme

der Pannenstreifenverbreiterung von 0,25 auf 0,50 m und von 0,50 auf 0,75 m. Es wurde wieder beobachtet, dass die Teilnehmer mit Umgebungsverkehr bei jeder Pannenstreifenbreite deutlich weiter von der Straßenmitte entfernt fahren als im verkehrsfreien Zustand. (s. [15])

Die Pannenstreifenbreiten wiesen in dieser Studie keinen signifikanten Einfluss auf die Variation der Seitenposition der Fahrzeuge sowie auf die Fahrgeschwindigkeit der Teilnehmer auf. (s. [15])



**Abbildung 19: Abstand zur Straßenmitte als Funktion zwischen Pannenstreifenbreite und Verkehrsbedingung (links) und Abstand zur Fahrstreifenmitte als Funktion zwischen Pannenstreifenbreite und Verkehrsbedingung (rechts) (s. [15])**

## 2.3 Unfallkenngrößen

Die Verkehrssicherheit in dieser Arbeit wird anhand der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (UPS) sowie des Verletzungsgraden der Unfallteilnehmer beurteilt. Dabei wird das Unfallgeschehen der Jahre 2012 bis 2016 durch Berechnung der Unfallkennzahlen analysiert. Verkehrsstärke spielt auch eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Verkehrssicherheit, da sie für die Bestimmung der Unfallkenngrößen notwendig ist (s. [1])

Unter Unfallkenngrößen versteht man Unfallhäufigkeit, Unfallrate sowie die Unfallfolgekosten (Unfallkostenrate) (s. [1]). Im Zuge dieser Arbeit werden diese Werte je Streckenabschnitt bestimmt, um die möglichen Unfallhäufungsstellen zu lokalisieren und festzustellen, welcher Streckenabschnitt einen Mangel an Verkehrssicherheit aufweist. Dies spielt eine wichtige Rolle bei der Wahl der Abschnitte für die Detailanalyse einzelner Unfälle. Neben den Unfallkennzahlen werden auch die unterschiedlichen Straßenmerkmale (Entwurfs- und Betriebsmerkmale) besonders berücksichtigt. In dieser Arbeit wird ein Fokus auf die Ausprägung der Pannenstreifen im ASFINAG-Netz gesetzt. Der Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreite und Unfallkennzahlen wird ausführlich analysiert.

Für die Auswertungen werden die Unfallkenngrößen Unfallhäufigkeit, Unfallrate und Unfallkostenrate betrachtet, die im Folgenden noch genauer anhand der RVS 02.02.21 [17] vorgestellt werden.

- Unfallhäufigkeit

Die Unfallhäufigkeit ist die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je Jahr auf Kreuzungen oder bis 250 m langen Straßenabschnitten. (s. [17])

$$UH = \frac{UPS/J}{L}$$

Mit: UPS/J *Personenschadenunfälle je Jahr (-)*  
L *Abschnittslänge (km)*

- Unfallrate

Die Fahrleistung auf einem Streckenabschnitt wird durch die Unfallrate (Ur) – auch relative Unfallzahl genannt – berücksichtigt. Die Unfallrate stellt die Anzahl der Verkehrsunfälle mit Personenschaden (UPS) bezogen auf eine Million Kraftfahrzeugkilometer im Beobachtungszeitraum t, einem Jahr (365 Tage), dar. (s. [17])

Auch hier dürfen die Längen der Streckenabschnitte die 250 m nicht überschreiten. Die JDTV wird durch die zahlreichen Zählstellen entlang des ASFINAG-Netzes erhoben. Jedem Abschnitt soll ein entsprechender JDTV-Wert zugeordnet. Es kommt auch vor, dass einige Abschnitte von keiner von den Zählstellen abgedeckt werden und dementsprechend keine JDTV zugeordnet bekommen. In solchen Fällen ist die Berechnung von Unfallkenngrößen sowie die Beurteilung der Verkehrssicherheit nicht möglich.

$$UR = \frac{\frac{UPS}{J} * 106}{365 * JDTV * L} \quad [\text{Unfälle}/1 \text{ Mio. Kfz-km}]$$

Mit: UPS/J *Personenschadenunfälle je Jahr (-)*  
JDTV *Jährliche durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (Kfz/24h)*  
L *Abschnittslänge (km)*

- Unfallkostenrate

Die Unfallkostenrate (KR) beschreibt die Unfallfolgekosten pro gefahrenem Kraftfahrzeugkilometer auf Basis der Anzahl der verletzten und getöteten Personen. (s. [17])

$$KR = \frac{\frac{K}{J} * 106}{365 * JDTV * L}$$

Mit: K *Unfallkosten aller Verkehrsunfälle der Unfallstelle  $[(P_{tot} * K_{tot}) + (P_{sv} * K_{sv}) + (P_{lv} * K_{lv})]$  (€)*  
JDTV *Jährliche durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (Kfz/24h)*  
L *Abschnittslänge (km)*

Die Unfallkosten K variieren je nach dem Grad der Verletzung der Unfallteilnehmer sowie nach dem Jahr in dem es zu Unfall kam. Aus der unteren Tabelle ist die Veränderung der Kosten für jede Verletzungsgrad durch die Jahre zu sehen.



**Tabelle 7: Entwicklung der Unfallkosten für jeden Verletzungsgrad durch die Jahre (s. [18])**

Unfallkosten in Österreich insgesamt und durchschnittliche Unfallkosten eines Kostenträgers bzw. einer Schadensart						
		Einheit	Preisstand 2016	Preisstand 2011	Preisstand 2004	Preisstand 1993
Unfallkosten insgesamt	mit menschlichem Leid	Mio. EUR	9.701	10.088	10.158	
	<i>ohne menschliches Leid</i>	<i>Mio. EUR</i>	<i>5.203</i>	<i>5.278</i>	<i>5.184</i>	<i>3.818</i>
Unfallkosten pro Getötetem	mit menschlichem Leid	EUR	3.316.309	3.016.194	2.461.345	
	<i>ohne menschliches Leid</i>	<i>EUR</i>	<i>1.390.800</i>	<i>1.401.085</i>	<i>1.287.004</i>	<i>805.233</i>
Unfallkosten pro Schwerverletztem	mit menschlichem Leid	EUR	429.517	381.480	291.275	
	<i>ohne menschliches Leid</i>	<i>EUR</i>	<i>87.097</i>	<i>80.166</i>	<i>55.925</i>	<i>43.605</i>
Unfallkosten pro Leichtverletztem	mit menschlichem Leid	EUR	30.575	26.894	20.896	
	<i>ohne menschliches Leid</i>	<i>EUR</i>	<i>4.235</i>	<i>3.716</i>	<i>2.792</i>	<i>3.695</i>
Sachschadenskosten pro Unfall		<i>EUR</i>	<i>5.481</i>	<i>5.245</i>	<i>4.075</i>	

Da für diese Arbeit der Zeitraum von 2012 bis 2016 relevant ist, war es notwendig für ihn die entsprechenden Unfallkosten zu bestimmen. Durch die lineare Interpolation und unter Berücksichtigung des menschlichen Leides wurden die fehlenden Unfallkosten anhand der Tabelle 7 berechnet.

**Tabelle 8: Händisch berechnete Unfallkosten mittels lineare Interpolation**

	2012	2013	2014	2015	2016
Unfallkosten pro Getötetem	3 076 217 €	3 136 240 €	3 196 263 €	3 256 286 €	3 316 309 €
Unfallkosten pro Schwerverletztem	391 087 €	400 695 €	410 302 €	419 910 €	429 517 €
Unfallkosten pro Leichtverletztem	27 630 €	28 366 €	29 103 €	29 839 €	30 575 €

## 2.4 Fazit

Die Verkehrssicherheit auf den Autobahnen kann durch (s. [2]):

- die Wahl der Entwurfselemente (keine Mindestelemente),

- eine ausgewogene Elementfolge im Lageplan,
- eine Anpassung von Lageplan und Höhenplan,
- die Möglichkeit, den vorausliegenden Streckenabschnitt ausreichend weit einzusehen,
- einen Querschnitt, der eine ausreichende Breite und einen Pannestreifen vorweist,
- eine rechtzeitige Anordnung und eindeutige Begreifbarkeit der Beschilderung,
- einen möglichst kurzen Weg des Oberflächenwassers und eine Vermeidung von entwässerungsschwachen Zonen,
- eine Vorbeugung von seitlichen Hindernissen oder Maßnahmen zum Schutz vor gefährlichen Hindernissen,
- eine Vermeidung von Wildunfällen durch Anordnung von Wildschutzzäunen, Wildbrücken und -unterführungen sowie durch Verzicht auf für Wild attraktive Bepflanzung,
- eine regelrechte Ausführung der Markierungen und Leiteinrichtungen, positiv beeinflusst werden.

Die Verkehrssicherheit in dieser Arbeit wird anhand der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (UPS) sowie der Verletzungsschwere der verunglückten Verkehrsteilnehmer beurteilt. Dabei wird das Unfallgeschehen der Jahre 2012 bis 2016 durch eine Berechnung der Unfallkennzahlen analysiert. Unter Unfallkenngrößen versteht man Unfallhäufigkeit, Unfallrate sowie die Unfallfolgekosten (Unfallkostenrate). (s. [1])

Nach der Analyse von Richtlinien aus unterschiedlichen Ländern kann der Pannestreifen als Standardelement eines Autobahnquerschnitts, welches nicht zur Fahrbahn gehört und rechts von der Fahrbahn liegt, bezeichnet werden.

Die Anordnung sowie die Breite des Pannestreifens hängt von der Verkehrsstärke ab. Während die AGR (European Agreement on Main International Traffic Arteries) eine Mindestbreite des Pannestreifens von 2,50 m festlegt, weisen die Pannestreifen in unterschiedlichen Ländern unterschiedliche Breiten auf (z. B. 2,00 m Mindestbreite des Seitenstreifens bei den deutschen Autobahnen der EKA 3). Nach AGR muss die Mindestbreite des Pannestreifens bei einem hohen Lkw-Anteil 3,00 m betragen. In Österreich soll der Pannestreifen im Regelfall 3,00 m breit und in den Niederlanden 3,50 m breit ausgeführt werden.

Zusammenfassend können dem Pannestreifen folgende Aufgaben zugeordnet werden (s. [4]):

- Möglichkeit zum sicheren Abstellen defekter Fahrzeuge,
- Ausweichmöglichkeit bei plötzlichen Hindernissen auf der Fahrbahn oder bei Fahrfehlern,
- Zufahrtsmöglichkeit für Rettungs- und Pannendienste,
- Raum, von dem aus Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten durchgeführt werden können,
- Raum für polizeiliche Aufgaben oder Nutzung als Behelfsfahrstreifen bei Unfall- und Baustellen.
- Im Bereich von Kapazitätsengpässen kann der Pannestreifen umgenutzt werden, um einen fließenden Verkehr zu gewährleisten (in Deutschland).

Anhand der Aufgaben von Pannestreifen ist zu sehen, dass Pannestreifen ein hohes Verkehrssicherheitsniveau gewährleisten und den Betriebsdienst erleichtern.

Die Anzahl der Halte auf dem Pannestreifen wird mehr von der Verkehrsbelastung als von der Anzahl der Fahrstreifen und dem Vorhandensein von Pannestreifen beeinflusst. Je höher die Verkehrsstärke ist, desto seltener halten die Fahrzeuge an, die Verkehrsteilnehmer nehmen das Anhalten bei geringerer Verkehrsbelastung demnach als weniger gefährlich wahr. (s. [6])

Die Auswirkungen von Pannestreifenfreigaben wurden in mehreren Studien untersucht. Für diese Arbeit wurden relevantesten Untersuchungen detailliert analysiert und deren Erkenntnisse vorgestellt. Laut einer dieser Studien, der Vorher-Nachher-Untersuchung des Ingenieurbüros Vössing, beschrieben in Arnold [4], wurden keine negativen Auswirkungen einer Pannestreifenumnutzung bzw. eines Nichtvorhandenseins von Pannestreifen auf die Unfallzahlen sowie die Unfallschwere auf Strecken in Ballungsräumen ohne Pannestreifen, auf welchen die Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverbote herrschen, beobachtet. Diese Studie stellte auch fest, dass die Unfallraten (UPS und USS) durch eine Pannestreifenumnutzung eher sinken. (s. [4])

Die Auswirkungen einer Pannestreifenfreigabe auf die Kapazität und die Verkehrssicherheit auf der A22 (Brenner Autobahn) wurden in der italienischen Fallstudie von Guerrieri und Mauro [9] untersucht. Nach Meinung der Autoren führt eine Pannestreifenfreigabe für 200 Stunden pro Jahr zu vernachlässigbaren Schwankungen der erwarteten Unfallhäufigkeiten im Vergleich zur aktuellen Zeit (höchstens 0,28 % bei Ein-Fahrzeug-Unfällen mit tödlichen oder nicht tödlichen Verlusten). Daher zeigt die Anwendung des Pannestreifenfreigabemodells in dieser Fallstudie, dass die Aktivierung der Pannestreifenfreigabe mit ihren beträchtlichen Vorteilen für die Autobahnfunktionalität nicht zu signifikanten Änderungen der Verkehrssicherheit auf der Autobahn A22 führt. (s. [9])

Die Studie von Sisiopiku, Sullivan und Fadel, beschrieben in Coeffey und Park [12], sollte die Anleitung für die zukünftige Pannestreifenfreigabe in den USA darstellen. Ihre Ergebnisse zeigten, dass eine Pannestreifenfreigabe zu einer Reduktion von Emissionen führt. Die Emissionskosten für Pannestreifenfreigabe-Szenarien sind niedriger bis gleichbleibend im Vergleich mit den Basisszenarien ohne Pannestreifenfreigabe. Die Studie stellt weiter fest, dass im Vergleich zu den Szenarien ohne Pannestreifenfreigabe höhere bis gleichbleibende Unfallkosten bei den Pannestreifenfreigabe-Szenarien auftreten. Nach dieser Studie sind sowohl die Unfallkosten als auch die Emissionskosten in den verschiedenen Szenarien mit Pannestreifenfreigabe um unterschiedliche Beträge niedriger. (s. [12])

Die Freigabe von Pannestreifen auf deutschen Autobahnen A4, A6 und A7 wurde in der Studie von Lemke, beschrieben in Coeffey und Park [12], behandelt. In dieser Studie wird der Pannestreifen bei Erreichen einer bestimmten Verkehrsstärke freigegeben. Als wichtigste Erkenntnis stellt diese Studie fest, dass ein Autobahnabschnitt mit freigegebenem Pannestreifen auf dem gleichen Sicherheitsniveau bleibt, die Verkehrssicherheit durch die Pannestreifenfreigabe also nicht negativ beeinflusst wird. (s. [12])

Ergebnisse einer deutschen Fallstudie von Geistefeldt, vorgestellt in Coeffey und Park [12] zeigten, dass eine Pannestreifenfreigabe zwischen Obertshausen und Offenbach auf der Autobahn A3 überhaupt keinen Einfluss auf die Unfallrate hatte, aber die Unfallraten stromaufwärts des freigegebenen Pannestreifens sich spürbar verbesserten. Die Studie legt nahe, dass dieser Rückgang stromaufwärts auf eine Reduktion von Auffahrunfällen zurückzuführen ist, die bei Annäherung an einen Stau auftreten. (s. [12])

In der Vorher-Nachher-Studie von Aron, Seidowsky und Cohoen [13] wird die Pannestreifenfreigabe auf einem 2,30 km langen Abschnitt, den sich die Stadtautobahnen A4 und A86 in Paris teilen, untersucht. Die Pannestreifenfreigabe auf dem geteilten Abschnitt führt hauptsächlich zu einer Verringerung der Verkehrsdichte und dadurch auch der Unfallanzahl, da das Unfallrisiko bei fließendem Verkehr geringer ist als bei dichtem Verkehr. Durch die Wanderung der Verkehrsdichte und der Unfälle stromabwärts wurde dieser Einfluss teilweise ausgeglichen. Generell ist die Auswirkung auf die Verkehrssicherheit in diesem wichtigen Autobahnabschnitt positiv (3 % weniger Unfälle auf dem ganzen Abschnitt während der Pannestreifenfreigabe), jedoch statistisch unbedeutend (Zunahme der Unfälle um 0,5 % bei Standardabweichung von 2,7). (s. [13])

Der Fokus der Literaturrecherche liegt jedoch auf dem Einfluss von Pannestreifenbreiten auf die Verkehrssicherheit. Es gibt viele Studien, die diese Wirkung untersuchten.

Eine dieser Studien ist die Studie von Bauer et al., beschrieben in Mattheis [6], welche zeigte, dass das Vorhandensein von Pannestreifen und die Einrichtung von Nothaltebuchten auf Abschnitten ohne Pannestreifen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben. (s. [6])

Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung führte Mit-Ohne-Vergleiche mit Fokus auf die Unfallkenngröße und eine umfassende statistische Analyse durch. Es stellte sich heraus, dass 2-streifige Abschnitte eine leicht geringere Unfallrate mit Personenschaden aufwiesen als 3-streifige. Diese Aussage gilt für Strecken ohne sowie für Strecken mit Pannestreifen. Die Unfallrate auf Strecken ohne Pannestreifen ist um etwa 26 % höher als auf den Strecken mit Pannestreifen. Strecken ohne Pannestreifen zeigen unter gleichen Voraussetzungen weitaus höhere Unfallraten. Die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden ist auf Strecken ohne Pannestreifen um 37 % höher als auf den Strecken mit Pannestreifen. Ein niedriger Ferienverkehrsanteil, der Faktor Ballungsraum, ein Lkw-Anteil kleiner als 10 %, ein Lkw-Überholverbot und Geschwindigkeitsbeschränkungen verursachen die statistisch nicht mehr signifikanten Unterschiede in den Unfallraten zwischen Strecken mit und solchen ohne Pannestreifen. Nach Ansicht der Autoren spielt der Pannestreifen im Bereich der Verkehrssicherheit eine sehr wichtige Rolle. (s. [6])

Laut der Studie von Brühning und Völker, zu finden in Mattheis [6], weisen Strecken mit 2-streifigen Richtungsbahnen ohne Pannestreifen höhere Unfallraten auf als solche mit Pannestreifen. 2-streifige Richtungsfahrbahnen mit Pannestreifen haben eine leicht geringere (nicht statistisch wichtige) Unfallrate als 3-streifige. (s. [6])

Nach der Studie von Heidemann et al. [7] erhöhen sich die Gesamtunfallzahlen bei Fehlen eines Pannestreifens. Bei einem Schwerverkehrsanteil über 20 % erhöht sich Unfallzahl um ca. 80 %. Strecken ohne Pannestreifen weisen um 38 % mehr Unfälle mit Personenschaden sowie um 41 % mehr Verunglückte (leicht-, schwerverletzte und getötete Personen) auf als Strecken mit Pannestreifen. Dies kann jedoch durch Anordnung von Überholverboten und Geschwindigkeitsbeschränkungen auf den Strecken mit fehlenden Pannestreifen kompensiert werden. Während 2-streifige Strecken ohne Pannestreifen eine um 37 % höhere Unfallkostenrate haben, weisen 3-streifige Strecken ohne Pannestreifen eine um 158 % höhere Unfallkostenrate auf. Autobahnabschnitte mit drei Fahrstreifen zu je 3,50 m ohne Pannestreifen haben eine um 141 % höhere Unfallkostenrate als 2-streifige (je 3,75 m) Abschnitte mit Pannestreifen. Durch Anordnung von Überholverboten und Geschwindigkeitsbeschränkungen auf den 3-streifigen Abschnitten ohne Pannestreifen reduziert sich die Unfallkostenrate auf 102 %. Zusammenfassend stellt der Pannestreifen nach dieser Untersuchung einen signifikanten Verkehrssicherheitsfaktor dar. Durch Anordnung eines Pannestreifens wird die Verkehrssicherheit erheblich verbessert. (s. [7])

In der Fallstudie von Nitsche et al. [8] wurde die Notwendigkeit für Maßnahmen zur Verbesserung oder Erweiterung des Straßenrandes (d. h. die Einführung unbefestigter Randstreifen, Pannestreifen und Bäume mit einem Abstand von 1,50 m vom Straßenrand) bewertet. Es wurden insgesamt drei Maßnahmen, die unterschiedliche Pannestreifenbreiten aufweisen, umgesetzt. Maßnahme 1 (Pannestreifenbreite = 2 m) und Maßnahme 2 (Pannestreifenbreite = 1 m) zeigten ähnliche Simulationsergebnisse, während Maßnahme 3 (Pannestreifenbreite = 0,50 m) beim Fahrer zu zusätzlichen Brems- und Lenkreaktionen führt. Das Einsetzen von Pannestreifen zeigt einen optimierten Fall vor. Durch die Einführung von Pannestreifen kommt es bei einem spezifischen Unfallszenario zu deutlichen Verbesserung der Verkehrssicherheit. (s. [8])

Eine ähnliche Untersuchung wurde von Zegeer et al. [10] durchgeführt. Die Ziele dieser Analyse waren (s. [10]):

- eine oder mehrere Methoden zur Bewertung von Gefahren am Straßenrand zu entwickeln,
- Faktoren zu ermitteln, die Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere bei Unfällen durch Abkommen von der Straße haben,
- und die Vorteile unterschiedlicher Verbesserungsmaßnahmen des Straßenrandbereiches festzulegen.

Dabei zeigte sich: Wird die Breite des Straßenrandes um 1,50 m erhöht, nimmt die Anzahl der „verbundenen Unfälle“ (Unfälle durch Abkommen von der Straße gemeinsam mit Frontalkollisionen, Streifschaden in Gegen- und Gleichfahrtrichtung) um 13 % ab. Bei einer Erhöhung auf 6,10 m wird die Unfallzahl nach dem Modell um 44 % geringer. Nach diesem Modell sinkt die angepasste durchschnittliche Einzelfahrzeugunfallrate durch die Zunahme der Fahrstreifen- und Pannestreifenbreite sowie der Straßenrandbreite, welche für das sichere Bergen eines außer Kontrolle geratenen Fahrzeugs notwendig ist. Die niedrigste Einzelfahrzeugunfallrate tritt bei einer Straßenrandbreite von 5,20 bis 9,14 m auf. (s. [10])

Eine nicht veröffentlichte Studie von Hauer [16] beschäftigte sich mit der Literaturrecherche über die Wirkung von Pannestreifen bzw. ihrer Breiten auf die Verkehrssicherheit. Laut Hauer [16] zeigen mehrere Studien eine Verbindung zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsstärke auf. Die Verkehrssicherheit bei höheren Verkehrsstärken hängt mehr als bei den niedrigen Verkehrsstärken von der Breite des Pannestreifens ab. Es gibt Hinweise darauf, dass Straßen mit breiteren Pannestreifen zu schwereren Unfällen neigen. Es gibt die Tendenz, dass ab einer bestimmten Pannestreifenbreite (ca. 1,83–2,43 m) die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden zunimmt. Die Sicherheitseffekte von Pannestreifen bei ebenen und geraden Straßen sind wahrscheinlich wesentlich geringer als bei scharfen Kurven und Straßen mit starker Längsneigung. Die analysierten Studien zeigen, dass bei breiteren Pannestreifen weniger Unfälle durch Abkommen von der Straße sowie im Begegnungsverkehr auftreten, welche etwa 40 bis 60 % aller Unfälle ausmachen. Jedoch können breitere Pannestreifen mit mehr "anderen" Unfällen in Verbindung gebracht werden. Straßen mit befestigten Pannestreifen sind mit weniger Unfällen verbunden als ähnliche Straßen mit Rasenstreifen. (s. [16])

Das Auftreten von einer großen Anzahl an Kollisionen, welche durch das Abkommen von Fahrzeugen ohne Beteiligung Dritter oder durch schwere Wahrnehmungsschwierigkeiten verursacht werden, deutet darauf hin, dass die Fahrer häufig Probleme mit dem Aufrechterhalten der richtigen Querführung haben. (s. [15])

Aus diesem Grund haben einige Studien (Ben-Bassat und Shinar [14]; Mecheri, Rosey und Lobjois [15]) den Einfluss von unterschiedlichen Straßenquerschnittselementen und ihrer Merkmale (Fahrbahnbreite, Pannestreifenbreite etc.) auf das Fahrverhalten von Verkehrsteilnehmern analysiert. (s. [14])

In der Studie von Ben-Bassat und Shinar [14] wurde mittels Varianzanalyse (ANOVA) mit wiederholten Messungen der Einfluss von Pannestreifenbreite, Vorhandensein von Leitplanken und Straßengeometrie auf die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit ermittelt. Es zeigte sich, dass der Fahrer die Fahrgeschwindigkeit mit zunehmender Pannestreifenbreite erhöht, wenn eine Leitplanke die Kante des Pannestreifens markiert. Auf einer Straße ohne Leitplanken bleibt der Einfluss der Pannestreifenbreite minimal und die Durchschnittsgeschwindigkeit relativ konstant. (s. [14])

Es wurde auch ein signifikantes Zusammenwirken zwischen Pannestreifenbreite und Fahrbahngeometrie festgestellt. Außerdem fand man heraus, dass die Breite von Pannestreifen und das Vorhandensein von Leitplanken eine deutliche Wirkung darauf haben, welche Geschwindigkeit als sicher empfunden wird. Die empfundene sichere Geschwindigkeit erhöht sich mit der Zunahme der Pannestreifenbreite. Auf den Abschnitten ohne Leitplanke wurde die empfundene sichere Geschwindigkeit der Teilnehmer nicht durch die Pannestreifenbreite beeinflusst. (s. [14])

Laut Studie ist die wahrgenommene Sicherheit wie erwartet auf geraden Straßen mit einer Pannestreifenbreite von 3,00 m und Leitplanke am höchsten. Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) zeigten auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Pannestreifenbreite und der Straßengeometrie. Während sich die bewertete Verkehrssicherheit mit zunehmender Pannestreifenbreite deutlich erhöhte (6,7 für Pannestreifen mit 1,20 m und 7,1 für solche mit 3,00 m), war die durchschnittlich bewertete Verkehrssicherheit bei engen Pannestreifen (0,50 m) am niedrigsten (Mittelwert: 6,1). Auch zwischen Pannestreifenbreite und Leitplankenexistenz wurde eine signifikante Wechselwirkung gefunden. Das Vorhandensein einer Leitplanke verstärkt die Wirkung des Pannestreifens. Wenn in scharfen Kurven keine Leitplanke vorhanden war, nahm die Standardabweichung der Variabilität der Spurposition zu. Bei den geraden Straßen trat der gegenteilige Effekt auf, die Abweichung der Variabilität der Spurposition nahm also ab. Bei zunehmender Pannestreifenbreite und vorhandener Leitplanke nahm die Standardabweichung der Variabilität der Spurposition zu. (s. [14])

Die Studie von Mecheri, Rosey und Lobjois [15] untersuchte, wie Fahstreifenbreite, Pannestreifenbreite und Querschnittsänderung sich auf die Anpassung des Fahrverhaltens auf 2-streifigen Landstraßen auswirken. Diese Analyse stellte eine Hypothese auf, dass durch eine Pannestreifenverbreiterung die Fahrer schneller und näher an die Randlinie fahren würden. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass die Effekte einer Fahrbahnverengung bei einer festen Fahrbahnbreite durch breitere Pannestreifen abgemildert würden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass der Abstand von der Straßenmitte mit der Breite des Pannestreifens zunahm: Dieser Abstand war ohne Pannestreifen signifikant geringer als bei den mittleren und breiteren Pannestreifen. (s. [15])

Die Auswirkungen von Pannestreifenbreiten auf den Abstand von der Straßenmitte unterscheiden sich, so zeigte die Studie, in Abhängigkeit von den Verkehrsbedingungen. Im verkehrsfreien Zustand nahm der Abstand von der Straßenmitte mit der Pannestreifenbreite ab 0,50 m deutlich zu. Bei Verkehr nahm der Abstand von der Straßenmitte mit der Pannestreifenbreite deutlich zu – Ausnahmen bildeten die Verbreiterung von 0,25 auf 0,50 m und von 0,50 auf 0,75 m. Bei umgebendem Verkehr waren die Teilnehmer bei jeder Pannestreifenbreite deutlich weiter von der Straßenmitte

entfernt als im verkehrsfreien Zustand. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigte deutlich den Einfluss von Pannestreifenbreite und umgebendem Verkehr auf die Distanz zur Fahrstreifenmitte. In Bereichen ohne Pannestreifen ist der Abstand zur Fahrstreifenmitte deutlich geringer als bei mittleren und breiteren Pannestreifen. Der Abstand zur Fahrstreifenmitte je nach Verkehrsbedingungen wurde von der Pannestreifenbreite unterschiedlich beeinflusst. Im verkehrsfreien Zustand nahm der Abstand zur Fahrstreifenmitte ab einer Pannestreifenbreite von 0,50 m deutlich zu. Bei umgebendem Verkehr nahm diese Entfernung bei Verbreiterung des Pannestreifens ebenfalls zu, mit Ausnahme der Pannestreifenverbreiterung von 0,25 auf 0,50 m und 0,50 auf 0,75 m. Es wurde außerdem beobachtet, dass die Teilnehmer bei Umgebungsverkehr – wie auch immer die Pannestreifenbreite ausgestaltet war – deutlich weiter von der Straßenmitte entfernt waren als im verkehrsfreien Zustand. (s. [15])

Die Pannestreifenbreiten wiesen in dieser Studie keinen signifikanten Einfluss auf die Variation der Seitenposition der Fahrzeuge sowie auf die Fahrgeschwindigkeit

### 3 Interviews mit Straßenmeistern

Der Pannestreifen hat eine wichtige Funktion für den Straßenbetriebsdienst (z. B. als Arbeits- und Absicherungsraum). Der Straßenbetriebsdienst wird auf Autobahnen durch die Autobahnmeistereien der ASFINAG verrichtet. Insgesamt gibt es 43 Autobahnmeistereien in Österreich, die sich auf fünf Regionen aufteilen. Die Aufgaben der Straßen- und Autobahnmeistereien sind Betrieb und Instandhaltung der Strecken sowie das Gewährleisten der Verkehrssicherheit. Um diese Aufgaben zu erfüllen, müssen Leistungen wie etwa die bauliche Unterhaltung, Grünpflege, Straßenausstattung, Reinigungsarbeiten und der Winterdienst erbracht werden, und es muss außerdem für die betriebliche Straßenunterhaltung, so zum Beispiel für Streckenkontrollen, Bereitschaftsdienste (z. B. im Winter), sowie Unfallstellenräumung und -absicherung, gesorgt werden. (s. [1])

Um Nutzen und Wirkung von Pannestreifen sowie deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus der Sicht des Straßenbetriebs zu eruieren, wurden zum Zweck dieser Arbeit Interviews mit verschiedenen Autobahnmeistern durchgeführt. Ein persönliches Interview war dabei eine geeignete Methode zu erfragen, wie bei diesen Strecken der tägliche Straßenbetriebsdienst abläuft und inwiefern das Vorhandensein und die Ausprägung eines Pannestreifens einen Einfluss auf den Straßenbetriebsdienst hat. Da Pannestreifen seitens der Autobahnmeistereien täglich genutzt werden, können die Autobahnmeister aus eigener Erfahrung über Wirkung von Pannestreifen bzw. ihres Nichtvorhandenseins auf die Verkehrssicherheit berichten.

Für die Interviews wurden fünf Autobahnmeister nach den streckenspezifischen Eigenschaften der von ihnen zu betreuenden Abschnitte gewählt. Dabei sollten sich die Abschnitte in Bezug auf Längsneigung, Kurvigkeit, Verkehrsstärke und Ausprägung des Pannestreifens als wichtigstes Kriterium unterscheiden (nicht vorhanden, schmal, normalbreit, überbreit).

Die Fragen in den Interviews wurden in drei Gruppen gegliedert. Die erste Gruppe umfasst Fragen bezüglich des Betrachtungsgebietes (Einzugsgebiet) der Autobahnmeisterei. Während in der zweiten Gruppe Fragen über die Nutzung von Pannestreifen konzentriert sind, beinhaltet die dritte Gruppe Fragen über Unfälle auf Pannestreifen (Verkehrssicherheit). Insgesamt wurden die folgenden 14 Fragen als Vorlage für die Interviews definiert, jedoch wurden im Zuge der Gespräche weitere interessante Informationen zu Pannestreifen gewonnen:

#### 1. Betrachtungsgebiet

- 1a. Welche Autobahnabschnitte umfasst ihr Zuständigkeitsgebiet?
- 1b. Gibt es auf diesen Abschnitten Pannestreifen oder sonstige Nothaltemöglichkeiten (z. B. Pannebuchten in gewissen Abständen)?
- 1c. Wie sind die Pannestreifen auf diesen Abschnitten ausgeprägt (Breite)?

#### 2. Nutzung von Pannestreifen

- 2a. Für welche Zwecke (Grünpflege, Instandhaltung, Winterdienst etc.) und wie oft wird der Pannestreifen von der Meisterei genutzt?
- 2b. Für welche Zwecke und wie oft wird der Pannestreifen von den Verkehrsteilnehmern genutzt?
- 2c. Für welche Zwecke und wie oft wird der Pannestreifen von Einsatzfahrzeugen genutzt?
- 2d. Wie werden Arbeitsstellen oder Unfälle auf Pannestreifen abgesichert (Beschilderung, Objekte, Geschwindigkeitsbegrenzung etc.)? Gibt es dazu ein Handbuch wie beispielsweise in Deutschland das RSA-Handbuch?



2e. Wie sehen Sie generell den Nutzen von Pannestreifen, könnte auf den Pannestreifen auch verzichtet werden (z. B. auf bestimmten Abschnitten)?

### 3. Verkehrssicherheit: Unfälle generell sowie mit Fokus auf Pannestreifen

3a. Wie oft kommt es zu Unfällen? Gibt es in diesem Gebiet Unfallhäufungsstellen (UHS)? Wie oft kommt es zu Unfällen auf Pannestreifen durch von Verkehrsteilnehmern abgestellte Fahrzeuge oder Fahrzeuge der Meisterei?

3b. Was sind der häufigste Unfalltyp und die häufigste Unfallursache?

3c. Sind die Unfälle wetterbedingt bzw. passieren sie vermehrt zu gewissen Tageszeiten?

3d. Sind die Unfälle abhängig von streckenspezifischen Eigenschaften wie Längsneigung, Kurvigkeit und Geschwindigkeitslimit?

3e. Treten Unfälle vermehrt bei hohen Verkehrsstärken auf?

3f. Finden Sie generell, dass Strecken mit Pannestreifen (für die Verkehrsteilnehmer und Ihre Mitarbeiter) eine höhere Verkehrssicherheit bedeuten?

In der untenstehenden Tabelle findet sich eine Übersicht mit Informationen zu den fünf befragten Autobahnmeistern. In den folgenden Unterkapiteln werden die Antworten und Erkenntnisse pro Fragegruppe für jedes der fünf Interviews zusammengefasst.

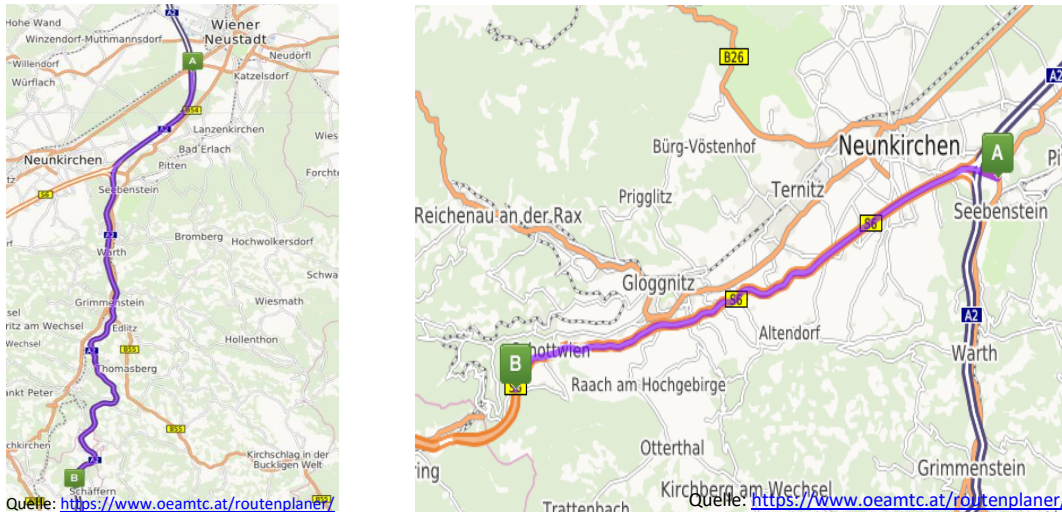
**Tabelle 9: Informationen zu den befragten Autobahnmeistern**

ID	Autobahnmeisterei	Name des Autobahnmeisters	Autobahnmeister seit	Art des Interviews
1.	Warth-Grimmenstein, NÖ	Stefan Hoppel	4 Jahren	persönlich
2.	Eisenstadt, B	Rene Rohan	-	telefonisch
3.	Lebring, ST	Johannes Plösch	1 Jahr	persönlich
4.	Ilz-Fürstenfeld, ST	Ralf Lafer	10 Jahren	persönlich
5.	Wolfsberg, K	Robert Schrammel	10 Jahren	persönlich

## 3.1 Interview: Autobahnmeisterei Warth

### Ad 1) Betrachtungsgebiet

Das Zuständigkeitsgebiet der Autobahnmeisterei Warth, bei welcher Herr Hoppel als Autobahnmeister tätig ist, deckt einen Abschnitt der Südautobahn (A2) im Wechselgebiet von Kilometer 44 (Anschlussstelle Wiener Neustadt West) bis Kilometer 87,30 (Anschlussstelle Schäftern) sowie einen Teil der Semmering-Schnellstraße (S6) von Kilometer 0 bis Kilometer 24 ab. Die Strecken sind durch hohe Längsneigungen und hohe Kurvigkeit geprägt. Auf der Autobahn A2 ist zudem ein hoher Schwerverkehrsanteil zu beobachten.



**Abbildung 20: Zuständigkeitsgebiet der AM Warth**

In seinem Zuständigkeitsgebiet gibt es Streckenabschnitte mit schmalen oder überhaupt ohne Pannestreifen sowie mit Pannestreifen optimaler Ausprägung. Die Breiten der Pannestreifen variieren demnach zwischen „nicht vorhanden“ (0 m) und 3,50 m. Auf der A2 Richtung Graz, zwischen Kilometer 70 und Kilometer 78, sind keine Pannestreifen vorhanden, wobei dieser Streckenabschnitt außerdem eine Steigung von 3 % aufweist. Auf der A2 beträgt die durchschnittliche Pannestreifenbreite etwa 2,00 m. Auf der Semmering Schnellstraße von Kilometer 0 bis Kilometer 10 sind die Pannestreifen 3,25 bis 3,50 m breit. Ab Kilometer 10 werden sie schmaler. Es gibt keine Stellen, die offiziell als Pannebuchten gekennzeichnet sind. Es gibt einige Betriebsausfahrten und Buchten für Sperrungen, die seitens der ASFINAG benutzt werden, die hin und wieder auch von Pkws und Lkws zum Anhalten verwendet werden.



**Abbildung 21: Autobahn A2 im Bereich der Landesgrenze Niederösterreich-Steiermark (Wechselgebiet) mit schmalen Pannestreifen**



**Abbildung 22: Autobahn A2 im Bereich der Anschlussstelle Schäffern mit normalbreiten Pannestreifen**

### **Ad 2) Nutzung von Pannestreifen**

Die Autobahnmeisterei (AM) Warth nutzt die Pannestreifen für die Durchführung aller Instandhaltungs- und Betriebsarbeiten. Die Pannestreifen werden täglich für die Erbringung verschiedener Leistungen durch die AM in Anspruch genommen. Ab einer Pannestreifenbreite von 3,25 m können die Arbeiten der AM (z. B. Mähen) ohne Absicherung erfolgen. Je breiter der Pannestreifen, desto besser und sicherer ist das für den Straßenbetrieb.

Aufgrund der Verkehrsstärke darf die AM ihre Tätigkeiten auf der A2 Richtung Wien montags erst ab 10 Uhr und an den anderen Tagen erst ab 9 Uhr durchführen. In Richtung Graz müssen die Arbeiten bis spätestens 15 Uhr abgeschlossen sein. Herr Hoppel erkennt, dass es im Verkehr in den letzten Jahren zu Veränderungen gekommen ist. Der Richtungsbezug nach Wien ist nicht mehr so stark ausgeprägt, mittlerweile ist die Tagesganglinie Richtung Graz mit jener der Gegenrichtung Wien vergleichbar. Früher gab es gegen 6 Uhr in Richtung Graz weniger Verkehr als heute. Ähnliches gilt auch für die Fahrtrichtung Wien. Gegen 15:30 Uhr war die Verkehrsstärke viel niedriger im Vergleich zur derzeitigen Verkehrsstärke. Auf der S6 gibt es keine Zeitbeschränkungen für die Arbeiten der AM. Ab 6 Uhr wird gearbeitet.

Im Zuständigkeitsgebiet der AM Warth dürfen auch Fremdfirmen (z. B. die Firma Steiner) Arbeiten mit eigener Baustellenabsicherung selbst ausführen, benötigen dafür jedoch die Genehmigung der ASFINAG, wenn diese länger als einen Tag in Anspruch nehmen. Alle Arbeiten unterliegen der RVS und ihre Qualität wird von der ASFINAG kontrolliert.

Die Verkehrsteilnehmer nutzen die Pannestreifen meist im Fall einer Panne. Gesetzlich gesehen ist das Anhalten auf dem Pannestreifen auch nur im Fall einer Panne oder eines Notfalls gestattet. Als Ausnahme gilt das Befahren des Pannestreifes zur Bildung der Rettungsgasse. In seltenen Fällen kommt es zum Anhalten von Lkws auf Pannestreifen oder Pannenbuchten (Lkw-Fahrer machen kleine Pausen oder Ruhezeit). Der Pannestreifen wird auch zum Abstellen von Unfallfahrzeugen genutzt, sodass hier möglichst schnell wieder die Hauptfahrbahn nach einer Streckensperre durch einen Unfall freigegeben werden kann.

Im Fall, dass die Rettungsgasse nicht funktioniert, fahren die Einsatzfahrzeuge auf dem Pannestreifen. Während des Gesprächs kam es zur Frage, ob die Autobahnpolizei den Pannestreifen für das Anhalten von Verkehrsteilnehmern nutzen darf. Die Antwort lautete: So etwas kann vorkommen, allerdings nur

in Ausnahmefällen (wenn der Fahrer z. B. offensichtlich betrunken ist). Im Normalfall hält die Autobahnpolizei Fahrer wegen der größeren Sicherheit immer auf Parkplätzen oder Raststationen an. Der RVS unterliegen nicht nur die von Fremdfirmen erbrachten Leistungen, sondern auch alle Instandhaltungs- und Betriebsarbeiten der AM. Seit dem 1. Mai 2012 ist die RVS 05.05.42 (Verkehrsführung, Verkehrsführung bei Baustellen, Baustellenabsicherung, Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen) im Bereich der Bundesstraßen für das Absichern von Unfallstellen anzuwenden. Herr Hoppel sieht die Pannestreifen als einen unverzichtbaren Teil des Autobahnquerschnitts und wünscht sich breitere Pannestreifen für sein Betrachtungsgebiet. Wie schon erwähnt, beträgt die durchschnittliche Breite in seinem Bereich etwa 2,00 m und es gibt auch einige Streckenabschnitte ohne Pannestreifen. Bei fehlendem oder schmalen Pannestreifen (< 3,00 m) muss die AM für die Ausführung jeder Tätigkeit im Bereich von schmalen bzw. nicht vorhandenen Pannestreifen eine Sperre des ersten Fahrstreifens vornehmen. Für eine fünfzehnminütige Arbeit (z. B. Tausch eines Verkehrsschildes) müssen eineinhalb Stunden Zeit zum Absperren und Absichern aufgewendet werden, was natürlich sehr kosten- und personalintensiv ist. Die Pannestreifen sollten zumindest 3,25 bzw. im Ausnahmefall 3,00 m breit sein. Optimal wäre eine Breite von 3,50 m (ähnlich der Fahrstreifenbreite).

### **Ad 3) Verkehrssicherheit – Unfälle**

In den letzten 10 Jahren, so erklärte Herr Hoppel zum Zeitpunkt des Interviews, sei es zu keinen schweren Unfällen auf Pannestreifen gekommen. Auch seien keine Unfälle passiert, die mit Pannestreifen in irgendeiner Weise in Verbindung stehen. Es seien lediglich stehende Fahrzeuge am Pannestreifen durch zu enges Vorbeifahren leicht beschädigt worden (z. B. Außenspiegel). Im Betrachtungsgebiet gibt es derzeit keine UHS. Herr Hoppel ist der Meinung, dass die Verkehrsteilnehmer die Gefahren des Wechselgebiets wahrgenommen haben und sensibler geworden sind.

Lkws stellen immer noch eine Gefahr für die AM-Mitarbeiter dar, da sie sehr oft über die Randlinien fahren und durch die schmalen Pannestreifen die Fahrzeuge der AM erfassen können (– aus diesem Grund werden die Fahrzeuge der AM so weit rechts wie möglich positioniert). Lkw-Fahrer sind heutzutage oft abgelenkt (Handy, Fernseher, Rundfunkgerät) und können dadurch nicht rechtzeitig reagieren, was zu schweren Unfällen nicht nur mit den Fahrzeugen der AM, sondern auch mit privaten Pkws führen kann. Informationen über Unfälle bekommt die AM entweder direkt von der Polizei oder von den Überwachungszentralen (ÜZ) Plabutsch oder Bruck an der Mur. Die Unfälle werden von der AM protokolliert (Ereigniszeit, Schaden, Anzahl beteiligter Fahrzeuge, Informationen über beteiligte Personen etc.).

Nässe ist häufig ein entscheidender Faktor bei den Unfallursachen. Auf diesen Autobahnabschnitten kommt es oft zu Unfällen, wenn es stark regnet. Ein häufiger Unfalltyp ist hier das Abkommen von Fahrzeugen von der Fahrbahn. Blendung, also eine tiefstehende Sonne, ist in manchen Fällen auch die Unfallursache (vor allem beim Tunnel Schottwien auf der S6 in Fahrtrichtung Graz). Es kommt auch zu Unfällen, wenn der Schnee am Anfang des Winters überraschend kommt (Fahrer sind zum Teil mit schlechten Winterreifen oder Sommerreifen unterwegs). Meist passieren die Unfälle in diesem Bereich aufgrund einer Überlagerung mehrerer Faktoren (z. B. führt die Kombination aus Nässe, einer Unterschätzung der Kurvenradien, nicht angepasster Geschwindigkeit und schlechten Reifen zum Abkommen des Fahrzeuges).

Nach Meinung von Herrn Hoppel stehen die Unfälle in enger Verbindung zur Kurvigkeit, zur Längsneigung sowie zur Griffigkeit der Straßen. Die Griffigkeit ist besonders für Strecken mit engen Kurvenradien wichtig, da dort der Belag schneller abgefahren (glatter) wird. Die Griffigkeit wird alle fünf Jahre überprüft. Im Jahr 2014 gab es eine UHS. Unfalltyp war hier das Abkommen von Fahrzeugen in der Kurve. Daher wurde an dieser Stelle dann die Griffigkeit überprüft und es wurde festgestellt, dass diese tatsächlich unzureichend war. Durch das Kugelstrahlenverfahren, welches die beste aber auch kostenintensivste Möglichkeit für die Verbesserung der Griffigkeit des Belags darstellt, wurde die Griffigkeit des Belags im Bereich dieser UHS verbessert. Seitdem gab es keine Unfälle mehr an dieser Stelle.

Im Zuständigkeitsbereich der AM gibt es gewisse Geschwindigkeitsbeschränkungen. Die Geschwindigkeit ist in den Tunnelketten und dem Wechselgebiet auf der A2 auf der niederösterreichischen Seite auf 100 km/h begrenzt, bei Schnee oder Nässe auf 80 km/h. Die zugelassene Geschwindigkeit auf der S6 beträgt 130 km/h (mit Ausnahme der Tunnel, dort 100 km/h). Herr Hoppel findet, dass Strecken mit Pannestreifen eindeutig eine höhere Verkehrssicherheit für die Verkehrsteilnehmer und die Mitarbeiter der AM aufweisen.

## 3.2 Interview: Autobahnmeisterei Eisenstadt

### Ad 1) Betrachtungsgebiet

Herr Rene Rohan ist der Autobahnmeister der Autobahnmeisterei Eisenstadt, welche die Mattersburger Schnellstraße (S4) von B50-Kilometer 0,00 (Arena) bis zur Anschlussstelle Wiener Neustadt-Ost, Kilometer 13,141 (Obj. S4.04) inklusive Rampen, weiters die Burgenland Schnellstraße (S31) vom Knoten Mattersburg (Kilometer 49,95) bis Eisenstadt-Ost (Kilometer 33,15) sowie die Südost Autobahn (A3) von der Landesgrenze Leithabrücke (Kilometer 25,84–39,90) inklusive der Umfahrung Wulkaprodersdorf in einer Länge von ca. 3,50 km betreut.

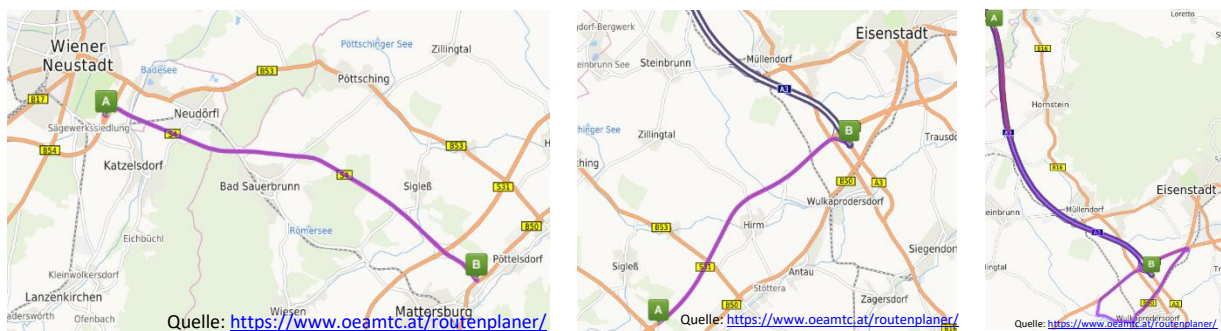


Abbildung 23: Zuständigkeitsgebiet der AM-Eisenstadt

In diesem von Herrn Rohan betreuten Gebiet gibt es tatsächlich Streckenanschnitte ohne Pannestreifen. Auf der S4 gibt es keinen Pannestreifen, aber alle 1 bis 1,5 km eine kleine Pannebucht. Zurzeit läuft die Planung für einen Vollausbau mit Mitteltrennung und Pannestreifen auf der S4. Die Umsetzung für den Bau ist für 2020 geplant. Auf der S31 und der A3 sind Pannestreifen mit einer durchschnittlichen Breite von 0,50 bis 3,50 m vorhanden.

### Ad 2) Nutzung von Pannestreifen

Die AM Eisenstadt benutzt die Pannestreifen für alle Erhaltungstätigkeiten. Die Pannestreifen werden je nach zu erbringender Leistung regelmäßig genutzt.



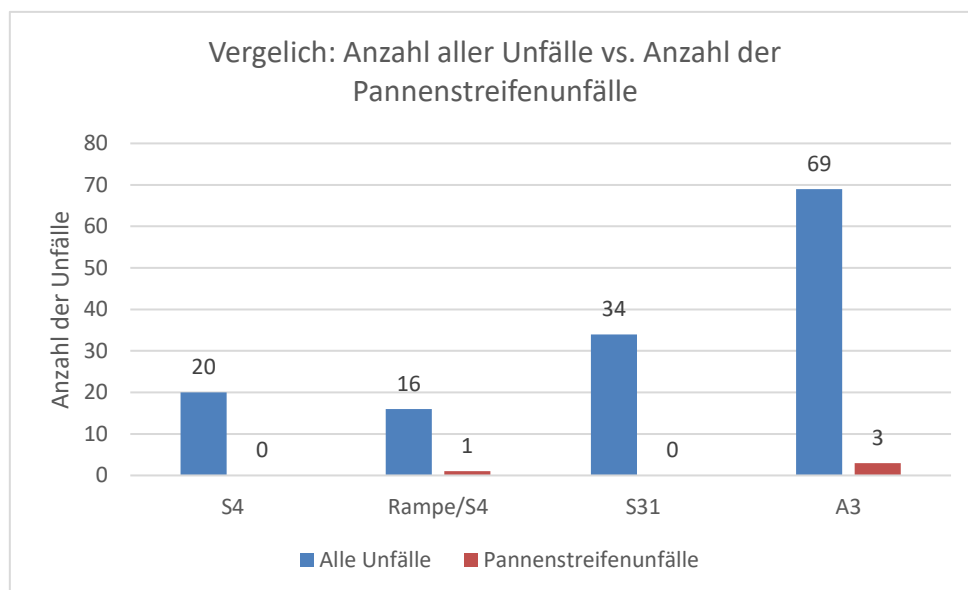
Die Verkehrsteilnehmer nutzen die Pannestreifen in Unfallsituationen oder bei Baustellenführungen. Seit Einführung der Rettungsgasse werden die Pannestreifen eher selten durch Einsatzfahrzeuge benutzt.

Die AM Eisenstadt sichert die Arbeitsstellen grundsätzlich nach RVS ab. Die Absicherung erfolgt situationsgebunden gemäß den unterschiedlichen Beilage- bzw. Merkblättern, wie zum Beispiel RVS 05.05.41, RVS 05.05.42, RVS 05.05.43 und RVS 05.05.44.

Nach der persönlichen Meinung von Herrn Rohan könnte die Nutzung von Pannestreifen in Ballungszentren (Großstädten) bei hohen Verkehrsstärken durchaus einen positiven Einfluss auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit haben. Im Gegensatz zu ihrem positiven Einfluss in Ballungsräumen macht die Nutzung der Pannestreifen auf Freiland eher selten einen Sinn, außer in Ausnahmesituationen (z. B. bei Unfällen). Da sich gezeigt hat, dass der Verkehr ständig steigt und es immer schwieriger wird, die erste Fahrspur für die Durchführung der Instandhaltungsarbeiten zu sperren, findet Herr Rohan den Verzicht auf Pannestreifen nicht gut.

### Ad 3) Unfälle mit Fokus auf Pannestreifenunfälle

Wenn es um Unfälle auf Pannestreifen durch von Verkehrsteilnehmern abgestellte Fahrzeuge oder Fahrzeuge der AM geht, so passieren diese im Bereich von Herrn Rohan eher selten. Aus den Daten, die zur Verfügung gestellt wurden, ist ersichtlich, dass es auf der S4 und S31 in der Zeit von 2012 bis 2016 zu keinem Pannestreifenunfall gekommen ist. Auf der Rampe/S4 passierte ein Pannestreifenunfall, während es auf der A3 zu drei Unfällen auf Pannestreifen kam.



**Abbildung 24: Vergleich zwischen Anzahl aller Unfälle und Anzahl der Pannestreifenunfälle (2012–2016) im Zuständigkeitsgebiet der AM Eisenstadt**

Zu den häufigsten Unfallursachen in diesem Bereich zählen die Unaufmerksamkeit der Lenker, Ablenkung durch Handy oder Sonstiges. Die Befahrung des Pannestreifens kann nur in Ausnahmefällen als Unfallursache identifiziert werden. Herr Rohan ist der Meinung, dass in seinem Gebiet zu wenige Unfälle passieren, um eine Statistik zu erstellen und daraus Schlüsse zu ziehen. Herr Rohan findet, dass die Strecken mit den Pannestreifen auf jeden Fall eine höhere Verkehrssicherheit

für die Verkehrsteilnehmer aufweisen, vor allem aber auch für die AM-Mitarbeiter, deren täglicher Arbeitsplatz sie sind.

### 3.3 Interview: Autobahnmeisterei Lebring

#### Ad 1) Betrachtungsgebiet

Das Zuständigkeitsgebiet der AM Lebring liegt auf der Phyrn Autobahn (A9), zwischen der Anschlussstelle Schwarzlsee (Kilometer 191) und der Staatsgrenze Spielfeld (Kilometer 230). Die Autobahn besitzt hier durchgehend zwei Fahrstreifen pro Richtung, jedoch gibt es aufgrund der hohen Verkehrsstärken aktuell Überlegungen, den Bereich von Graz bis Wildon auf drei Fahrstreifen pro Richtung auszubauen.

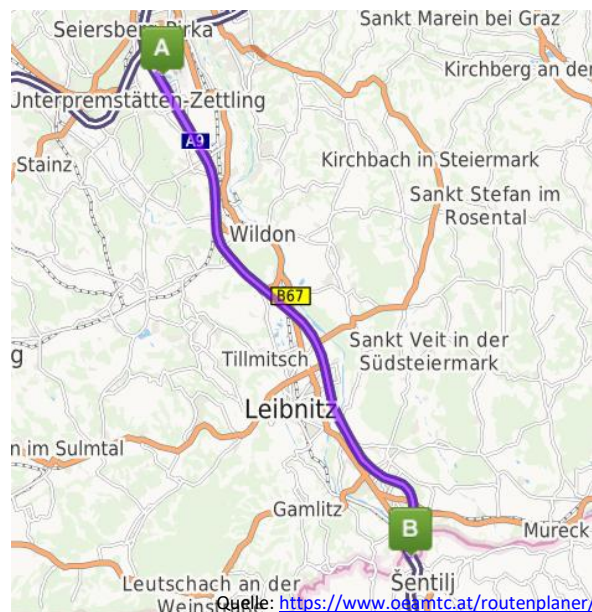


Abbildung 25: Zuständigkeitsgebiet der AM Lebring

Pannestreifen sind in diesem Gebiet durchgehend vorhanden. Die vorhandenen Pannestreifen weisen eine Breite zwischen 2,5 und 3,50 m, zum Teil auch bis zu 4,00 m auf. Dies hängt auch mit der Realisierbarkeit der 4+0-Verkehrsführung bei der Fahrbahnsanierung einer kompletten Richtungsfahrbahn zusammen. Hierfür ist in Summe eine Fahrbahnbreite von 12,50 m erforderlich; bei zwei Fahrstreifen zu je 3,50 bis 3,75 m bleibt also eine große Restbreite für Seiten- und Pannestreifen. Es gibt auch ein paar inoffizielle Pannebuchten in diesem Bereich, die bei der Fahrbahnsanierung im Zuge der 4+0-Verkehrsführung erstellt und nicht mehr rückgebaut wurden.



Abbildung 26: Autobahn A9 bei winterlichen Fahrverhältnissen im Bereich der Anschlussstelle Wildon mit normalbreiten Pannestreifen



**Abbildung 27: Autobahn A9 im Bereich der Anschlussstelle Wundschuh mit normalbreiten Pannestreifen und seitlicher Lärmschutzwand**

### **Ad 2) Nutzung von Pannestreifen**

Die AM Lebring benutzt die Pannestreifen in ihrem Zuständigkeitsgebiet zwei Mal am Tag für Kontrollfahrten. Weiters werden die Pannestreifen für Grünpflege, Instandhaltung, Winterdienst und alle anderen Tätigkeiten zur Erhaltung der Autobahn sowie zur Baustellenabsicherung genutzt. Da die Pannestreifen in diesem Bereich breit genug sind, ist bei der Grünpflege keine Sperre des ersten Fahrstreifens erforderlich. Auch für die Entsorgung von Müll neben der Fahrbahn ist keine Absicherung notwendig (Fahrzeug wird angehalten, Müll abgeholt und entsorgt). Zu gewissen Tageszeiten ist es der AM aufgrund hoher Verkehrsstärke verboten, solche Arbeiten durchzuführen:

- in Fahrtrichtung Graz von Vogau bis Wildon bis 9 Uhr und von Wildon bis Schwarzl See ganztägig,
- in Fahrtrichtung Spielfeld von Schwarzlsee bis Wildon ganztägig und von Wildon bis Vogau im Zeitbereich 15 bis 17 Uhr (Anhängig vom Pendlerverkehr).

Auf diesem Abschnitt der Phyrn Autobahn nutzen die Verkehrsteilnehmer den Pannestreifen ausschließlich im Fall einer Panne. Die Nutzung der Pannestreifen von Seiten der Einsatzkräfte hängt vom Verkehrsfluss ab. Auf diesem Streckenabschnitt funktioniert die Rettungsgasse normalerweise gut und das Befahren der Pannestreifen durch Einsatzfahrzeuge kommt nur in Ausnahmefällen vor. Die Pannestreifen werden auch für das Abstellen von Einsatz- oder Unfallfahrzeugen verwendet.

Auch diese AM führt Tätigkeiten wie Baustellen- und Unfallabsicherung unter Berücksichtigung der gültigen RVS durch. Herr Plösch würde nicht auf die Pannestreifen verzichten wollen. Er ist der Meinung, dass die Pannestreifen für den gesamten Betrieb sehr wichtig sind, besonders bei solch hohen Verkehrsstärken wie auf diesem Streckenabschnitt. Auch wären die Kosten für die Straßenerhaltung im Fall eines Nichtvorhandenseins von Pannestreifen höher.

### **Ad 3) Verkehrssicherheit – Unfälle**

Die AM Lebring erlebt im Durchschnitt einen Unfall pro Jahr. Aus Erfahrung kann Herr Plösch behaupten, dass Unachtsamkeit sowie Übermüdung auf dieser Strecke die häufigsten Unfallursachen sind. Die häufigsten Unfalltypen sind das Abkommen von der Fahrbahn und das Auffahren (am Stauende) der Fahrzeuge. Die meisten Unfälle passieren bei Tageslicht. In etwa bei Kilometer 224, kurz vor der Grenze in Richtung Slowenien, befindet sich eine UHS (nicht infolge von



Pannestreifenunfällen). Es handelt sich hier um eine Kurve, in der in der Vergangenheit vermehrt Fahrzeuge von der Fahrbahn abgekommen sind.

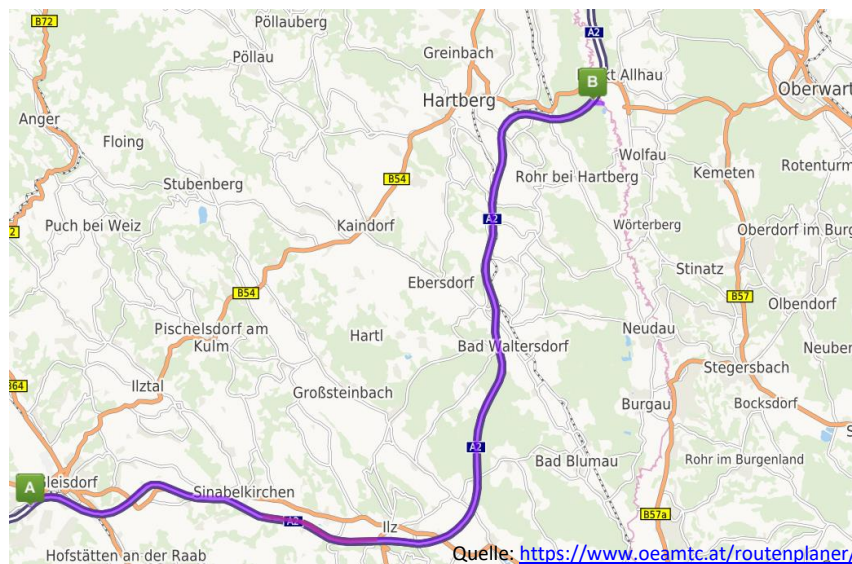
Nach Herrn Plösch sind die Unfälle nicht wetterbedingt und passieren tagsüber. Im Jahr 2017 gab es insgesamt 123 Unfälle (alle Unfälle, bei welchen die Versicherung eingeschaltet werden musste), im Gebiet gleichmäßig verteilt. Die Unfälle in dem Zuständigkeitsbereich der AM Lebring sind nicht von den streckenspezifischen Eigenschaften abhängig. Die hohe Verkehrsstärke weist eher keinen Einfluss auf die Anzahl der Unfälle in diesem Bereich auf.

Herr Plösch gibt an, dass die Strecken mit Pannestreifen eine höhere Verkehrssicherheit aufweisen. Im Fall eines Nichtvorhandenseins von Pannestreifen steht das Fahrzeug bei einem Defekt zum Beispiel in der ersten Fahrspur, es staut sich hinter dem stehenden Fahrzeug und beim Ausweichen kann es zu Unfällen kommen.

### 3.4 Interview: Autobahnmeisterei Ilz-Fürstenfeld

#### Ad 1) Betrachtungsgebiet

Das Betrachtungsgebiet umfasst den Teil der Autobahn A2 zwischen der Anschlussstelle Lafnitztal-Oberwart (Kilometer 111) und der Anschlussstelle Gleisdorf-West (Kilometer 161).



**Abbildung 28: Zuständigkeitsgebiet der AM Ilz-Fürstenfeld**

Rund 50 % des Betrachtungsgebietes sind mit Pannestreifen von ausreichender Breite ausgestattet (mindestens 2,50 m). Dies sind der Abschnitt von Kilometer 161 bis 139 in Richtung Wien sowie die Abschnitte von Kilometer 111 bis 141 und von Kilometer 157 bis 161 in Richtung Graz. Dazwischen befinden sich Abschnitte ohne nennenswerten Pannestreifen ( $b < 2,50$  m). Eine Breite von 2,50 m ist gerade noch ausreichend für den Straßenbetrieb (z. B. Mähen – rechtes Rad des Mähfahrzeuges am Bankett), ohne dass ein Fahrstreifen gesperrt werden muss. Es gibt auch weitere Nothaltemöglichkeiten, etwa Pannenbuchten. Die Pannenbuchten befinden sich bei Kilometer 121 Richtung Wien sowie bei Kilometer 152,5 und 153,8 in Richtung Graz.

Bei den Abschnitten mit Pannestreifen variiert die Breite zwischen 2,50 und 4,50 m. Die 2,50 m breiten Pannestreifen zählen zu den schmalen Pannestreifen, aber auch auf diesen Pannestreifen ist es möglich, ohne Absicherung zu arbeiten (Fahrzeuge mit dem rechten Rad auf dem Bankett). Bei

den 3,00 m breiten Pannestreifen ist das Befahren des Banketts nicht notwendig. Die 4,50 m breiten Pannestreifen sind nach dem Ausbau der Autobahn „übrig geblieben“.



**Abbildung 29: Autobahn A2 Fahrtrichtung Graz im Bereich der Raststation Arnwiesen, Steigungsstrecke mit drei Fahrstreifen ohne Pannestreifen**

### **Ad 2) Nutzung von Pannestreifen**

Die AM Ilz-Fürstenfeld nutzt die Pannestreifen für Grünpflege, Instandhaltung, Winterdienst sowie für tägliche Kontrollfahrten. Wenn die Breite ausreichend ist, wird der Pannestreifen von den Verkehrsteilnehmern im Regelfall bei einer Panne, jedoch in Ausnahmefällen auch für verschiedene Aktivitäten, wie z. B. Fotografieren, WC, Erholung etc., benutzt. Durch Einsatzfahrzeuge werden die Pannestreifen in diesem Gebiet überhaupt nicht mehr genutzt, da die Rettungsgasse zumeist funktioniert.

Bei längeren Baustellen und bei Unfällen wird die Absicherung laut RVS vorgenommen. Bei Unfällen kommt das Streifendienstfahrzeug zum Einsatz. Wenn der Unfall am rechten Fahrstreifen passiert, wird das Unfallfahrzeug schnellstmöglich zum Pannestreifen gebracht und dort abgestellt. Kommt es am linken Fahrstreifen zu einem Unfall, werden die anderen Verkehrsteilnehmer nach Möglichkeit über den Pannestreifen umgeleitet. Kurze Baustellen oder Arbeiten werden in diesem Bereich nicht abgesichert. Die Verkehrsteilnehmer werden mit Warnsignalen und -schildern auf die Baustellen hingewiesen. Die Lkws sind auch hier eine Gefahr für die Mitarbeiter der AM, die sich an der Baustelle befinden. Da Lkws öfters über den Pannestreifen fahren (z. B. in einer Rechtskurve), beeinträchtigen sie die Sichtweite der Verkehrsteilnehmer, die hinter ihnen fahren. Dadurch kann es sein, dass diese nicht richtig reagieren, wenn sie mit der Baustelle konfrontiert sind.

Herr Lafer würde auf keinen Fall auf die Pannestreifen verzichten wollen. Für Servicetätigkeiten und um die Autobahnkapazität zu erhalten seien Pannestreifen einfach unverzichtbar. Ohne Pannestreifen wäre die Qualität der erbrachten Instandhaltungsmaßnahmen nicht so gut wie sie derzeit ist.

### **Ad 3) Verkehrssicherheit – Unfälle**

Vor kurzem kam es zu einem Pannestreifenunfall, an dem ein Fahrzeug der AM beteiligt war. Um 13 Uhr fuhr ein Fahrer mit seinem Pkw in ein Fahrzeug der AM. Ursache dieses Unfalls war hier Sekundenschlaf. Ansonsten sind Pannestreifenunfälle in diesem Bereich sehr selten (– der letzte war 2008). Die Pannestreifen bieten eine gewisse Sicherheitszone, was bei einer so hohen Verkehrsstärke wie auf diesem Streckenabschnitt (bis zu 50 000 Kfz/Tag je Richtung) sehr wichtig ist.

Es gab außerdem vor drei bis vier Jahren eine UHS bei Kilometer 141,7 in Richtung Graz. Alle betroffenen Fahrzeuge kamen rechts von der Fahrbahn auf einem geraden Streckenabschnitt ab. Die Unfallbeteiligten waren keine Pendler, sondern Personen, die die Strecke auf der A2 von Wien nach Graz nicht regelmäßig befahren. Durch Einfräsungen rechts neben der Randlinie am Beginn des Pannestreifens wurde das Problem gelöst.

Der häufigste Unfalltyp (schätzungsweise 90 %) bei Lkws sind Auffahrunfälle, verursacht durch Übermüdung (Sekundenschlaf) oder Ablenkung der Fahrer. Generell ist das Thema Ablenkung bei Lkws ein Problem, da viele Lkw-Fahrer sich von TV und Smartphones ablenken lassen und ihre Ruhezeiten eher auf wenige lange Pausen anstatt viele kurze Pausen konzentrieren. Auch bei den Pkw-Unfällen ist die Ablenkung die Nummer eins der Unfallursachen. Es kommt auch hin und wieder vor, dass ältere Personen aufgrund nicht rechtzeitiger oder unangemessener Reaktion Unfälle verursachen.

Unfälle auf diesem Streckenabschnitt sind nicht wetterbedingt. Man kann nicht sagen, dass Unfälle häufiger zu gewissen Tageszeiten passieren, sie sind eher normalverteilt. Unfälle sind aber vom Autobahnquerschnitt abhängig. Probleme in Form von Aquaplaning können hier bei Nässe am dritten Fahrstreifen auftreten, wenn die Querneigung der Fahrbahn nach links gerichtet ist. Im Bereich des Nulldurchgangs der Fahrbahnverwindung kann hier durch Einfräsen von Rillen vorgebeugt werden, damit das Wasser schneller von der Fahrbahn abgeleitet wird.

Die Verkehrsstärke hat laut Herrn Lafer definitiv einen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit eines Autobahnabschnitts. Bei hoher Verkehrsstärke kommt es vermehrt zu Auffahrunfällen auch bedingt durch zu geringe Fahrzeugabstände. Neben den streckenspezifischen Eigenschaften und der erhöhten Verkehrsstärke hatte auch Industrieschnee in der Vergangenheit einen Einfluss auf die Anzahl der Unfälle (Kombination aus schlechter Sicht und zu geringen Abständen).

Herr Lafer ist definitiv der Meinung, dass Strecken mit Pannestreifen eine höhere Verkehrssicherheit für die Verkehrsteilnehmer sowie für die Mitarbeiter der AM aufweisen als Strecken ohne Pannestreifen.

### 3.5 Interview: Autobahnmeisterei Wolfsberg

#### Ad 1) Betrachtungsgebiet

Das Betrachtungsgebiet der AM Wolfsberg ist die Autobahn A2 in Kärnten zwischen Kalcherkogeltunnel (Landesgrenze Steiermark-Kärnten, ca. Kilometer 230) und der Anschlussstelle Völkermarkt Ost (ca. Kilometer 278).

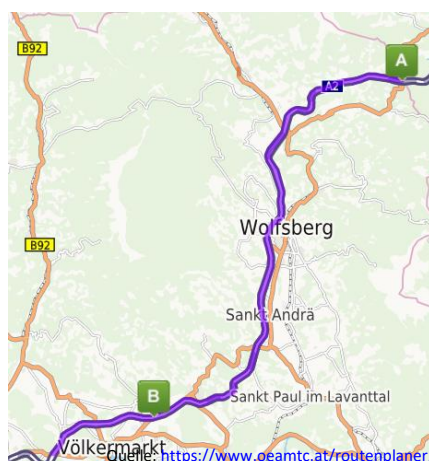


Abbildung 30: Zuständigkeitsgebiet der AM Wolfsberg

In diesem Bereich sind, außer innerhalb der Tunnels, Pannestreifen vorhanden. Zwischen der Landesgrenze und Sankt Andrä beträgt die Pannestreifenbreite mindestens 2,50 m. Großteils variiert hier die Pannestreifenbreite zwischen 3,00 und 3,50 m. Zwischen den Anschlussstellen Sankt Andrä und Völkermarkt Ost sind die Pannestreifen schmaler ( $b < 2,50$  m). Es gibt auch Pannenbuchten in unregelmäßigen Abständen.



**Abbildung 31: Autobahn A2 Fahrtrichtung Klagenfurt im Packsattelbereich, Strecke mit zwei Fahrstreifen und Pannestreifen**

### **Ad 2) Nutzung von Pannestreifen**

Die Mitarbeiter der AM Wolfsberg nutzen die Pannestreifen für Grünpflege, Verkehrsabsicherung, das Abstellen von Unfallfahrzeugen sowie zur Durchführung aller erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen. Aufgrund der niedrigen Verkehrsstärke gibt es in diesem Bereich keine Beschränkungen bezüglich der Arbeitszeiten, die Mitarbeiter dürfen also zu jeder Zeit ihre Arbeiten verrichten. Tages- und Langzeit-Baustellen werden nachts abgesichert. Auch der Winterdienst wird primär in der Nacht abgewickelt.

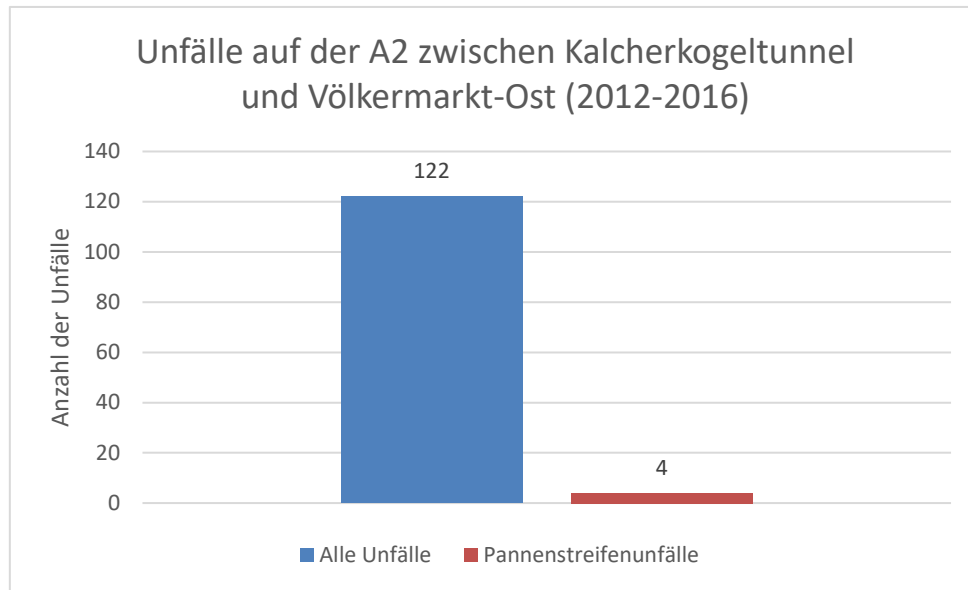
Die Verkehrsteilnehmer benutzen die Pannestreifen hauptsächlich im Fall einer Panne. Die Einsatzfahrzeuge befahren den Pannestreifen, wenn er frei ist. Dies ist jedoch meistens nicht erforderlich, da die Rettungsgasse immer besser funktioniert. Absicherungen werden gemäß RVS vorgenommen. Bei einem Unfall fährt ein Stauwarner (Streckendienstfahrzeug mit einem Lichtsignal) oder die Polizei sehr langsam am Pannestreifen rückwärts.

Für Herrn Schrammel ist ein Autobahnquerschnitt ohne Pannestreifen unvorstellbar. Er ist der Meinung, dass schmale Pannestreifen verbreitert werden sollten.

### **Ad 3) Verkehrssicherheit – Unfälle**

Im Betrachtungsgebiet der AM Wolfsberg kommt es ganz selten zu Pannestreifenunfällen (3 Unfälle in 10 Jahren). Bei diesen Unfällen war die Ursache das Auffahren von Lkws auf ein Streckendienstfahrzeug.





**Abbildung 32: Unfälle in den Jahren 2012 bis 2016 im Betrachtungsgebiet**

Die G21-Brücke Richtung Italien gilt momentan als UHS. Auf dieser Brücke kam es zu sieben Unfällen in den letzten drei bis vier Jahren. Drei Menschen sind bei diesen Unfällen ums Leben gekommen. An vier Unfällen waren Lkws beteiligt. Bei zwei Unfällen war ein Reifenplatzer die Ursache. Bei einem Unfall ist ein Pkw aufgrund eines technischen Defekts mit geringer Geschwindigkeit am ersten Fahrstreifen gefahren. Dabei ist ein Lkw auf den langsamen Pkw aufgefahren, der Fahrer des Pkws ist am Unfallort verstorben.



**Abbildung 33: Brücke G21 auf der Autobahn A2 Nähe der Anschlussstelle St. Andrä**

Laut Meinung von Herrn Schrammel ist bei 99 % der Lkw-Unfälle ein Reifenplatzer die eigentliche Ursache. Bei den Pkw-Unfällen sind es Unachtsamkeit und die Ablenkung durch Smartphones. Auch der „starre Blick“ (man nimmt die Fahrzeuge in der Umgebung überhaupt nicht wahr) infolge von Übermüdung ist in manchen Fällen Ursache der Unfälle. Aquaplaning bei starkem Regen ist in diesem Bereich selten die Unfallursache. Es kommt dafür öfters vor, dass Verkehrsteilnehmer mit schlechten Reifen unterwegs sind.

Eine Unfallgefahr besteht dann, wenn die Verkehrsteilnehmer ihr auf dem Pannestreifen stehendes Fahrzeug nicht richtig absichern oder abstellen. Es kommt vor, dass Fahrzeuginsassen einfach im Auto bleiben, zum Beispiel weil es gerade draußen regnet. Es sei auch gefährlich, so Herr Schrammel, ohne eine Warnweste auszusteigen, dies sei jedoch häufig zu beobachten.

Im Sommer ist die Anzahl der Unfälle höher. Herr Schrammel sieht aber keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Unfälle und den streckenspezifischen Eigenschaften und ist der Meinung, dass die Verkehrsstärke einen wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der Unfälle hat. Bei hohen Verkehrsstärken halten die Verkehrsteilnehmer den erforderlichen Abstand nicht immer ein und dadurch kommt es häufig zu Auffahrunfällen.

### **3.6 Fazit**

Ziel dieser Interviews war es, Meinungen und Erkenntnisse zur Wirksamkeit von Pannestreifen aus der Sicht des täglichen Straßenbetriebs zu gewinnen. Die fünf Interviews mit fünf verschiedenen Autobahnmeistereien (AM) beziehen sich auf unterschiedliche Autobahnabschnitte mit unterschiedlichen Streckeneigenschaften (auch in Bezug auf die Breite des Pannestreifens) und Verkehrsbelastungen und führten hier zur Beantwortung aller Fragen und zu einem guten Überblick über diese Thematik.

Alle befragten AM verwenden den vorhandenen Pannestreifen täglich für Grünpflege, Servicefahrten (Kontrollfahrten) und zur Durchführung notwendiger Instand- und Betriebserhaltungsmaßnahmen. Im Gegensatz dazu ist es den Verkehrsteilnehmern nur im Fall einer Panne gesetzlich erlaubt, den Pannestreifen zu befahren. Es gibt jedoch wenige Ausnahmefälle, wo der Pannestreifen für andere Zwecke genutzt wird (z. B. Notdurft, Foto). Aufgrund der gut funktionierenden Rettungsgasse wird der Pannestreifen durch die Einsatzfahrzeuge nur in Ausnahmefällen befahren.

Bei allen Tätigkeiten wie Baustellen- oder Unfallabsicherung hält sich die AM an die jeweilige RVS, jedoch erbringt jede AM ihre Leistungen unterschiedlich (– manche Arbeiten werden auch an Fremdfirmen vergeben). Das Ganze ist stark durch das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein der Pannestreifen im jeweiligen Zuständigkeitsbereich beeinflusst.

Es ist zu bemerken, dass ein fehlender Pannestreifen für die AM Erschwernisse in der Erbringung der erforderlichen Leistungen verursacht (z. B. bei Sperre des ersten Fahrstreifens: Da kann es vorkommen, dass für eine zehnminütige Arbeit zwei Stunden Arbeit zur Absicherung benötigt werden). Durch die Sperre eines Fahrstreifens wird auch der Verkehrsablauf behindert. Durch einen möglichen Stau im Baustellenbereich steigt die Gefahr von Unfällen (z. B. Auffahren auf abgestellte oder langsame Fahrzeuge). Alle Autobahnmeister sind sich einig, dass der Pannestreifen ein unverzichtbarer Teil des Autobahnquerschnitts ist und dass Pannestreifen, wenn sie zu schmal sind (< 3,00 m), verbreitert werden sollten.

Die Pannestreifenunfälle sind bezogen auf die Gesamtzahl der Unfälle in den Zuständigkeitsbereichen der befragten Autobahnmeister sehr selten und entstehen meist durch Unachtsamkeit oder durch eine Ablenkung der Verkehrsteilnehmer. Nach Erfahrung der befragten Autobahnmeister ist Unachtsamkeit bzw. Ablenkung die häufigste Ursache aller Unfälle. Übermüdung, eine nichtangepasste Geschwindigkeit sowie ein Nichteinhalten des erforderlichen Abstandes sind weitere von den Autobahnmeistern genannte häufige Ursachen. Es gibt auch ein paar wenige Unfallhäufungsstellen (UHS) in den Autobahnabschnitten.

Unfälle in diesen Gebieten sind nicht direkt wetterbedingt. Lediglich wenn überraschend Schneefall eintritt (am Anfang des Winters) passieren Unfälle, wenn Fahrzeuge mit nicht geeigneten Reifen

unterwegs sind. Die Autobahnmeister sind sich einig, dass die Tageszeit keinen Einfluss auf die Anzahl der Unfälle hat.

Nicht jeder Autobahnmeister ist der Meinung, dass die streckenspezifischen Eigenschaften einen Einfluss auf die Entstehung von Unfällen (Verkehrssicherheit) haben. Dieser Meinungsunterschied ist wahrscheinlich von den streckenspezifischen Eigenschaften der einzelnen Betrachtungsgebiete der Autobahnmeister abhängig. Das gleiche gilt auch für die Verkehrsstärke.

Zum Abschluss dieser Befragung sind sich alle Befragten einig: Strecken mit Pannestreifen weisen eindeutig eine höhere Verkehrssicherheit auf und Pannestreifen müssen daher Teil der Autobahn sein.

## 4 Datengrundlage

Da es das Ziel dieses Projektes ist, neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen bzw. über den Einfluss unterschiedlicher Pannestreifenbreiten auf die Verkehrssicherheit zu gewinnen, werden dafür Unfalldaten sowie Informationen zum Straßennetz der ASFINAG herangezogen.

### 4.1 Unfalldaten

Um neue Erkenntnisse zur sicherheitsrelevanten Wirkung von Pannestreifen zu gewinnen, wurden von der ASFINAG Unfalldaten für das ASFINAG-Netz für einen Zeitraum von 2012 bis 2016 zur Verfügung gestellt. Die Erfassung der Unfalldaten erfolgte anhand der Polizeiberichte über die einzelnen Unfälle. Die Plausibilität der erfassten Daten hängt stark von der Arbeitsweise der zuständigen Beamten und deren Genauigkeit bei der Beschreibung der Unfälle ab.

Die Daten wurden in Form einer Excel-Datei übermittelt. Diese Excel-Datei enthält eine Tabelle mit 11 413 Zeilen. Jede einzelne Zeile enthält Informationen zu einem einzelnen Unfall, das heißt, in diesen fünf Jahren kam es im ASFINAG-Netz zu insgesamt 11 413 Unfällen. Diese Unfälle stellen die Basis für die statistischen Analysen in dieser Arbeit dar.

Jedem Unfall wurde eine eigene Identifikationsnummer (U\_ID) zugewiesen. Die Identifikationsnummer findet jeweils in der ersten Spalte Platz.

Weiters sind in der Tabelle die Unfallkoordinaten zu finden. Anhand dieser Koordinaten ist es möglich mit Hilfe des Programms ArcMap die Unfälle genau zu orten, was eine große Unterstützung bei der Unfallanalyse darstellt.

Die Spalten U\_GEMNR und U\_GEMNAME beinhalten Informationen über Gemeinden wie die Gemeindenummer und den Gemeindennamen.

Ein weiteres Kriterium für die Untersuchung der Unfälle stellen das Datum sowie die Uhrzeit des Unfalls dar. Die Spalten U\_UNF\_DAT und U\_UNF\_TIM beinhalten diese Informationen.

Die Tabelle beinhaltet Informationen über die Strecken, auf welchen zu den Unfällen kam. In der Spalte namens X\_O1\_STR stehen die Abkürzungen für die Autobahnen und Schnellstraßen (wie z. B. A1 oder S4), auf welchen die Unfälle geschehen sind. Neben Unfällen auf Autobahnen oder Schnellstraßen beinhaltet diese Tabelle auch Unfälle auf Rampen. Da Rampen ein spezifischer Teil des Netzes sind und spezielle Eigenschaften aufweisen, werden die Rampenunfälle in dieser Arbeit für die Unfallanalyse nicht berücksichtigt. Von insgesamt 11 413 Unfällen in einem Betrachtungsraum von fünf Jahren geschahen 1 422 auf Rampen.

Da jede Autobahn sowie Schnellstraße zwei Richtungen hat, ist es für die Unfallanalyse sehr wichtig zu wissen, in welcher Richtung ein Unfall passierte, da man dadurch den Unfallort noch genauer bestimmen kann. Die Richtungen wurden in dieser Datentabelle entweder durch die Zahl 0 oder durch die Nummern 1 oder 2 präzisiert.

Nach RVS steht die Richtung 0 für Abschnitte ohne Richtungsfahrbahn (– keine bauliche Trennung der Fahrflächen). (s. [1])

Es wurde überprüft, ob es hier wirklich um Abschnitte ohne Richtungsfahrbahn geht oder ob eher ein Fehler vorliegt. Nach Überprüfung der Unfälle mit Richtung 0 wurde festgestellt, dass es sich tatsächlich in einigen Fällen um Zuordnungsfehler handelt, die mittels des Programms ArcGIS ausgebessert werden konnten.



Da jedem Unfall auch Koordinaten zugeordnet sind, war es auch möglich, für diese Art der Unfälle die entsprechende Richtung zu bestimmen. Die Unfälle mit dem Richtungsattribut 0 waren bereits vorher aussortiert worden und konnten anhand ihrer Koordinaten in ArcGIS hinzugefügt werden. In ArcGIS war das gesamte ASFINAG-Netz mit den erforderlichen Daten, wie zum Beispiel die Richtungen der Strecken eingespeist worden (– jede Richtung wird durch eine Polylinie dargestellt). Durch den Befehl „Verbinden mit der nächstliegenden Strecke“ wurden die Unfälle mit der Richtung 0 mit dem ASFINAG-Netz verknüpft. Mittels dieses Befehls entstand eine neue Datei mit diesen Unfällen, welchen nun die Richtungen 1 oder 2 zugeordnet worden waren. Jeder Unfall übernahm die Richtung der nächstgelegenen Strecke des ASFINAG-Netzes. Dadurch wurde dieser Datenfehler behoben.

Eine wichtige Information, welche diese Datei auch liefert, ist der Streckenkilometer, auf welchem es zu dem Unfall kam. Neben dem Streckenkilometer wurde auch der Streckenquerschnitt, auf dem der Unfall stattfand, definiert. Die Spalte namens O1\_FAHRSTRF gibt Informationen über die Anzahl der Fahrstreifen am Unfallort. Im Vergleich zu der Spalte O1\_FAHRSTRF zeigt die Spalte U\_K3FAHRST an, auf welchem Fahrstreifen der Unfall passierte.

Es ist auch wichtig zu wissen, zu welcher Tageszeit es zu einem Unfall gekommen ist bzw. ob er in der Dunkelheit oder eher bei Tageslicht passiert ist. Die Spalte U\_LICHT\_T liefert diese Informationen.

Bei der Analyse einzelner Unfälle spielt deren Ursache eine wesentliche Rolle. In den Unfalldaten, die zur Verfügung gestellt wurden, konnten unterschiedliche Unfallursachen herausfiltriert werden:

- Nicht bekannte Ursache
- Alkohol, Drogen oder Medikamente
- Fehlverhalten von Fußgängern
- Herz-/Kreislaufversagen
- Hindernisse auf der Fahrbahn (Gegenstände, ungesicherte Fahrzeuge)
- Mangelhafter Sicherheitsabstand
- Missachtung von Geboten und Verboten (z. B. Fahren gegen die Einbahn, Abbiegeverbote, Abbiegegebote)
- Nichtangepasste Geschwindigkeit
- Technischer Defekt, mangelnde Ladungssicherung
- Überholen
- Übermüdung
- Unachtsamkeit/Ablenkung
- Vorrangverletzung (auch gegenüber Fußgängern), Rotlichtmissachtung

Unfallursache und Unfalltyp stehen enger Verbindung. In einer Spalte dieser Tabelle wurden auch Informationen über den Unfalltypen einzelner Unfälle angegeben. Für die weiteren Analysen spielen diese Daten eine sehr wichtige Rolle.

Die Unfalldaten beinhalten auch Informationen über die teilnehmenden Fahrzeuge. Man unterscheidet hier zwischen Pkw, Lkw, Motorrad sowie sonstigen Fahrzeugen. Jedem Fahrzeugtyp wird eine eigene Spalte zugeordnet.

Außerdem gibt es Informationen zu den Unfallteilnehmern: Es wurden Informationen über deren Verletzungsgrad zur Verfügung gestellt. Man unterscheidet zwischen vier Kategorien: nicht Verletzte, Leichtverletzte, Schwerverletzte und Getötete. Jeder Kategorie wurde eine Spalte der Tabelle zugeordnet.

## 4.2 ASFINAG-Netzdaten

Die Vorbereitung der Daten, welche für die Berechnung der Unfallkenngrößen sowie auch für die Detailanalyse der Einzelunfälle signifikant waren, erfolgte im Programm ArcGIS.

Am Anfang wurde das ASFINAG-Netz in 250 m lange Teilstrecken gegliedert. Durch diese Anfangsgliederung wurde die Berechnung der Unfallkenngrößen erleichtert, da die Berechnung der Unfallrate und der Unfallkostenrate auf 250 m langen Streckenabschnitten basiert. Diesen kurzen Abschnitten wurden ihre streckenspezifischen Eigenschaften sowie ihre jeweilige ID-Nummer (individuell für jede Teilstrecke) zugeordnet. Jeder einzelne Abschnitt beinhaltet Informationen über die Autobahn und die Richtung der Autobahn, auf welcher er liegt. Weiters wurden Informationen über das Vorhandensein der Pannestreifen hinzugefügt. Wenn ein Pannestreifen vorhanden ist, so wurde auch angegeben, ab welchem Streckenkilometer der Pannestreifen anfängt und wo er wieder aufhört. Durch diese Kilometrierung konnte auch die Länge der einzelnen Pannestreifen berechnet werden. Es wurden außerdem die Breiten der vorhandenen Pannestreifen angegeben. Da die Pannestreifen unterschiedliche Breiten aufweisen, wurden diese nach ihrer Ausprägung in verschiedene Klassen gruppiert, um eine detaillierte Analyse der Unfallkenngrößen zu ermöglichen.

Klassen der Pannestreifenbreiten:

- **Klasse 1:**  $b < 1,00$  m
- **Klasse 2:**  $1,00 \leq b < 2,00$  m
- **Klasse 3:**  $2,00 \leq b < 2,50$  m
- **Klasse 4:**  $2,50 \leq b < 3,00$  m
- **Klasse 5:**  $3,00 \leq b < 3,25$  m
- **Klasse 6:**  $3,25 \leq b < 3,5$  m
- **Klasse 7:** über 3,50 m

Die Geschwindigkeiten wurden getrennt für Pkws und Lkws analysiert. Während zulässigen Pkw-Geschwindigkeiten zwischen 30 km/h und 130 km/h variieren, sind die zulässigen Lkw-Geschwindigkeiten einem Bereich zwischen 30 km/h und 80 km/h zuzuordnen.

Die jährliche durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (JDTV) wurde für alle Fahrzeuge zusammen bestimmt. Es wurde jedoch die JDTV für Schwerverkehr auch separat angegeben, zusammen mit dem Prozentanteil des Schwerverkehrs auf den einzelnen Abschnitten, was bei der Detailanalyse eine wichtige Rolle spielt.

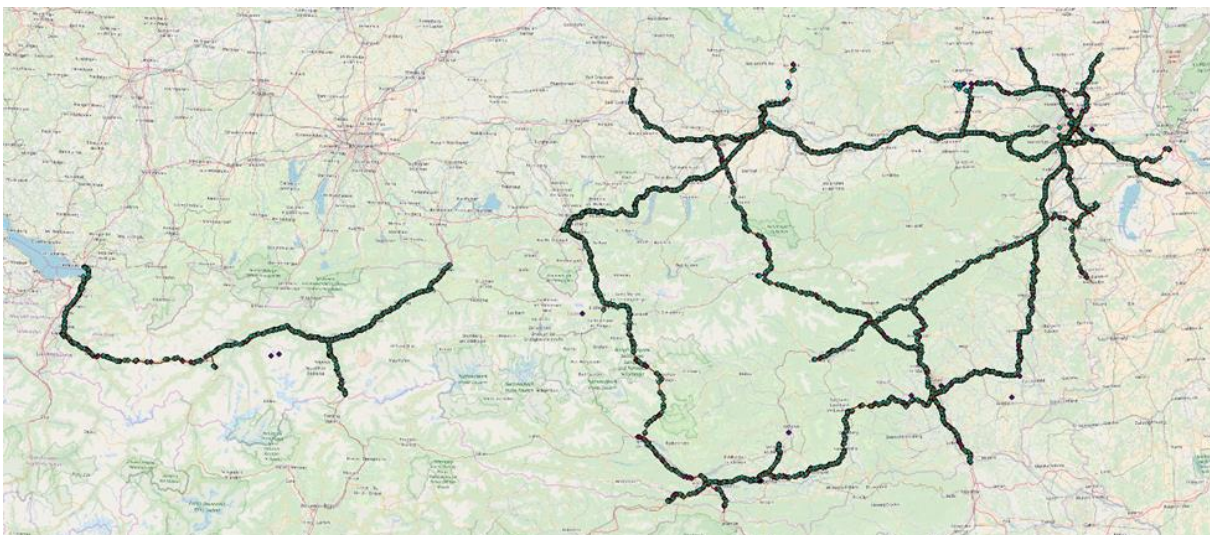
Alle diese streckenspezifischen Daten wurden in einem GIS-Layer zusammengefasst. Da die Verkehrssicherheit anhand der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden (UPS) sowie der Verletzungsschwere der verunglückten Verkehrsteilnehmer beurteilt wird, mussten auch die Unfallinformationen mit den Streckendaten verknüpft werden. Das Ziel war, jeden Unfall mit dem Abschnitt, auf welchem er stattfand, zu verbinden. Das untere Bild zeigt eine grafische Darstellung der Unfälle. Jeder Punkt stellt einen Unfall dar.

Um sicherzustellen, dass kein Unfall dem falschen Abschnitt oder einer falschen Richtung zugeordnet wird, wurden die Unfälle nach ihrer Richtung getrennt und anhand ihrer Koordinaten getrennt in ArcGIS zugefügt. Die GIS-Layer mit den Streckendaten wurden auch nach Richtungen gesplittet.

Durch den Befehl „Join“ wurden die Unfälle mit der Richtung 1 mit jenem ASFINAG-Netz-Layer, der die Richtung 1 beinhaltet verbunden. Die Unfälle wurden dem nächstgelegenen Streckenabschnitt zugeordnet. Bei diesem Befehl ist es möglich, Unfälle, welche zu einem Abschnitt gehören, zu addieren, und alle beteiligten Fahrzeuge sowie Verletzten und auch unverletzten Unfallteilnehmer hinzuzuzählen.

Durch diese Verbindung wurde jedem Abschnitt die Anzahl der Unfälle sowie die Anzahl der beteiligten Pkws, Lkws, Motorräder und Sonderfahrzeuge sowie Unverletzten, Leichtverletzten, Schwerverletzten und Getöteten zugeordnet. Der gleiche Prozess wurde auch für Richtung 2 durchgeführt.

Am Ende wurden die zwei Layers mittels dem Befehl „Merge“ zusammengefügt. Durch diesen Befehl entstand ein Layer mit 19 650 Abschnitten, welchen alle entsprechenden streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallinformationen zugeordnet wurden.



**Abbildung 34: Graphische Darstellung der Unfälle im ASFINAG-Netz**

Die Attributtabelle wurde von ArcGIS in Excel exportiert. In Excel erfolgten weitere Berechnungen der Unfallkennzahlen.

### **4.3 Vorgehensweise bei der Berechnung von Unfallkenngrößen**

Die Excel-Tabelle verfügte nun über alle erforderlichen Daten für die Berechnung von Unfallhäufigkeit und Unfallrate (siehe Kapitel 2.4).

Für die Berechnung der Unfallkostenrate ist es notwendig zu wissen, in welchem Jahr es zu dem jeweiligen Unfall kam, da die Unfallkosten in Abhängigkeit vom Jahr variieren. Deswegen war es notwendig, die Anfangsunfalldatei heranzuziehen. Dieses Mal wurden die Unfälle zuerst nach Jahren sortiert. Nach dieser Trennung wurden die Daten jedes Jahres auch noch nach Richtungen getrennt (gleich wie die Unfalldaten vorher) und so getrennt in ArcGIS hinzugefügt. Es wurde dasselbe gemacht wie zuvor, nur dass dieses Mal anstatt einer Unfalldatei mit getrennten Richtungen fünf Unfalldateien (für jedes Jahr eine) mit je zwei Richtungen mit ASFINAG-Netz-Layers mit den Richtungen 1 und 2 verbunden wurden. Es entstanden für jedes Jahr zwei Layers (wie vorher), die dann ebenfalls durch

„Merge“ zusammengefügt wurden. Am Ende gab es für jedes Jahr einen Layer mit den Strecken- und Unfalldaten, dessen Attributtabelle in Excel exportiert wurde.

Anhand der Tabelle mit den Unfallkosten aus den Jahren 2011 und 2016 wurden mittels linearer Interpolation die Unfallkosten händisch berechnet. Mit erfolgreicher Bestimmung der Unfallkosten wurden die letzten für die Berechnung der Unfallkennzahlen notwendigen Daten abgesichert. In einem nächsten Schritt wurde die Unfallkostenrate für jeden Abschnitt berechnet.

#### **4.4 Identifikation der Einzelunfälle auf Pannestreifen**

Nach der Datenaufbereitung und dem Fusionieren der Unfall- mit den Netzdaten konnte mit der Analyse der Daten begonnen werden. Die erste Analyse umfasste die Unfälle, zu denen es auf den Pannestreifen kam. Ziel dieser Analyse war es, die Anzahl dieser Unfälle sowie deren Bedeutung für dieses Projekt zu bestimmen. Am Anfang war noch nicht sicher, ob man sich nur auf die Pannestreifenunfälle oder doch auf die Gesamtunfälle konzentrieren soll. Diese Unfälle wurden mit den Gesamtunfällen verglichen und der Unterschied zwischen ihnen detailliert untersucht.

Es muss auch darauf hingewiesen werden, dass die Unfälle anhand der Unfalldaten nicht mit einer hundertprozentigen Sicherheit den Pannestreifenunfällen zugeordnet werden konnten, da die Erfassung der Unfalldaten von der Arbeitsweise der unterschiedlichen Polizeibeamten abhängig ist. Die Unterschiede in der Arbeitsweise bzw. bei der Eintragung der Unfalldaten in die Tabelle zwischen den einzelnen Beamten wurden wahrgenommen. Es war schwierig zu bestimmen, welche Spalte die Informationen über den vom Unfall betroffenen Fahrstreifen beinhaltet. Nach zahlreichen Besprechungen mit Experten wurde festgestellt, wie schon in Kapitel 4.1 erwähnt wurde, dass die Spalte U\_K3FAHRST Informationen zum Fahrstreifen liefert, auf dem ein Unfall passierte.

Unfallstreifen werden in dieser Spalte folgenderweise beschrieben:

- Leer
- Bankett/Seitenstreifen
- Bankett/Seitenstreifen, Pannestreifen
- Bankett/Seitenstreifen, Pannestreifen, Fahrstreifen
- Fahrstreifen/Straßen für Busse
- Gehsteig/Gehweg
- Nebenfahrbahn
- Pannestreifen
- Pannestreifen, Fahrstreifen/Straßen für Busse
- Parkstreifen
- Radstreifen
- Radweg

Falls es auf einem Fahrstreifen zum Unfall gekommen ist, ist die Zeile in dieser Spalte leer. Allen anderen Unfällen werden die Attribute aus der obenstehenden Liste zugewiesen.

Da für dieses Projekt Unfälle, welche auf dem Pannestreifen passiert sind oder in einer Verbindung mit dem Pannestreifen stehen, eine wesentliche Rolle spielen, wurden aus der Tabelle nur jene Unfälle herausgenommen, welchen in der Spalte U\_K3FAHRST folgende Attribute zugewiesen wurden:

- Bankett/Seitenstreifen
- Bankett/Seitenstreifen, Pannestreifen
- Bankett/Seitenstreifen, Pannestreifen, Fahrstreifen
- Pannestreifen
- Pannestreifen, Fahrstreifen/Straßen für Busse
- Parkstreifen

Die herausgefilterten Unfälle werden in diesem Projekt unter dem Begriff „Pannestreifenunfälle“ zusammengefasst. Von insgesamt 9 991 Unfällen können 201 Unfälle den Pannestreifenunfällen zugeordnet werden, was einem Prozentsatz von 2,01 % entspricht.

Es wurde auch die Anzahl der Gesamtunfälle sowie der Pannestreifenunfälle pro Autobahn untersucht. Die meisten Unfälle passierten auf A1 und A2, gefolgt von A10 und A12. Diese Zahlen stehen sicher in Verbindung mit der Länge der Autobahnen sowie mit den Verkehrsstärken und charakteristischen Eigenschaften der Autobahnen. Die A2 weist eine hohe Verkehrsstärke auf, ist sehr lang, hat viele Kurven, Baustellen und Abschnitte ohne Pannestreifen. Somit ist es logisch, dass die meisten Unfälle auf ihr passieren. Auf den Schnellstraßen kam es in fünf Jahren zu insgesamt 16 Unfällen. Aus diesen Zahlen kann man keine Schlussfolgerungen ziehen. In Tabelle 10 wurden nur die Autobahnen mit den höchsten Unfallzahlen verglichen.

**Tabelle 10: Unfälle auf den ausgewählten Autobahnen**

Autobahnen	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
A1	2123	42
A2	1925	37
A12	620	26
A10	498	22

Einen Einfluss auf die Anzahl der Unfälle kann der Streckenzustand haben. Daraus ergab sich ein Untersuchungskriterium. Der Einfluss des Zustandes der Fahrbahn auf die Anzahl der Unfälle (Anzahl der Gesamtunfälle und Anzahl der Pannestreifenunfälle) wurde analysiert und die Ergebnisse verglichen. Dem unteren Diagramm ist das Ergebnis der Analyse zu entnehmen. Die meisten Unfälle, egal ob es um alle Unfälle oder nur um Pannestreifenunfälle geht, passierten auf der trockenen Fahrbahn. Während die Verkehrsteilnehmer auf nassen oder schneebedeckten Fahrbahnen wahrscheinlich vorsichtiger und langsamer fahren sowie den erforderlichen Abstand zu halten versuchen, überschreiten sie auf trockenen Fahrbahnen die zulässige Geschwindigkeit und halten beim Fahren nicht den erforderlichen Abstand.

**Tabelle 11: Unfallanzahl in Abhängigkeit vom Streckenzustand**

Streckenzustand	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Trockene Fahrbahn	7353	137
Nasse Fahrbahn	2035	38
Winterliche Bedingungen (Schnee, Eis, Schneematsch)	593	25
Sand, Splitt auf der Fahrbahn	1	1
Sonstiger Zustand (z. B. Öl, Erde)	11	0

Im Zuge dieses Vergleichs wurde auch untersucht, wie viele Unfälle pro Jahr (Zeitraum 2012–2016) im ASFINAG-Netz passieren. Von den insgesamt 201 Pannestreifenunfällen passierten 89 im Jahr 2012. Im Jahr 2013 waren es um mehr als die Hälfte weniger. Während es im Jahr 2014 zu 26 Unfällen kam, passierten in 2015 24 Unfälle. Im Jahr 2016 kam es zu mehr Unfällen als im Jahr 2015. Die Anzahl der Pannestreifenunfälle im Jahr 2016 beträgt 28. Während es im Jahr 2012 bei den Pannestreifenunfällen eindeutig zu den meisten Unfällen kam, ist die Anzahl aller Unfälle jedes Jahr fast gleich und die Zahlen weisen keine großen Abweichungen auf.

**Tabelle 12: Anzahl der Unfälle pro Jahr**

Jahr	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
2012	2117	89
2013	1992	34
2014	1892	26
2015	1867	24
2016	2123	28

Weiters wurde analysiert, ob die Anzahl der Unfälle von der Jahreszeit abhängig ist. Die Monate wurden folgenderweise gruppiert:

- **Frühling:** März, April, Mai
- **Sommer:** Juni, Juli, August
- **Herbst:** September, Oktober, November
- **Winter:** Dezember, Jänner, Februar

Anhand von Tabelle 13 wird offensichtlich, dass die Jahreszeiten bisher keinen Einfluss auf die Anzahl der Pannestreifenunfälle ausgeübt haben. Die Gesamtunfallzahl ist eindeutig im Sommer höchsten, was sich aber in der Anzahl der Pannestreifenunfälle nicht widerspiegelt. Der Herbst liegt am zweiten Platz. Die Anzahl der Gesamtunfälle ist im Frühling und im Sommer fast gleich hoch.

**Tabelle 13: Anzahl der Unfälle nach Jahreszeit**

Jahreszeit	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Frühling	2277	51
Sommer	2874	52
Herbst	2656	47
Winter	2184	51

Als nächstes Untersuchungskriterium gilt die Uhrzeit des Unfalls. Die Uhrzeiten wurden in folgenden Klassen gruppiert:

- **Morgen:** 6 bis 9 Uhr
- **Vormittag:** 9 bis 12 Uhr
- **Mittag:** 12 bis 14 Uhr
- **Nachmittag:** 14 bis 18 Uhr
- **Abend:** 18 bis 21 Uhr
- **Nacht:** 21 bis 6 Uhr

In Tabelle 17 ist zu sehen, dass die meisten Unfälle (Gesamtunfallanzahl und Pannestreifenunfälle) am Nachmittag passierten. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die Leute am Nachmittag von der Arbeit nach Hause fahren (erhöhter Pendlerverkehr) und müde und abgelenkt sind, was eine der häufigsten Unfallursachen darstellt. Während die Nachtzeit bei der Anzahl der Pannestreifenunfälle auf dem zweiten Platz liegt, belegt die Morgenzeit bei der Gesamtunfallzahl den zweiten Platz. Auch morgens ist der Pendlerverkehr erhöht, die Sicherheitsabstände werden nicht eingehalten, die Verkehrsteilnehmer sind noch unkonzentriert und abgelenkt (z. B. durch Kinder im Auto), was das Unfallrisiko erhöht.

**Tabelle 14: Anzahl der Unfälle nach Uhrzeit**

Uhrzeit	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Morgen	1946	33
Vormittag	1370	21
Mittag	1067	24
Nachmittag	2770	46
Abend	1147	25
Nacht	1691	42

Für die Unfallanalyse ist es auch wichtig zu wissen, zu welcher Tageszeit es zu einem Unfall gekommen ist bzw. ob er in der Dunkelheit oder eher bei Tageslicht passiert ist. Anhand des untenstehenden Diagramms über den Einfluss von Tageszeiten auf die Unfallanzahl ist nachvollziehbar, dass die meisten Unfälle, insgesamt 6 486 aller Unfälle, davon 133 der Pannestreifenunfälle, bei Tageslicht passierten. Die Dunkelheit hat wenig Einfluss auf die Anzahl der Pannestreifenunfälle oder der Unfälle allgemein, da nur 55 von 201 Pannestreifenunfällen der Dunkelheit zugeordnet werden können. Das gleiche gilt auch für alle Unfälle.

**Tabelle 15: Anzahl der Unfälle nach Tageszeit**

Tageszeit	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Tageslicht	6486	133
Dämmerung	578	11
Dunkelheit	2129	55
Künstliche Beleuchtung eingeschaltet	798	2

Die Analyse der Daten zeigte, dass Unachtsamkeit/Ablenkung eindeutig die häufigste Ursache aller Unfälle sowie Pannestreifenunfälle ist. Zweithäufigste Ursache ist eine nicht angepasste Geschwindigkeit. Auf Platz drei der Pannestreifenunfälle liegt die Übermüdung. Im Gegensatz zu Pannestreifenunfällen besetzen „unbekannte Ursachen“ den dritten Platz. Während der mangelhafte Sicherheitsabstand die vierthäufigste Unfallursache bei den Gesamtunfällen darstellt, spielt diese Ursache bei den Pannestreifenunfällen keine Rolle.

**Tabelle 16: Häufigste Ursachen von Gesamt- und Pannestreifenunfällen**

Unfallursachen	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Keine bekannte Ursache	1159	16
Nicht angepasste Geschwindigkeit	1703	37
Mangelhafter Sicherheitsabstand	1199	6
Übermüdung	895	28
Unachtsamkeit/Ablenkung	3597	72

Neben den Unfallursachen wurden auch die Unfalltypen untersucht. Die zur Verfügung gestellten Unfalldaten weisen insgesamt 88 verschiedene Unfalltypen auf. Bei den Pannestreifenunfällen kommen 27 dieser Typen vor.

Aus Tabelle 19 ist ersichtlich, dass es bezüglich der häufigsten Unfalltypen bei den Gesamt- und Pannestreifenunfällen einige Unterschiede gibt. Während das „Auffahren auf [ein] fahrendes Fahrzeug auf der Geraden“ der häufigste Unfalltyp bei den Gesamtunfällen ist, liegt das „Abkommen rechts auf der Geraden“ bei den Pannestreifenunfällen am ersten Platz. Gleichzeitig liegt das „Abkommen rechts auf der Geraden“ bei den Gesamtunfällen auf dem zweiten Platz. Das „Auffahren auf [ein] fahrendes Fahrzeug auf der Geraden“ ist der zweithäufigste Unfalltyp bei den Pannestreifenunfällen. Das „Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts“ liegt bei den Gesamtunfällen auf dem fünften Platz. Anders als bei den Gesamtunfällen belegt das „Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision“ bei den Pannestreifenunfällen den dritten Platz. Im Vergleich zu den Gesamtunfällen kommen das „Abkommen links auf der Geraden“ und das „Auffahren auf [ein] verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ auf Pannestreifen nicht oft vor und zählen bei den Pannestreifenunfällen daher nicht zu den fünf häufigsten Unfalltypen, was einfach nachvollziehbar ist. Eine „Kollision mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen; Fahrzeug hält oder parkt rechts“ stellt einen typischen Pannestreifenunfalltyp dar und wird dort als vierthäufigster Unfalltyp aufgelistet. „Sonstige Unfälle im Richtungsverkehr“ stehen auf Platz fünf der Pannestreifenunfalltypen.



Durch die nähere Analyse der Unfalltypen wurde festgestellt, dass das „Auffahren auf (ein) fahrendes Fahrzeug auf der Geraden“ den häufigsten Unfalltyp der Gesamtunfälle darstellt. Diesem Typ konnten 2 649 Unfälle zugeordnet werden. Auf dem zweiten Platz liegt das „Abkommen rechts auf der Geraden“ mit 1 804 Unfällen. Knapp hinter diesem Typ steht das „Auffahren auf [ein] verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ mit 1 612 Unfällen. Vierter und fünfter Platz wurden von den Ursachen „Abkommen links auf der Geraden“ und „Wechsel des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts“ belegt.

Als der häufigste Unfalltyp der Pannestreifenunfälle gilt eindeutig das „Abkommen rechts auf der Geraden“. Von insgesamt 201 Pannestreifenunfällen können 72 diesem Unfalltyp zugeordnet werden. Der zweite Platz wird vom „Auffahren auf [ein] verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ belegt. Der vierte Platz wird von den Kategorien „Kollision mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen; Fahrzeug hält oder parkt rechts“ und „Sonstige Unfälle im Richtungsverkehr“ geteilt.

**Tabelle 17: Häufigste Unfalltypen bei den Gesamt- und bei den Pannestreifenunfällen**

Gesamtunfälle		Pannestreifenunfälle	
Auffahren auf fahrendes Fahrzeug auf der Geraden	2 649	Abkommen rechts auf der Geraden	72
Abkommen rechts auf der Geraden	1 804	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug auf der Geraden	22
Auffahren auf verkehrsbed. stehendes Fahrzeug auf der Geraden	1 612	Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts mit Abkommen rechts	11
Abkommen links auf der Geraden	887	Kollision mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen; Fahrzeug hält oder parkt rechts	10
Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts	433	Sonstige Unfälle im Richtungsverkehr	10

In diesem Projekt werden nur Unfälle mit Personenschaden berücksichtigt. Das ist der Grund, wieso die Excel-Tabelle nur solche Unfälle beinhaltet. An den Unfällen waren insgesamt 27 307 Verkehrsteilnehmer beteiligt. Davon waren 491 in Pannestreifenunfällen involviert. Fast die Mehrheit der Verkehrsteilnehmer ist durch die Unfälle leicht verletzt worden. 12 051 Verkehrsteilnehmer bei allen Unfällen und 197 Verkehrsteilnehmer bei den Pannestreifenunfällen sind unverletzt davongekommen. Bei den Gesamtunfällen sind 233 Menschen ums Leben gekommen, was einen Prozentsatz von 0,85 % ausmacht. Durch Pannestreifenunfälle wurden 13 Menschen getötet.

**Tabelle 18: Anzahl der Unfallteilnehmer nach der Verletzungsgrad**

Unfallteilnehmer	Gesamtunfälle	Pannestreifenunfälle
Unverletzte	12051	197
Leichtverletzte	13100	210
Schwerverletzte	1923	71
Getötete	233	13

Durch den detaillierten Vergleich zwischen Pannestreifenunfällen und Gesamtunfällen konnte festgestellt werden, dass es keine großen Unterschiede gibt. Die größten Unterschiede weisen diese beiden Kategorien auf, wenn es um den Unfalltyp geht. Sonst sind die Ergebnisse gleichmäßig verteilt und weisen kaum Abweichungen auf.

Für die weiteren Analysen in diesem Projekt werden die Gesamtunfälle aus mehreren Gründen miteinbezogen:

- Die Pannestreifenunfälle stellen nur 2,01 % der Gesamtunfälle dar.
- Es gab keine einheitliche Erfassung der Unfalldaten.
- Viele Unfälle konnten nicht mit hundertprozentiger Sicherheit den Pannestreifenunfällen zugeordnet werden.

## 5 Netzweite Sicherheitsanalyse

Nachdem im vorigen Kapitel festgestellt wurde, dass für die weiteren Analysen in dieser Arbeit die Gesamtunfälle herangezogen werden, soll dieses Kapitel sich nun mit der Untersuchung der Daten befassen. Diese Untersuchung kann in folgende Teile gegliedert werden:

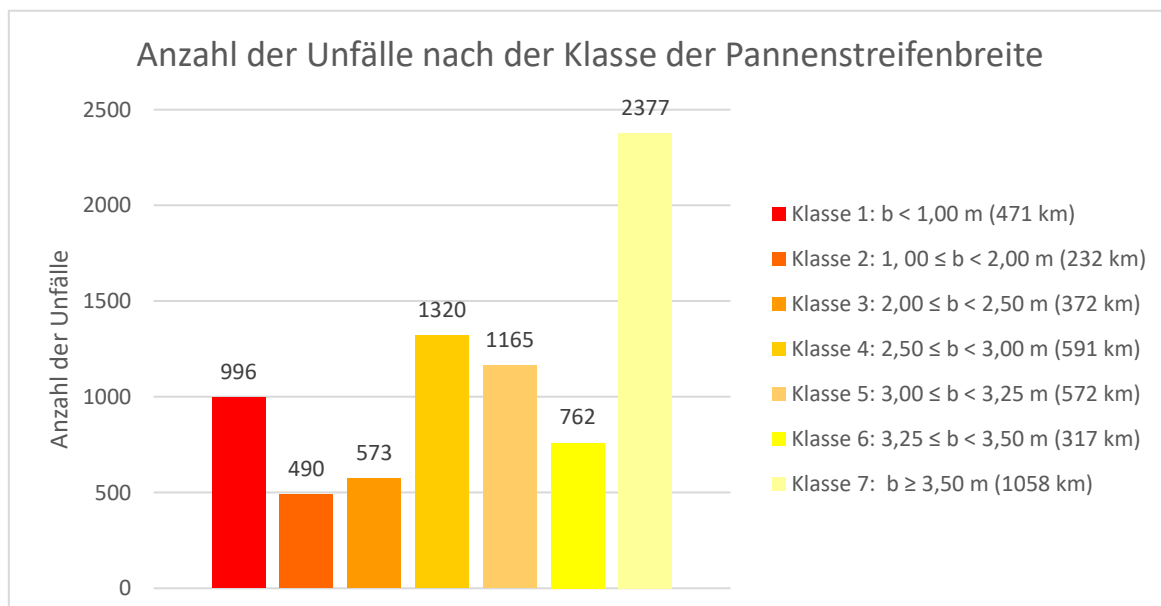
- Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreiten und Unfallkenngrößen
- Korrelationsanalyse (welchen Einfluss z. B. die Pannenstreifenbreite auf die Anzahl der Getöteten hat)
- Varianzanalyse (ANOVA)
- Detailanalyse einzelner Streckenabschnitte und deren Vergleich

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in diesem Kapitel dargestellt.

### 5.1 Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreiten und Unfallkenngrößen

Wie bereits angekündigt wurde, werden neben den Unfallkennzahlen auch die unterschiedlichen Straßenmerkmale (Entwurfs- und Betriebsmerkmale) besonders berücksichtigt. In dieser Arbeit wird der Akzent auf die Pannenstreifenbreiten im ASFINAG-Netz gesetzt. Der Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreiten und Unfallkennzahlen wurde detailliert analysiert.

Daten wurden nach Klassen der Pannenstreifenbreiten herausgefiltert und Unfallkenngrößen mit den jeweils gleichen Klassen addiert, sodass ein Vergleich der Werte zwischen den einzelnen Klassen möglich wurde. Die addierten Werte wurden schließlich durch die Länge des Bereichs in Kilometern der einzelnen Klassen dividiert.

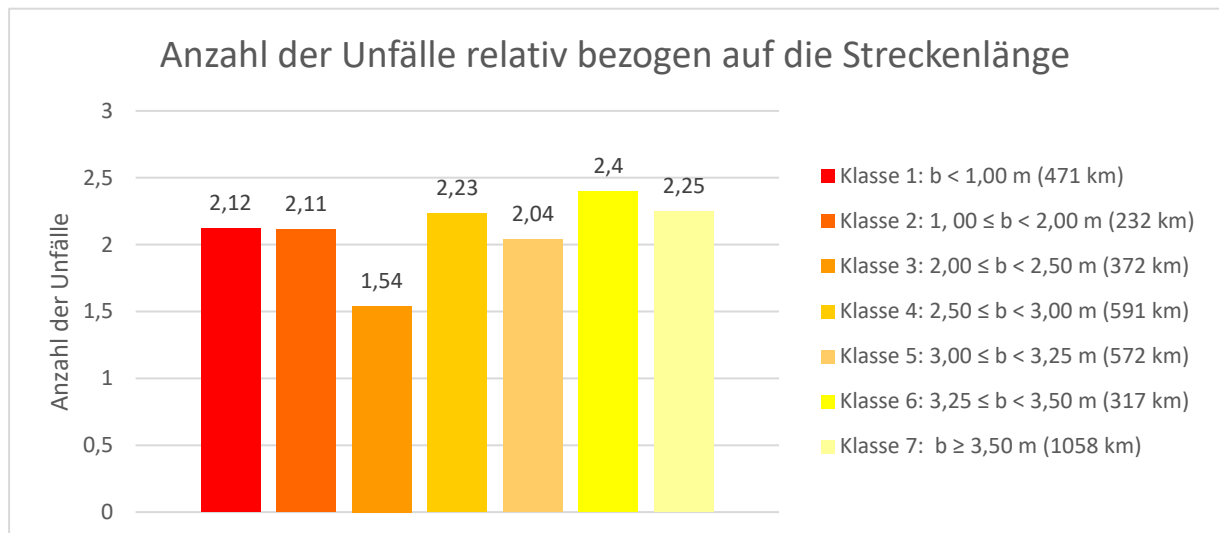


**Abbildung 35: Anzahl der Unfälle pro Pannenstreifenbreitenklasse im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016**

Die obere Grafik (Abb. 35) zeigt, dass die meisten Unfälle im Bereich der Pannenstreifenbreiten der Klasse 7 passieren, was überraschend ist, da die Klasse 7 die überbreiten Pannenstreifen ( $b \geq 3,50$  m)

beinhaltet. Diese Klasse umfasst 1 058 km und deckt damit eindeutig vergleichsweise die meisten Kilometer ab. Auch dies kann ein Grund sein, wieso es auf den Strecken mit den überbreiten Pannestreifen zu den meisten Unfällen kam. Auf dem zweiten Platz liegt die Klasse 4 ( $2,50 \text{ m} \leq b < 3,00 \text{ m}$ ). Auf den Strecken ohne Pannestreifen kam es zu insgesamt 996 Unfällen. Dies bedeutet, dass diese Klasse ohne Pannestreifen in diesem Vergleich nur den viertgrößten Wert aufweist. Klasse 2 ( $1,00 \text{ m} \leq b < 2,00 \text{ m}$ ) umfasst Strecken mit schmalen Pannestreifen. Diese Klasse weist eindeutig die wenigsten Unfälle auf.

Neben diesen Daten wurden auch die relativen Unfallzahlen bezogen auf die Streckenlänge jeder Pannestreifenbreitenklasse miteinander verglichen. In Abbildung 36 ist zu sehen, dass die Klasse 3 ( $2,00 \text{ m} \leq b < 2,50 \text{ m}$ ) die niedrigste Anzahl an Unfällen pro Streckenkilometer aufweist. Strecken ohne Pannestreifen und Strecken mit sehr schmalen Pannestreifen haben fast die gleiche Anzahl an Unfällen pro Streckenkilometer (2,12 bzw. 2,11 Unfälle/km in 5 Jahren). Keine dieser beiden Klassen hat die größte Anzahl der Unfälle pro Streckenkilometer. Im Gegensatz zu Klasse 3 weisen die Autobahnen und Schnellstraßen der Klasse 6 ( $3,25 \text{ m} \leq b < 3,50 \text{ m}$ ) die höchste Anzahl an Unfällen pro Streckenkilometer auf (2,4 Unfälle/km in 5 Jahren).



**Abbildung 36: Anzahl der Unfälle im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016**

Weiters wurde der Einfluss von Pannestreifenbreiten auf die Unfallhäufigkeit untersucht. Die Ergebnisse dieser Analyse sind Abbildung 36 zu entnehmen. Im Gegensatz zur Anzahl der Unfälle pro Pannestreifenbreitenklasse oder der Anzahl der Unfälle bezogen auf die Länge der einzelnen Klassen weisen die Bereiche, in welchen die Pannestreifen nicht vorhanden oder schmal sind, die höchsten Unfallhäufigkeiten auf. Die Klasse mit schmalen Pannestreifen ( $1,00 \text{ m} \leq b < 2,00 \text{ m}$ ) hat eindeutig die höchste Unfallhäufigkeit. Klassen mit sehr breiten und überbreiten Pannestreifen haben fast den gleichen Unfallhäufigkeitswert wie die Klasse mit fehlenden Pannestreifen. Die eindeutig niedrigste Unfallhäufigkeit hat Klasse 3 mit einer Pannestreifenbreite zwischen 2,00 und 2,50 m. Diese Klasse hatte auch die niedrigste Anzahl an Unfällen pro Kilometer. Im Vergleich zu Klasse 7 (überbreite Pannestreifen) ist die Unfallhäufigkeit in Klasse 3 wesentlich geringer.

Neben der Unfallhäufigkeit wurde auch der Einfluss von Pannestreifenbreiten auf die Unfallrate (UR) untersucht. Die Unfallrate wurde relativ auf die Streckenlänge der einzelnen Klassen bezogen und verglichen. Das Ergebnis dieses Vergleiches ist Abbildung 37 zu entnehmen. Klasse 2, die die schmalen Pannestreifen mit einer Breite von 1,00 bis 2,00 m umfasst, weist die höchste Unfallrate auf. Der

zweite Platz wird von der Klasse 1, welche die Strecken ohne Pannestreifen umfasst, belegt. Gleich wie bei der Unfallhäufigkeit, weist die Klasse 5 mit den Pannestreifenbreiten zwischen 3,00 und 3,25 m auch die niedrigste Unfallrate auf. Die Unfallraten der anderen Klassen weichen nur geringfügig voneinander ab und sind deutlich niedriger als die Werte bei den Klassen 1 und 2.

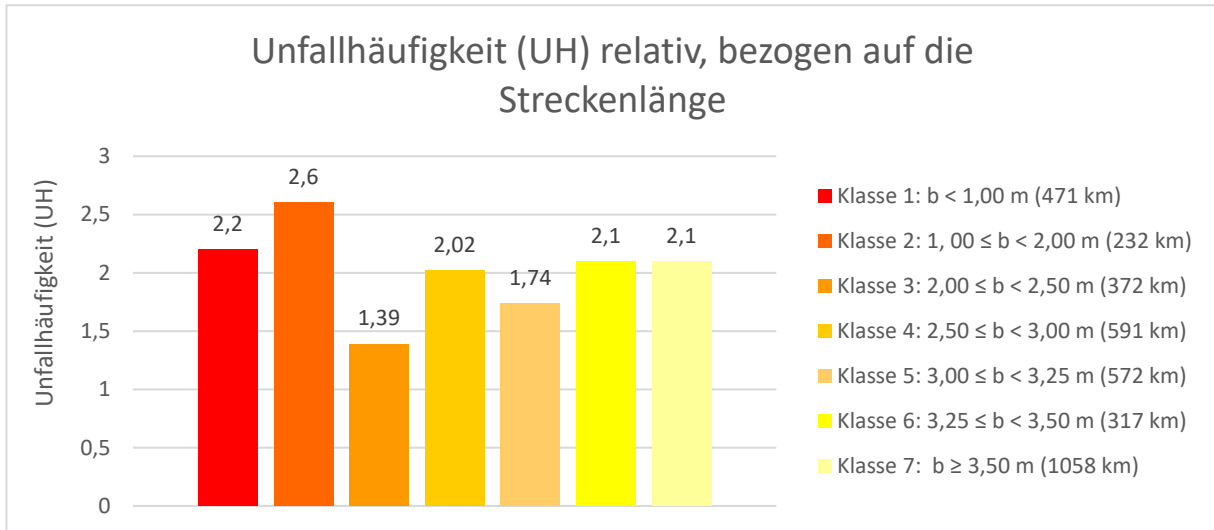


Abbildung 37: Unfallhäufigkeit (UH) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016

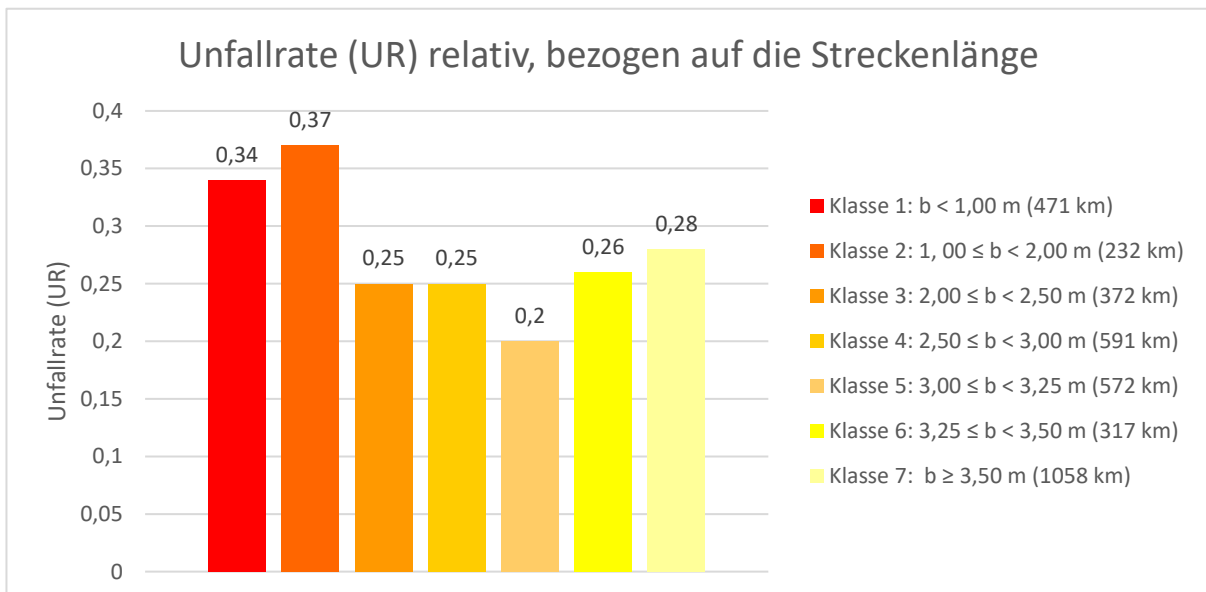
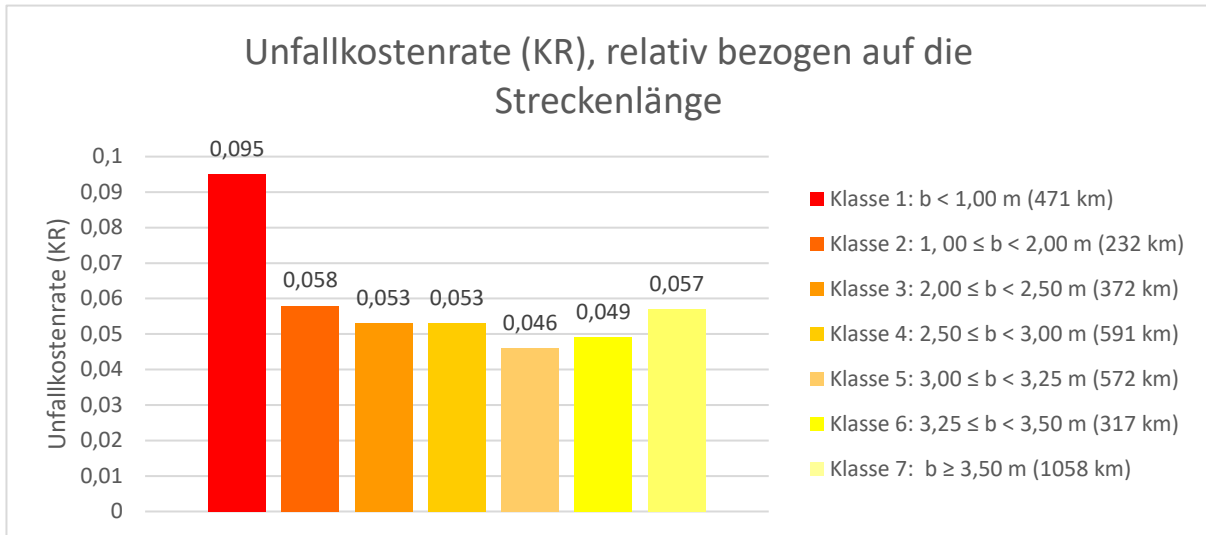


Abbildung 38: Unfallrate (UR) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016

Am Ende wurde auch der Einfluss der Pannestreifenbreiten auf die Unfallkostenrate analysiert. Die Unfallkostenrate wurde auf die Klassenlänge bezogen berechnet und die Werte der einzelnen Klassen verglichen. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Abbildung 39 graphisch dargestellt. Bei der Unfallkostenrate weist die erste Klasse (ohne Pannestreifen) eindeutig den höchsten Wert auf. Dies bedeutet, dass die Unfälle, die auf den Strecken ohne Pannestreifen passieren, schwerer waren als die Unfälle, zu denen es auf den Strecken mit Pannestreifen kam. Die Unfallschwere wird durch die Anzahl der Leicht- und Schwerverletzten sowie Getöteten definiert. Auf den Strecken ohne

Pannestreifen werden die Unfallteilnehmer schwerer verletzt bzw. öfter getötet als auf den Strecken mit Pannestreifen. Die Werte der anderen Klassen weichen nur geringfügig voneinander ab. Gleich wie bei der Unfallrate, weist die Klasse 5 den niedrigsten Wert auf.



**Abbildung 39: Unfallkostenrate (KR) im ASFINAG-Netz in einem Zeitraum von 2012 bis 2016**

Die graphische Darstellung der Unfallkennzahlen im ASFINAG-Netz ist dem Anhang zu entnehmen.

## 5.2 Korrelationsanalyse

In Laufe dieses Projektes wurde auch eine Korrelationsanalyse durchgeführt, deren Ergebnisse in diesem Kapitel vorgestellt werden. Korrelation ist im weiteren Sinne ein statistischer Begriff und kann in zwei Teile gegliedert werden. Diese Gliederung ist in Abbildung 40 graphisch dargestellt.



**Abbildung 40: Gliederung der Korrelation (s. [19])**

Allgemein stellt die Korrelation einen Zusammenhang zwischen Erscheinungen und Prozessen dar. Im engeren Sinne wird unter „Korrelation“ die Erfassung des Grades der Stärke (Strammheit, Enge, Intensität) eines Zusammenhanges verstanden, wobei die Richtung der Korrelation keine Rolle spielt. Durch die Regression wird die Art des Zusammenhanges zwischen zwei Merkmalen bestimmt. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Korrelation im engeren Sinne. (s. [19])

Der Korrelationsanalyse werden folgende Aufgaben zugeteilt (s. [19]):

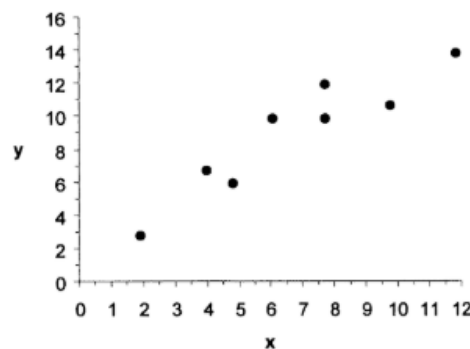
- Messung des Grades des korrelativen Zusammenhanges (Enge, Stärke, Strammheit) zwischen zwei oder mehreren Erscheinungen;

- Messung des Grades des korrelativen Zusammenhanges zwischen zwei oder mehreren Erscheinungen, um die Faktoren aufzudecken, die eine Erscheinung oder einen Prozess wesentlich beeinflussen;
- Mithilfe bei der Aufdeckung noch unbekannter Zusammenhänge.

Bei quantitativen Merkmalen wird das Streuungsdiagramm als Ausgangspunkt jeder Zusammenhangsmessung dargestellt. Das Streuungsdiagramm ist ein Koordinatensystem, das den Streuungsverbund zweier Merkmale visualisiert. Durch das Streuungsdiagramm wird ein besserer Einblick in die Abhängigkeitsstruktur zweier Merkmale geschaffen. (s. [24])

Im Streuungsdiagramm müssen die beiden betrachteten Merkmale nicht notwendig metrisch skaliert werden. Grundsätzlich können auch die ordinal skalierte Merkmale betrachtet werden. Die Basis der Zusammenhangsmessung in beiden Fällen bilden die geordneten Paare  $(x_i, y_i)$ , welche die Beobachtungswerte der Merkmale X und Y wiedergeben, die bei n statistischen Einheiten erhoben worden sind. Um den Streuungsverbund transparent zu machen, müssen X- und Y-Wert dieselbe statistische Einheit aufweisen. (s. [24])

Die Werte des Merkmals X liegen in einem Streuungsdiagramm auf der Abszisse, wobei sich die Werte des Merkmals Y auf der Ordinate befinden. In Abbildung 41 ist ein einfaches Streuungsdiagramm dargestellt. (s. [24])



**Abbildung 41: Ein einfaches Streuungsdiagramm (s. [24])**

Aus dem Streuungsdiagramm kann der Zusammenhang zwischen den Merkmalen X und Y nach folgenden Regeln leicht abgelesen werden (s. [24]):

- **positiver Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen X und Y:** gleichzeitiger Anstieg von X und Y-Werten;
- **negativer Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen X und Y:** steigende X-Werte und fallende Y-Werte und umgekehrt;
- **kein Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen X und Y:** Beobachtungspaare bilden eine kreisförmige Punktwolke oder liegen parallel zur Diagrammchse.

Da die Korrelationsanalyse stark auf Ausreißer reagiert, soll bei jeder Berechnung des Korrelationskoeffizienten  $r_{xy}$  auch das zugehörige Streudiagramm berücksichtigt werden. Aufgrund eines Ausreißers kann es dazu kommen, dass die Korrelation einer Stichprobe nahe an einen bestimmten Wert herankommt, der von den restlichen Daten weit entfernt ist. (s. [23])

Anhand eines Streuungsdiagramms kann die Form sowie die Stärke der Beziehung zwischen zwei Merkmalen bestimmt werden. Um die Form oder Stärke der Beziehung zwischen zwei metrisch skalierten Merkmalen quantifizieren zu können, ist eine Kennzahl der Verbundstreuung notwendig. Diese Hilfsgröße, die kein Maß für die Stärke des Zusammenhangs in der Korrelationsanalyse darstellt und durch die Verwendung des Varianzkonzepts entwickelt wird, nennt man Kovarianz. Durch die untenstehende Formel wird dieser Wert als das arithmetische Mittel der Kreuzpunkte berechnet. (s. [24])

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$$

Die Richtung eines Zusammenhangs kann durch die Kovarianz gemessen werden. Um die Stärke eines Zusammenhangs mittels Kovarianz festzulegen, ist es notwendig den Transformationseffekt auszuschalten. Dies geschieht mittels einer Normierung, etwa dem Korrelationskoeffizient nach Bravais und Pearson. (s. [24])

Durch die Korrelationsanalyse in dieser Arbeit soll die Stärke des Zusammenhanges zwischen den Pannestreifenbreiten und den Unfallkennzahlen untersucht bzw. bestimmt werden. Um den Korrelationskoeffizienten zu bestimmen, wurden folgende fünf Schritte durchgeführt:

#### 1. Auswahl von Variablen

- **Unabhängige Variablen:** Pannestreifenbreite
- **Abhängige Variablen:** Anzahl der Unfälle, Anzahl der Unverletzten, Anzahl der Schwerverletzten, Anzahl der Getöteten, Unfallhäufigkeit, Unfallrate, Unfallkostenrate

#### 2. Erfassung von Daten

- **Ordinal skalierte Werte:** Pannestreifenbreitenklassen

Für die Korrelationsanalyse wurden die Pannestreifenbreiten gruppiert und grob in vier Gruppen gegliedert:

- Kein Pannestreifen:  $b < 1,00$  m
- Schmalere Pannestreifen:  $1,00 \leq b < 3,00$  m
- Normaler Pannestreifen:  $3,00 \leq b < 3,50$  m
- Überbreiter Pannestreifen:  $b \geq 3,50$  m
- **Kardinal/metrisch skalierte Werte:**
  - Pannestreifenbreite
  - DTV
  - Unfallanzahl
  - Anzahl der Leichtverletzten
  - Anzahl der Schwerverletzten
  - Anzahl der Getöteten



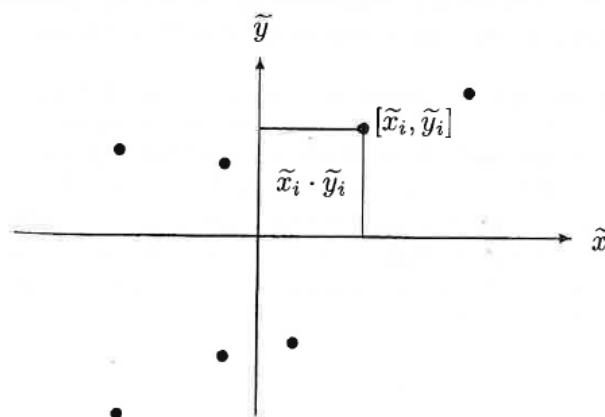
- Anzahl der Fahrstreifen
- Kurvigkeit
- Längsneigung

### 3. Auswahl und Ermittlung des Korrelationskoeffizienten

Der einfachste Weg eine Korrelation zu berechnen ist die beiden Variablen X und Y so zu simplifizieren, dass sie einen vorgegebenen Mittelwert, und zwar eine Null, und eine vorgegebene Streuung, und zwar eine Standardabweichung von 1, haben. Dies bewirkt die Unabhängigkeit des Maßes für die Stärke eines linearen Zusammenhanges vom Nullpunkt der Messskalen von X und Y und von den Maßeinheiten für X und Y. (s. [23])

$$\tilde{x}_i = (x_i - \bar{x})/sd_X \quad \tilde{y}_i = (y_i - \bar{y})/sd_Y$$

Während die gleichen Vorzeichen bei Wertepaaren darauf hindeuten, dass X und Y einen positiven Zusammenhang aufweisen, lassen Wertepaare mit ungleichen Vorzeichen einen negativen Zusammenhang erkennen. Das Produkt von einem Wertepaar  $(\tilde{x} \cdot \tilde{y})$  stellt die einfachste Funktion von  $\tilde{x}$  und  $\tilde{y}$  dar, die in diesem Sinn den Zusammenhang ermittelt. (s. [23])



**Abbildung 42: Zur Herleitung des Korrelationskoeffizienten (s. [19])**

Durch die untere Formel wird der Koeffizient für die gesamte Korrelation zwischen X und Y in der ganzen Stichprobe bestimmt. (s. [23])

$$r_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_i \tilde{x}_i \tilde{y}_i$$

In dieser Arbeit sollten zwei Korrelationsanalysen durchgeführt werden. In der ersten Analyse wurde der allgemeine Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen untersucht. Während der zweiten Korrelationsanalyse wurde der Einfluss von einzelnen Pannestreifenbreitenklassen auf die Unfallkenngrößen untersucht. In der ersten Korrelationsanalyse wurden nur die metrisch skalierten Variablen verwendet. Im Gegensatz zu dieser Analyse wurden in der zweiten Korrelationsanalyse auch die ordinal skalierten Variablen verwendet. Anhand von

Tabelle 19 und der Art der Variablenskalierung wurde der Typ der zu bestimmenden Korrelationskoeffizienten bestimmt. Ziel der ersten Korrelationsanalyse war es, einen Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten zu bestimmen. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman stellt das Ziel der zweiten Korrelationsanalyse dar.

**Tabelle 19: Tabelle für die Wahl des entsprechenden Korrelationskoeffizienten**

Skalierung von y Skalierung von x	kardinal/metrisch	ordinal	nominal
kardinal/metrisch	Bravis-Pearson Korrelationskoeffizient	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	Kontingenzkoeffizient
ordinal	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	Kontingenzkoeffizient
nominal	Kontingenzkoeffizient	Kontingenzkoeffizient	Kontingenzkoeffizient

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=rGXiqhjiUwA>

Der Korrelationskoeffizient nach Bravais und Pearson ( $r$ ) entsteht durch die Division der Kovarianz durch das Produkt der Standardabweichungen  $s_x$  und  $s_y$ . Der Streueffekt aus der Kovarianz wird unter Bezugnahme auf die Standardabweichungen der beiden Merkmale X und Y ausgeschaltet. Dies hat eine Normierung der Kovarianz und schließlich auch die Entstehung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais und Pearson zur Folge, da dieser aus der Normierung der Kovarianz abgeleitet wird. (s. [24])

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}$$

Wenn bei den Korrelationskoeffizienten nach Bravais und Pearson anstatt der Beobachtungspaare ( $x_i, y_i$ ) die zugehörigen Rangdaten  $[r(x_i), r(y_i)]$  verwendet werden, entsteht der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Durch den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman wird nicht nur die Stärke der Beziehung zwischen zwei Merkmalen, sondern auch das Ausmaß der Monotonie eines Zusammenhangs sichtbar. Der absolute Wert des Rangkorrelationskoeffizienten nimmt mit steigenden Abweichungen ab. (s. [24])

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}$$

#### 4. Darstellung der Ergebnisse

Die Korrelationsanalyse wurde mittels MATLAB durchgeführt. Ihre Ergebnisse werden in den folgenden Tabellen dargestellt.

**Tabelle 20: Allgemeiner Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreiten und Unfallkenngrößen**

Abhängige Variable	Korrelationskoeffizient	p-Wert
Anz. UPS	-0.0361	0.0049
Anz. Unverletzte	-0.0398	0.0019
Anz. Leichtverletzte	-0.0169	0.1887
Anz. Schwerverletzte	0.0174	0.1753
Anz. Getötete	-0.0192	0.1345
Unfallhäufigkeit	-0.0497	1.0818e <sup>-04</sup>
Unfallrate	-0.1122	1.8354e <sup>-18</sup>
Unfallkostenrate	-0.0281	0.0287

**Tabelle 21: Korrelation nach Pannenstreifenbreitenklasse**

Abhängige Variablen	Keine Pannenstreifen: $b < 1,00$ m		Schmale Pannenstreifen: $1,00 \leq b < 3,00$ m	
	Korrelationskoeffizient	p-Wert	Korrelationskoeffizient	p-Wert
Anz. UPS	0.0111	0.8046	-0.0508	0.0465
Anz. Unverletzte	0.0366	0.4159	-0.0202	0.4256
Anz. Leichtverletzte	0.0290	0.5195	-0.034	0.1807
Anz. Schwerverletzte	-0.0295	0.5117	0.0447	0.0786
Anz. Getötete	0.0022	0.9609	0.025	0.3259
Unfallhäufigkeit	0.0296	0.5105	-0.1143	6.3439e <sup>-04</sup>
Unfallrate	0.0033	0.9419	-0.2564	6.9572e <sup>-17</sup>
Unfallkostenrate	-0.0269	0.5506	-0.0344	0.4074

**Tabelle 22: Korrelation nach Pannenstreifenbreitenklasse**

Abhängige Variablen	Normalbreite Pannenstreifen: $3,00 \leq b < 3,50$ m		Überbreite Pannenstreifen: $b \geq 3,50$ m	
	Korrelationskoeffizient	p-Wert	Korrelationskoeffizient	p-Wert
Anz. UPS	0,053	0,0653	0,0678	0,0076
Anz. Unverletzte	0,0524	0,0685	0,1229	1,24E-06
Anz. Leichtverletzte	0,0414	0,1506	0,0944	0,0004
Anz. Schwerverletzte	0,045	0,1182	0,0489	0,0549
Anz. Getötete	-0,0256	0,3738	0,0314	0,2178
Unfallhäufigkeit	0,0632	0,0279	0,0338	0,1847
Unfallrate	0,1113	1,05E-04	-0,0438	0,0852
Unfallkostenrate	0,00114	0,6925	-0,0012	0,9612

### 5. Analyse und Interpretation der Ergebnisse

Der Wertebereich des Korrelationskoeffizienten ist von entscheidender Bedeutung für seine Interpretation. Dieser Bereich leitet sich aus der Schwarzischen Ungleichung, die für beliebige reelle Zahlen  $a_i$  und  $b_i$  gültig ist, ab. (s. [24])

$$\left( \sum_{i=1}^n a_i b_i \right)^2 \leq \sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n b_i^2$$

Da der Korrelationskoeffizient unter Berücksichtigung des Vorzeichens der Kovarianz im Intervall  $[-1, 1]$  liegen muss, muss der absolute Wert der Kovarianz  $s_{xy}$  ununterbrochen kleiner oder gleich dem Produkt aus den beiden Standardabweichungen  $s_x$  und  $s_y$  sein. (s. [24])

Anhand dieser Normierung ist es möglich, die Stärke des Zusammenhanges zweier Merkmale, die als ein Korrelationskoeffizient ( $r$ ) bezeichnet wird, zu beurteilen. Es können jedoch durch den Korrelationskoeffizienten nach Bravais und Pearson keine Aussagen über nicht monotone Beziehungen getätigt werden. (s. [24])

$$|s_{xy}| \leq s_x \cdot s_y \quad -1 \leq r \leq 1$$

Der lineare Zusammenhang zwischen den Merkmalen X und Y nimmt mit aufsteigendem Korrelationskoeffizienten zu. Ein Zusammenhang mit einer Stärke von 0,8 wird bei wirtschafts- und sozialstatistischen Daten bereits als ein starker Zusammenhang bezeichnet. Die Richtung des Zusammenhangs wird mittels der Kovarianz festgelegt. Abbildung 43 stellt graphisch Stärke und Richtungen einzelner Zusammenhänge in Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten dar. In der Abbildung ist zu sehen, dass ein negativer linearer Zusammenhang da ist, wenn  $r$  negativ ist. Ein positiver Zusammenhang wird durch einen positiven Korrelationskoeffizient verursacht. (s. [24])

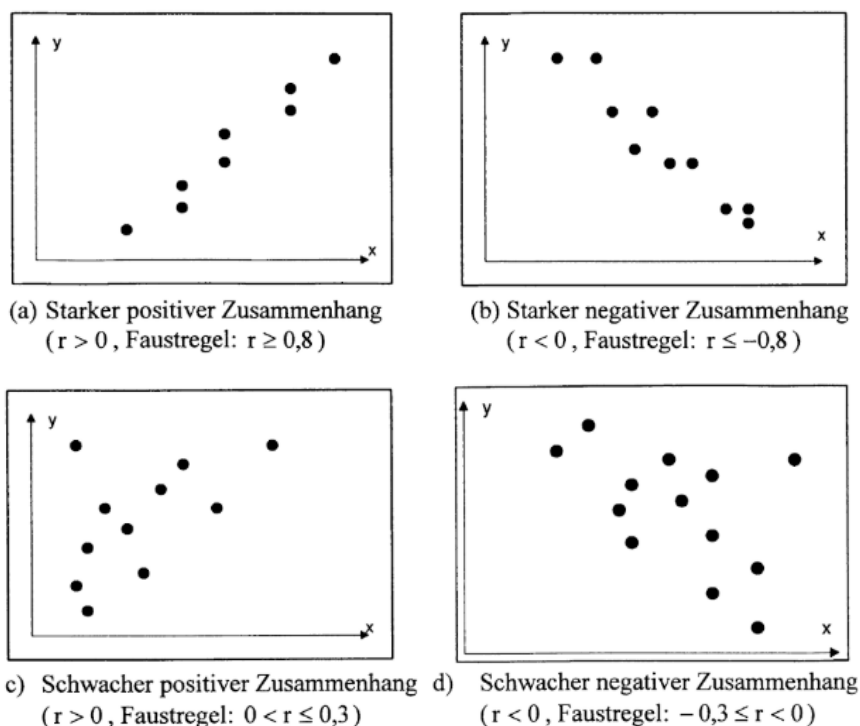
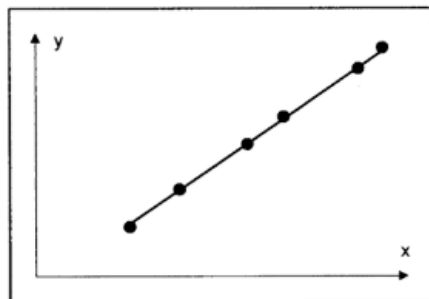
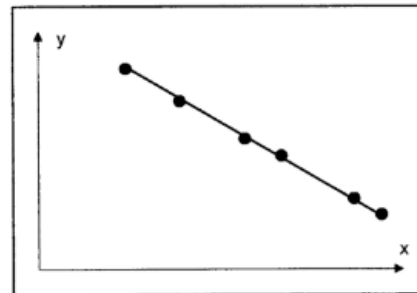


Abbildung 43: Richtung und Stärke eines linearen Zusammenhangs (s. [24])

Ein perfekter linearer Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen wird beobachtet, wenn ein Korrelationskoeffizient gleich eins ( $|r| = 1$ ) ist. In Abbildung 44 kann man sehen, dass die Steigung der Gerade bei einem positiven Korrelationskoeffizienten positiv ist. Die Gerade bei einem negativen Korrelationskoeffizienten weist eine negative Steigung auf. Es ist auch zu sehen, dass alle Beobachtungspaare auf einer Gerade liegen. (s. [24])



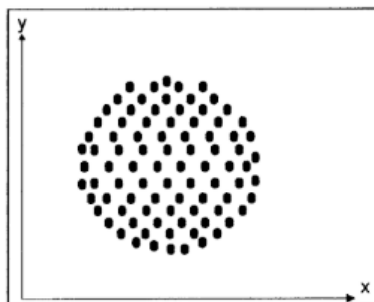
(a) Perfekter positiver linearer Zusammenhang ( $r = 1$ )



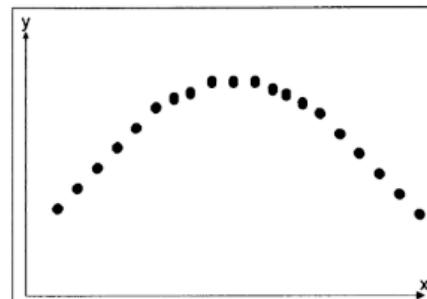
(b) Perfekter negativer linearer Zusammenhang ( $r = -1$ )

**Abbildung 44: Grenzfälle exakter linearer Zusammenhänge (s. [24])**

- X und Y positiv korreliert:  $r > 0$
- X und Y negativ korreliert:  $r < 0$
- X und Y unkorreliert:  $r = 0$



(a) Kreisförmige Anordnung ( $r = 0$ )



(b) Parabolische Beziehung ( $r = 1$ )

**Abbildung 45: Formen der Unkorreliertheit zweier Merkmale (s. [24])**

Wie stark sich ein Korrelationskoeffizient von 0 unterscheidet, wird durch den sogenannten p-Wert beschrieben. Je näher der p-Wert bei null liegt, desto höher ist die Signifikanz der ermittelten Korrelation. (s. [24])

**Tabelle 23: Symbolisierung der Irrtumswahrscheinlichkeit p (25)**

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0.05$	nicht signifikant	ns
$p \leq 0.05$	signifikant	*
$p \leq 0.01$	hoch signifikant	**

### 5.3 Varianzanalyse (ANOVA)

Die Varianzanalyse, auch als ANOVA (Analysis Of VAriance) bekannt, stellt ein kausalanalytisches multivariates Verfahren zur Untersuchung von Abhängigkeiten zwischen einer (oder mehreren) abhängigen metrischen Variablen und einer (oder mehreren) nominal skalierten und metrisch unabhängigen Variablen dar. (s. [20], [21])

Die unabhängigen Variablen werden in der Varianzanalyse allgemein als Faktoren bezeichnet. Die Merkmale von unabhängigen Variablen nennt man Stufen oder Ebenen. (s. [21])

Da es unterschiedliche Typen der Varianzanalyse gibt, hängt die Wahl der Form vom Ziel der Untersuchung ab. Das Festlegen des Ziels ist wichtig, da eine Serie univariater Varianzanalysen für den untersuchten Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable zu einem identischen Ergebnis führen kann wie die multivariaten ANOVA, aber eine möglicherweise vorhandene Korrelation zwischen abhängigen Variablen ignorieren wird. (s. [22])

**Tabelle 24. Varianten von Varianzanalyse (s. [22])**

		Unabhängige Variablen	
		eine	mehrere
Abhängige Variablen	eine	einfaktorielle univariate	mehrfaktorielle univariate
	mehrere	einfaktorielle multivariate	mehrfaktorielle multivariate

Eine einfaktorielle (einfache) Varianzanalyse entsteht durch die Analyse der Wirkung einer unabhängigen Variablen auf eine abhängige Variable. Durch diese Art der Varianzanalyse sollte untersucht werden, ob die unabhängige Variable (Faktor) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die abhängige Variable aufweist. Eine zwei- bzw. mehrfaktorielle (zwei- bzw. mehrfache) Varianzanalyse wird durchgeführt, um die Wirkung zweier oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable zu erfassen. Bei dieser Art der Varianzanalyse ist es möglich zu prüfen, ob die unabhängigen Variablen in Kombination Einfluss auf die abhängigen Variablen ausüben. Falls nicht nur die nominal skalierten Variablen, sondern auch metrische unabhängige Variablen in die Varianzanalyse einbezogen werden, wird eine sogenannte Kovarianzanalyse durchgeführt. Die metrische unabhängige Variable wird bei dieser Analyse als Kovariate bezeichnet. Gibt es bei einer Varianzanalyse mehr als eine abhängige Variable, spricht man von einer mehrdimensionalen (multivariaten) Varianzanalyse. In Tabelle 25 werden alle diese Typen von Varianzanalyse vereinfacht dargestellt. (s. [21])

**Tabelle 25: Typen von Varianzanalyse (s. [21])**

Anzahl der abhängigen Variablen	Unabhängige Variablen		Bezeichnung des Verfahrens	
	Anzahl	Skalenniveau		
1	1	nominal skaliert	einfaktorielle Varianzanalyse	ANOVA
1	2	nominal skaliert	zweifaktorielle Varianzanalyse	
1	3	nominal skaliert	dreifaktorielle Varianzanalyse	
	usw.			
≥ 2	1 oder > 1	nominal skaliert	mehrdimensionale Varianzanalyse	MANOVA
≥ 1	≥ 2	mindestens eine nominal skaliert und mindestens eine metrisch skaliert	Kovarianzanalyse	ANCOVA

Mit: ANOVA      *Varianzanalyse*  
 MANOVA      *Multivariate Varianzanalyse*  
 ANCOVA      *Kovarianzanalyse*

Die Unterschiede in den abhängigen Variablen zwischen verschiedenen Gruppen werden durch die Varianzanalyse auf Signifikanz untersucht. Durch diese Untersuchung wird überprüft, ob die Mittelwerte der einzelnen Gruppen einander gleichen. Da angenommen werden kann, dass die Beobachtungsdaten sich aus einer Grundgesamtheit ableiten, kann die Abweichung der Mittelwerte von einzelnen Gruppen dem Zufall zugeschrieben werden. (s. [22])

Um eine einfache Varianzanalyse (ANOVA) per Hand durchzuführen, müssen folgende sechs Werte berechnet werden (s. [22]):

- die quadrierte Gesamtsummenabweichung,
- die quadrierten Abweichungen zwischen den Gruppen,
- die quadrierten Abweichungen innerhalb der Gruppen,
- die relevanten Freiheitsgrade,
- die mittleren quadrierten Abweichungen,
- F-Werte: berechnen und vergleichen.

Die Durchführung einer Varianzanalyse beginnt mit der Festlegung der Frage, die durch die Varianzanalyse beantwortet werden soll. Schließlich erfolgt die Erstellung eines theoretischen Modells, dann sind die entsprechenden Daten auszuwählen und für die Analyse aufzubereiten. (s. [20])

Mit der Berechnung der quadrierten Gesamtsummenabweichung ( $SS_t = \text{sum of squared residuals total}$ ) beginnt die Varianzanalyse. Dabei wird die Varianz in der Stichprobe berücksichtigt. In diesem Schritt wird bestimmt, wie stark die einzelnen Werte aller unabhängigen Variablen vom Gesamtmittelwert

abweichen. Die quadrierte Gesamtsummenabweichung wird durch die untenstehende Formel berechnet. (s. [22])

$$SS_t = \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K (y_{gk} - \bar{y})^2$$

Im zweiten und dritten Schritt werden die Unterteilungen der quadrierten Gesamtsummenabweichung berechnet. Unter diesen Unterteilungen versteht man den Gruppeneffekt ( $SS_b$  = sum of squared residuals between groups) und den Zufallseffekt innerhalb der Gruppen ( $SS_w$  = sum of squared residuals within groups). (s. [22])

Die quadrierte Abweichung der jeweiligen Gruppenmittelwerte wird vom Gesamtmittelwert aufsummiert, um den Gruppeneffekt  $SS_b$  mittels untenstehender Formel zu berechnen. (s. [22])

$$SS_b = \sum_{g=1}^G K * (\bar{y}_g - \bar{y})^2$$

Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnung der Streuung innerhalb der Gruppen, des sogenannten Zufallseffekts. Die quadrierte Abweichung vom Gruppenmittelwert wird innerhalb jeder Gruppe aufsummiert. Der Zufallseffekt stellt die Differenz zwischen  $SS_t$  und  $SS_b$  dar, was auch in der unteren der beiden Formeln zu sehen ist. (s. [22])

$$SS_w = \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K (y_{gk} - \bar{y}_g)^2$$

Die Berechnung der Stichprobengröße wird im vierten Schritt der Varianzanalyse durchgeführt. Dies erfolgt durch die sogenannten Freiheitsgrade einer Schätzung. Unter Freiheitsgraden versteht man die Informationen eines Schätzsystems, die die notwendigen Informationen zur Schätzung liefern. Mindestens ein Datenwert ist zur Schätzung notwendig, wenn der Mittelwert bzw. die quadrierte Gesamtsummenabweichung um diesen Mittelwert berechnet werden soll. Die Schätzung des Mittelwerts anhand einer einzigen Information ist theoretisch möglich, aber nicht sinnvoll und entspricht genau diesem Wert. Die Schätzung wird durch jede weitere Information qualitativ hochwertiger und liefert einen zusätzlichen Freiheitsgrad. (s. [22])

Für die Schätzung der Freiheitsgrade zur Berechnung der  $SS_t$  ist mindestens eine Information notwendig. Die Freiheitsgrade zur Berechnung der  $SS_t$  ergeben sich somit aus allen vorhandenen Informationen abzüglich einer Information, die zur Schätzung mindestens notwendig ist. Dasselbe gilt auch für die Schätzung der  $SS_b$ . Der Freiheitsgrad der  $SS_b$  gleicht dem Unterschied zwischen Anzahl der Mittelwerte und einer Information, die zur Schätzung mindestens notwendig ist. Im Gegensatz zur Schätzung von  $SS_t$  und  $SS_b$  sind für die Schätzung der  $SS_w$  insgesamt drei Informationen notwendig. In diesem Fall wird der Mittelwert jeder einzelnen Gruppe als Abweichung von den einzelnen Datenreihen benötigt. Die Gesamtzahl der Freiheitsgrade ergibt sich durch Aufsummieren von Freiheitsgraden des Gruppeneffekts und des Zufallseffekts. (s. [22])



Im fünften Schritt der Varianzanalyse werden die sogenannten mittleren quadratischen Abweichungen ( $MS_t$ ,  $MS_b$  bzw.  $MS_w = \text{mean squared residuals}$ ) berechnet. Dabei werden die geschätzten Werte für  $SS_t$ ,  $SS_b$  und  $SS_w$  in ein Verhältnis zur jeweiligen Anzahl der Freiheitsgrade gesetzt. Anhand dieser Beziehung wird die Genauigkeit einer Schätzung aufgrund der Anzahl der vorhandenen Schätzinformationen überprüft. Die untenstehenden Formeln ermöglichen diesen Schritt. (s. [22])

$$MS_t = \frac{SS_t}{df_t} \qquad MS_b = \frac{SS_b}{df_b} \qquad MS_w = \frac{SS_w}{df_w}$$

Am Ende der Varianzanalyse wird ein empirischer F-Wert aus den berechneten mittleren quadratischen Abweichungen bestimmt und mit einem theoretischen F-Wert verglichen. Das Verhältnis zwischen der Streuung zwischen den Gruppen ( $MS_b$ ) und der Streuung innerhalb der Gruppen ( $MS_w$ ) stellt den empirischen F-Wert dar. Wie beim t-Test dient ein Wert der F-Verteilungsfunktion mit den jeweiligen Freiheitsgraden der Schätzung als Vergleichswert. (s. [22])

Die Varianzanalyse wird heutzutage mittels unterschiedlichen statistischen Softwares durchgeführt. Diese sechs Schritte werden dementsprechend in wenigen Sekunden per Mausklick realisiert. Die Durchführung einer Varianzanalyse mittels Software ist besonders von Vorteil, wenn mehrere Faktoren und abhängige Variablen im Spiel sind. Die Varianzanalyse mit mehreren unabhängigen und abhängigen Variablen kann auch händisch durchgeführt werden, jedoch ist dieser Prozess viel komplexer. (s. [22])

Die Ergebnisse dieser sechs Schritte der vorliegenden Varianzanalyse, die mit Hilfe einer statistischen Software erfolgte, werden in einer Tabelle dargestellt. Tabelle 26 ist ein Musterbeispiel dafür, wie die Ergebnistabelle einer Varianzanalyse aussieht.

**Tabelle 26: Ergebnistabelle einer einfachen Varianzanalyse (s. [23])**

Quelle	Freiheitsgrade	Quadratsumme	Mittleres Quadrat	Teststat.
Gruppen	$DF_G = g - 1$	$SS_G = \sum_h n_h (\bar{Y}_{h\cdot} - \bar{Y}_{\cdot\cdot})^2$	$MS_G = SS_G / DF_G$	$T = MS_G / MS_E$
Fehler	$DF_E = n - g$	$SS_E = \sum_{h,i} (Y_{hi} - \bar{Y}_{h\cdot})^2$	$MS_E = SS_E / DF_E$	
Total	$DF_T = n - 1$	$SS_Y = \sum_{h,i} (Y_{hi} - \bar{Y}_{\cdot\cdot})^2$	-	

Ziel dieser Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten sowie streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallkenngrößen zu bestimmen. Am Anfang der Varianzanalyse wurde zuerst die Frage festgelegt, die durch die Varianzanalyse beantwortet werden sollte. Durch die Varianzanalyse in diesem Projekt sollte bestimmt werden, wie sich streckenspezifische Eigenschaften wie z. B. Pannestreifenbreite, Anzahl der Fahrstreifen, DTV, Längsneigung, Kurvigkeit etc. auf die Unfallkenngrößen auswirken. Die unabhängigen Variablen wurden definiert und vorbereitet. Eine neue Tabelle mit unabhängigen Variablen wurde erstellt. Die Unfallkenngrößen wurden als abhängige Variablen definiert. Für jede Unfallkenngröße (Unfallhäufigkeit, Unfallrate und Unfallkostenrate) wurde eine separate Varianzanalyse durchgeführt. Die Varianzanalysen wurden mittels MATLAB durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Varianzanalysen sind in den untenstehenden Tabellen dargestellt. (s. [22], [23])

Die Varianzanalyse wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 5\%$  durchgeführt. Liegen die Signifikanzen in der letzten Spalte der Ergebnistabelle also unter 0,05, dann haben die dazugehörigen Faktoren einen Einfluss auf die abhängige Variable.

Bei der ersten Varianzanalyse wurde der Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Charakteristiken und Unfallhäufigkeit untersucht. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Anzahl der Fahrstreifen sowie die Pkw- und Lkw-Geschwindigkeit keinen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit ausüben. Dasselbe gilt auch für die Längsneigung. Im Gegensatz zur Anzahl der Fahrstreifen hat die Pannestreifenbreite einen mäßigen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Laut Ergebnissen haben die Verkehrsstärke sowie die Kurvigkeit der Straße den größten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Tabelle 27 enthält die Ergebnisse dieser Varianzanalyse.

**Tabelle 27: Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallhäufigkeit**

Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob > F	Einfluss
Pannestreifenbreite	4966,1	1388	3,57787	1,09	0,0259	**
DTV	2172,4	452	4,80629	1,47	0	***
Anzahl Fahrstreifen	26,5	4	6,62616	2,02	0,0888	k. Einfluss
Pkw-Geschwindigkeit	7,7	3	2,58165	0,79	0,5007	k. Einfluss
Lkw-Geschwindigkeit	6,4	3	2,11777	0,65	0,5854	k. Einfluss
Längsneigung	347,5	113	3,07506	0,94	0,6645	k. Einfluss
Kurvigkeit	5788,8	839	6,8996	2,10	0	***
Error	10518,7	3209	3,27787			
Total	28762,1	6069				
Prob > F = 0–0,01 → *** (signifikanter Einfluss)						
Prob > F = 0,01–0,04 → ** (mäßiger Einfluss)						
Prob > F = 0,04–0,05 → * (geringer Einfluss)						
Prob > F = $\geq 0,05$ → kein Einfluss						

In der nächsten Varianzanalyse wurde der Einfluss von unterschiedlichen streckenspezifischen Eigenschaften auf die Unfallrate untersucht. Diese Varianzanalyse zeigte, dass die Pannestreifenbreiten keine Auswirkung auf die Unfallrate haben. Neben den Pannestreifenbreiten haben auch die Anzahl der Fahrstreifen sowie Geschwindigkeiten und Längsneigung keine Auswirkung auf die Unfallrate. Laut den Ergebnissen üben hier wie auch bei der Unfallhäufigkeit die Verkehrsstärke und die Kurvigkeit einen signifikanten Einfluss auf die Unfallrate aus. In Tabelle 28 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse dargestellt.

Am Ende erfolgte die dritte Varianzanalyse, die den Einfluss zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallkostenrate untersuchte. Die Unfallkostenrate wird laut dieser Untersuchung von den Pannestreifenbreiten nicht beeinflusst. Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten sowie Längsneigung spielen keine Rolle bei der Unfallkostenrate. Im Gegensatz zu diesen Eigenschaften der Straße hat die Anzahl der Fahrstreifen einen mäßigen Einfluss auf die Unfallkostenrate. Wie bei den vorherigen Varianzanalysen hat die Verkehrsstärke den größten Einfluss auf die Unfallkostenrate. Tabelle 29 stellt die Ergebnistabelle dieser Varianzanalyse dar.

**Tabelle 28: Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallrate**

Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob > F	Einfluss
Pannestreifenbreite	55,771	1388	0,04018	0,81	1	k. Einfluss
DTV	41,142	452	0,09102	1,84	0	***
Anzahl Fahrstreifen	0,327	4	0,08183	1,65	0,1586	k. Einfluss
Pkw-Geschwindigkeit	0,243	3	0,08094	1,63	0,1796	k. Einfluss
Lkw-Geschwindigkeit	0,131	3	0,04365	0,88	0,4502	k. Einfluss
Längsneigung	6,015	113	0,05323	1,07	0,2825	k. Einfluss
Kurvigkeit	23,683	839	0,09974	2,01	0	***
Error	159,048	3209	0,04956			
Total	393,597	6069				
Prob > F = 0–0,01 → *** (signifikanter Einfluss)						
Prob > F = 0,01–0,04 → ** (mäßiger Einfluss)						
Prob > F = 0,04–0,05 → * (geringer Einfluss)						
Prob > F = ≥ 0,05 → kein Einfluss						

**Tabelle 29: Varianzanalyse zum Zusammenhang zwischen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallkostenrate**

Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob > F	Einfluss
Pannestreifenbreite	50,928	1388	0,03669	0,52	1	k. Einfluss
DTV	41,421	452	0,09164	1,29	0,0001	***
Anzahl Fahrstreifen	0,758	4	0,18948	2,66	0,0311	**
Pkw-Geschwindigkeit	0,127	3	0,04231	0,59	0,619	k. Einfluss
Lkw-Geschwindigkeit	0,027	3	0,0089	0,12	0,9454	k. Einfluss
Längsneigung	6,282	113	0,05559	0,78	0,9574	k. Einfluss
Kurvigkeit	213,252	839	0,25417	3,57	0	***
Error	228,616	3209	0,07124			
Total	535,866	6069				
Prob > F = 0–0,01 → *** (signifikanter Einfluss)						
Prob > F = 0,01–0,04 → ** (mäßiger Einfluss)						
Prob > F = 0,04–0,05 → * (geringer Einfluss)						
Prob > F = ≥ 0,05 → kein Einfluss						

## 5.4 Detailanalyse

Wie bereits erwähnt wurde, wurde das ASFINAG-Netz zum Zwecke dieser Arbeit in 19 650 Teilabschnitte mit je 250 m Länge unterteilt. Für diese Abschnitte wurden die Unfallkenngrößen berechnet und nach Klasse der Pannestreifenbreite verglichen (siehe Kapitel 5.1). Dieser Vergleich

wurde netzweit ausgeführt; die Ergebnisse können als grob betrachtet werden. Um feinere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wird nun eine Detailanalyse einzelner Strecken durchgeführt. Nach langer Überlegung und Berücksichtigung aller Einflussfaktoren wurden für die Detailanalyse 19 Abschnitte festgelegt. Ausgewählt wurden bestimmte Abschnitte der Autobahnen A2, A21, A4, A8, A9 und A12 sowie der Schnellstraßen S3, S31 und S6. Tabelle 30 beinhaltet diese Abschnitte mit ihren jeweiligen streckenspezifischen Eigenschaften wie zum Beispiel der Länge des Abschnitts, der Pannestreifenbreite, der Verkehrsstärke, dem Schwerverkehrsanteil sowie ihrer Längsneigung und Kurvigkeit. In dieser Tabelle sind auch die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden, die auf dem jeweiligen Abschnitt passierten und die Anzahl der Leicht- und Schwerverletzten sowie der Getöteten zu finden. Diese Tabelle enthält auch die Informationen über die Unfallkenngrößen auf diesen einzelnen Abschnitten.

**Tabelle 30: Festgelegte Detailabschnitte**

Abschnitt		Streckeneigenschaften								Unfallkenngrößen						
Nr.	Auto- bahn	von km	bis km	Länge [km]	PSB [m]	DTV 2016	SV 2016	Längs- neigung	Kurvig. [gon/km]	Anz UPS	Anz Get	Anz sVerl	Anz lVerl	UH	UR	KR
1	A2_1	58,48	65,91	7,43	3,75	23750	9%	-0,3%	17	8	0	0	11	0,215	0,025	0,001
2	A2_1	71,00	78,02	7,03	3,07	20355	10%	3,2%	68	9	0	2	12	0,256	0,034	0,005
3	A2_1	81,79	88,02	6,23	2,15	18499	10%	-0,4%	65	15	1	2	13	0,482	0,071	0,021
4	A2_2	140,32	146,80	6,48	3,71	18893	12%	-0,3%	10	11	0	1	12	0,340	0,049	0,004
5	A2_1	140,35	146,85	6,50	2,71	18893	12%	0,3%	11	10	0	3	7	0,308	0,045	0,007
6	A21_1	4,05	12,55	8,50	3,35	24286	18%	-2,2%	25	22	3	7	24	0,518	0,058	0,035
7	A21_2	17,94	19,19	1,25	0,60	23750	18%	2,7%	51	5	0	1	8	0,800	0,092	0,012
8	A4_2	47,02	54,93	7,91	3,54	18742	14%	0,2%	14	13	1	6	12	0,329	0,048	0,022
9	A4_2	25,87	31,66	5,80	2,70	31698	12%	0,5%	7	27	1	9	36	0,932	0,081	0,023
10	A8_2	54,15	61,48	7,33	3,34	18450	27%	0,7%	18	5	0	4	2	0,136	0,020	0,007
11	A9_2	202,17	210,40	8,23	3,78	20827	9%	0,2%	9	18	1	6	18	0,437	0,058	0,020
12	A8_2	46,18	51,82	5,65	2,44	18300	27%	0,1%	6	7	1	5	9	0,248	0,037	0,030
13	A12_1	93,75	101,17	7,43	3,29	20188	7%	0,2%	24	19	0	4	20	0,512	0,069	0,008
14	A12_1	105,71	112,46	6,75	2,81	15500	8%	0,2%	13	5	0	0	6	0,148	0,026	0,001
15	S31_1	43,41	48,74	5,34	3,71	12340	5%	1,3%	14	2	0	1	1	0,075	0,017	0,004
16	S31_1	50,41	54,41	4,00	0,49	7576	7%	0,2%	21	4	2	1	3	0,200	0,072	0,125
17	S3_1	6,47	14,40	7,93	1,29	8927	7%	0,4%	22	5	0	1	6	0,126	0,039	0,005
18	S6_2	9,14	13,39	4,25	2,74	10661	7%	-0,1%	66	13	1	1	14	0,480	0,123	0,032
19	S6_1	9,17	15,42	6,25	2,49	10661	7%	0,7%	65	7	0	0	8	0,224	0,058	0,002

Für die Detailanalyse wurden nicht alle Abschnitte berücksichtigt. Ziel war es, unter diesen 19 Abschnitten die für die Detailanalyse am besten geeigneten Abschnitte zu identifizieren. Für die Auswahl war es wichtig, dass die Abschnitte nicht ganz dieselben Eigenschaften aufweisen. Wenn die Breite des Pannestreifens bei zwei Abschnitten zum Beispiel fast gleich war, sollten diese sich in einem anderen Attribut stark unterscheiden, damit man den Zusammenhang zwischen einzelnen streckenspezifischen Eigenschaften und Unfallkenngrößen sowie Unfalldaten eindeutiger bestimmen konnte.

Anhand der Daten aus Tabelle 30 wurden fünf unterschiedliche Abschnitte gewählt und für die Zwecke dieser Arbeit detailliert miteinander verglichen. Der Fokus wird besonders auf die Unfalltypen und Unfallursachen gelegt. Die Ergebnisse dieser Vergleiche werden in den nächsten Unterkapiteln vorgestellt.

### 5.4.1 Vergleich 1: Abschnitt 8 vs. Abschnitt 9

Diese beiden Abschnitte liegen auf der A4. Während Abschnitt 8 7,91 km lang ist, weist Abschnitt 9 eine Länge von 5,8 km auf, was einen Unterschied in der Länge von mehr als 2 km bedeutet. Beide Abschnitte verfügen über Pannestreifen. Die Pannestreifen des Abschnittes 8 sind überbreit (3,54 m). Der Pannestreifen des Abschnittes 9 gehört mit einer Breite von 2,70 m zur Klasse 4. Abschnitt 9 weist eine deutlich höhere Verkehrsstärke (31 698 Fahrzeuge pro Tag) auf als Abschnitt 8 (18 742 Fahrzeuge pro Tag). Im Gegensatz zur Verkehrsstärke weist Abschnitt 8 einen höheren Schwerverkehrsanteil (14 %) auf als Abschnitt 9 (12 %). Abschnitt 8 hat eine niedrigere Längsneigung (0,2 %) als Abschnitt 9 (0,5 %).

Insgesamt geschahen auf Abschnitt 8 13 Unfälle mit Personenschaden. Währenddessen kam es auf Abschnitt 9 zu 27 Unfällen. Je Abschnitt kam eine Person ums Leben. Auf Abschnitt 8 wurden sechs Personen schwer und zwölf leicht verletzt. Auf Abschnitt 9 wurden neun Personen schwer und sogar 36 Personen leicht verletzt.

Abschnitt 9 hat eine fast dreimal so hohe Unfallhäufigkeit (0,932) wie Abschnitt 8 (0,329). Die Unfallrate ist auf Abschnitt 9 (0,081) fast doppelt so hoch wie die auf Abschnitt 8 (0,048). Die beiden Abschnitte weisen fast dieselbe Unfallkostenrate auf.

Die Tabellen 31 und 32 beinhalten Informationen über die Unfalltypen und Unfallursachen der auf den beiden Abschnitten geschehenen Unfälle. Die meisten Unfälle können den Unfalltypen „Auffahren auf verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ und „Abkommen rechts auf der Geraden“ zugeordnet werden. Bei vielen Unfällen ist keine Ursache angegeben. Wie erwartet, ist die Unachtsamkeit/Ablenkung eine der häufigsten Unfallursachen. Als Ursache der Unfälle mit dem Typ „Auffahren auf verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ gilt ein „mangelhafter Sicherheitsabstand“, der damit die häufigste Ursache von Unfällen auf Abschnitt 9 darstellt.

**Tabelle 31: Vergleich der Unfalltypen auf den Abschnitten 8 und 9**

Unfalltyp	Nr. 8	Nr. 9
Abkommen rechts auf der Geraden	6	4
Auffahren auf fahrendes Fahrzeug auf der Geraden	1	8
Auffahren auf verkehrsbed. stehendes Fahrzeug auf der Geraden	4	12
Abkommen links auf der Geraden	1	0
Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach links	1	0
Abkommen rechts in Rechtskurve	0	1
Kollision beim Überholen, Überholen rechts	0	1
Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts	0	1

**Tabelle 32: Vergleich der Unfallursachen auf den Abschnitten 8 und 9**

Unfallursache	Nr. 8	Nr. 9
Keine Ursache bekannt	3	6
Übermüdung	2	2
Unachtsamkeit/Ablenkung	6	5
Nichtangepasste Geschwindigkeit	1	2
Mangelhafter Sicherheitsabstand	0	10
Technischer Defekt, mangelnde Ladungssicherung	1	0
Alkohol, Drogen oder Medikamente	0	2

Abschnitt 9 ist kürzer als 8 und hat einen schmaleren Pannenstreifen. Abschnitt 9 weist doppelt so viele Unfälle auf wie Abschnitt 8. Dies ist auf die deutlich höhere Verkehrsstärke und Längsneigung zurückzuführen.

Obwohl Abschnitt 8 einen überbreiten Pannenstreifen aufweist, passieren die meisten Unfälle auf diesem Abschnitt durch das Abkommen rechts auf der Geraden.

Da die meisten Unfälle auf Abschnitt 9, und zwar 12 von 27, durch mangelhaften Sicherheitsabstand verursacht wurden und somit der Kategorie „Auffahren auf ein verkehrsbedingt stehendes Fahrzeug auf der Geraden“ zugeordnet werden können, darf vermutet werden, dass es im Betrachtungszeitraum auf diesem Abschnitt vielleicht eine Baustelle gab oder sehr hohe Verkehrsstärken an die Grenzen der Kapazitäten gingen und somit Staus verursachten.

**Fazit:** Dieser Vergleich zeigt den Zusammenhang zwischen Pannenstreifenbreite und Verkehrsstärke. Je höher die Verkehrsstärke, desto breiter muss der Pannenstreifen sein, um eine bessere Verkehrssicherheit zu gewährleisten und die Unfallkennzahlen niedrig zu halten.

### 5.4.2 Vergleich 2: Abschnitt 15 vs. Abschnitt 16

Diese beiden Abschnitte liegen auf der S31. Während Abschnitt 15 5,34 km lang ist, weist Abschnitt 16 eine Länge von 4 km auf, was einen Unterschied in der Länge von mehr als 1 km bedeutet. Abschnitt 15 hat einen überbreiten Pannenstreifen (3,71 m). Abschnitt 16 hat einen Pannenstreifen (0,49 m), der kleiner ist als 1 m und wird daher als Abschnitt ohne Pannenstreifen betrachtet. Abschnitt 15 (12 340 Fahrzeuge pro Tag) weist eine deutlich höhere Verkehrsstärke auf als Abschnitt 16 (7576 Fahrzeuge pro Tag). Im Gegensatz zur Verkehrsstärke weist Abschnitt 16 einen höheren Schwerverkehrsanteil (7 %) auf als Abschnitt 15 (5 %). Abschnitt 16 (0,2 %) hat eine niedrigere Längsneigung als Abschnitt 15 (1,3 %). Während Abschnitt 15 über eine Mitteltrennung verfügt, hat Abschnitt 16 keine solche.

Insgesamt geschahen zwei Unfälle mit Personenschaden auf Abschnitt 15. Währenddessen kam es zu vier Unfällen auf Abschnitt 16. Auf Abschnitt 16 kamen zwei Personen ums Leben. Auf Abschnitt 15 wurde eine Person schwer und eine leicht verletzt. Auf Abschnitt 16 wurde eine Person schwer und drei Personen leicht verletzt.

Abschnitt 16 hat eine fast dreimal so hohe Unfallhäufigkeit (0,200) wie Abschnitt 15 (0,075). Die Unfallrate ist auf Abschnitt 16 (0,072) viermal so groß wie jene auf Abschnitt 15 (0,017). Abschnitt 16 weist eine deutlich höhere Unfallkostenrate auf als Abschnitt 15.

Tabelle 33 beinhaltet Informationen über die Unfalltypen und Unfallursachen der auf den beiden Abschnitten geschehenen Unfälle. Die meisten Unfälle können dem Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Geraden“ zugeordnet werden. Wie erwartet, ist auch hier die Unachtsamkeit/Ablenkung die häufigste Unfallursache.

**Tabelle 33: Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 16**

Unfalltyp	Nr. 15	Nr. 16
Abkommen links auf der Geraden	1	0
Auffahren auf fahrendes Fahrzeug auf der Geraden	1	0
Abkommen rechts auf der Geraden	0	2
Abkommen rechts in Linkskurve	0	1
Frontalkollision auf der Geraden	0	1

Unfallursache	Nr. 15	Nr. 16
Keine Ursache bekannt	1	1
Unachtsamkeit/Ablenkung	1	2
Nichtangepasste Geschwindigkeit	0	1

Auf Abschnitt 16 kam es zu vier Unfällen mit Personenschaden, bei welchen insgesamt zwei Unfallteilnehmer getötet wurden, was eine Erklärung für die hohe Unfallkostenrate auf diesem Abschnitt ist. Obwohl die Verkehrsstärke auf Abschnitt 16 geringer ist als auf Abschnitt 15, passierten mehr Unfälle auf ihm als auf Abschnitt 15. Dieser Abschnitt ist auch kürzer als sein Vergleichsabschnitt, hat keine Pannestreifen und weist eine deutlich höhere Kurvigkeit auf als Abschnitt 15.

Der häufigste Unfalltyp auf Abschnitt 16 ist das „Abkommen rechts auf der Geraden“. Einer der Getöteten kam in einem Unfall dieses Typs ums Leben. Ein zweiter wurde bei einer Frontalkollision auf der Geraden getötet. Die Ursache dieser tödlichen Unfälle war Unachtsamkeit/Ablenkung.

**Fazit:** Das gleichzeitige Fehlen von Pannestreifen und Mitteltrennung sowie eine höhere Kurvigkeit auf Abschnitt 16 erhöht dort die Unfallanzahl sowie den Verletzungsgrad.

### 5.4.3 Vergleich 3: Abschnitt 15 vs. Abschnitt 17

Während Abschnitt 15 auf der S31 liegt, befindet sich Abschnitt 17 auf der S3. Abschnitt 15 hat eine Länge von 5,34 km. Abschnitt 17 ist 7,93 km lang, er ist also um mehr als 2,5 km länger als Abschnitt 15. Während Abschnitt einen überbreiten Pannestreifen (3,71 m) aufweist, hat Abschnitt 17 einen schmalen Pannestreifen (1,29 m). Abschnitt 15 weist eine deutlich höhere Verkehrsstärke (12 340 Fahrzeuge pro Tag) auf als Abschnitt 17 (8 927 Fahrzeuge pro Tag). Im Gegensatz zur Verkehrsstärke weist Abschnitt 16 einen höheren Schwerverkehrsanteil (7 %) auf als Abschnitt 15 (5 %) auf. Abschnitt 17 hat eine niedrigere Längsneigung (0,4 %) als Abschnitt 15 (1,3 %). Abschnitt 17 (22 gon/km) hat eine deutlich höhere Kurvigkeit als Abschnitt 15 (14 gon/km). Beide Abschnitte verfügen über eine Mitteltrennung.

Insgesamt geschahen auf Abschnitt 15 zwei Unfälle mit Personenschaden. Währenddessen kam es auf Abschnitt 17 zu fünf Unfällen. In diesen Unfällen wurde niemand getötet. Je Abschnitt wurde eine Person schwer verletzt. Auf Abschnitt 15 wurde eine Person leicht verletzt. Auf Abschnitt 16 wurden sechs Personen leicht verletzt.

Abschnitt 17 hat eine höhere Unfallhäufigkeit (0,126) als Abschnitt 15 (0,075). Die Unfallrate ist auf Abschnitt 17 doppelt so groß (0,039) wie jene auf Abschnitt 15 (0,017). Abschnitt 17 weist fast die gleiche Unfallkostenrate auf wie Abschnitt 15.

Tabelle 34 beinhaltet die Informationen über die Unfalltypen und Unfallursachen der auf den beiden Abschnitten geschehenen Unfälle. Die meisten Unfälle können dem Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Geraden“ zugeordnet werden. Wie erwartet, ist auch hier die Unachtsamkeit/Ablenkung die häufigste Unfallursache.

**Tabelle 34: Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 17**

Unfalltyp	Nr. 15	Nr. 17	Unfallursache	Nr. 15	Nr. 17
Abkommen links auf der Geraden	1	1	Keine Ursache bekannt	1	0
Abkommen rechts auf der Geraden	0	3	Unachtsamkeit/Ablenkung	1	3
Auffahren auf fahrendes Fahrzeug auf der Geraden	1	0	Übermüdung	0	1
Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts mit Abkommen rechts	0	1	Überholen	0	1

Abschnitt 17 ist länger als Abschnitt 15, hat aber einen engeren Pannestreifen. Obwohl die Verkehrsstärke auf Abschnitt 17 viel niedriger als auf Abschnitt 15, passieren auf ersterem mehr Unfälle.

Der Unfallschweregrad bleibt aber niedrig und auf den beiden Abschnitten fast gleich, da es keine Getöteten gab und die Anzahl der Schwerverletzten sehr niedrig ist. Dies kann auch durch die niedrige Unfallkostenrate bestätigt werden.

**Fazit:** Die höhere Anzahl der Unfälle mit Personenschaden auf Abschnitt 17 kann durch die Länge des Abschnittes, die schmalere Pannestreifen und die höhere Kurvigkeit erklärt werden. Weshalb das „Abkommen rechts auf der Geraden“ auf Abschnitt 17 der häufigste Unfalltyp ist, kann durch den schmalen Pannestreifen erklärt werden. Fahrzeuge können wegen des schmalen Pannestreifens die Kontrolle nicht wiedererlangen.

#### 5.4.4 Vergleich 4: Abschnitt 16 vs. Abschnitt 17

Während Abschnitt 16 auf der S31 liegt, befindet sich Abschnitt 17 auf der S3. Abschnitt 16 hat eine Länge von 4 km. Abschnitt 17 ist 7,93 km lang und ist demnach fast 4 km länger. Während Abschnitt 16 keinen Pannestreifen aufweist, hat Abschnitt 17 einen schmalen Pannestreifen (1,29 m). Abschnitt 16 weist die gleiche Verkehrsstärke (7 576) auf wie Abschnitt 17 (8 927). Beide Abschnitte weisen den gleichen Schwerverkehrsanteil auf. Abschnitt 17 (0,4 %) hat eine höhere Längsneigung als Abschnitt 16 (0,2 %). Abschnitt 17 (22 gon/km) hat fast die gleiche Kurvigkeit wie Abschnitt 16 (21 gon/km).

Insgesamt geschahen auf Abschnitt 16 vier Unfälle mit Personenschaden. Währenddessen kam auf dem Abschnitt 17 zu fünf Unfällen. Auf Abschnitt 16 kamen zwei Personen ums Leben, eine Person wurde schwer und eine leicht verletzt. Auf Abschnitt 17 wurde eine Person schwer und sechs Personen leicht verletzt.

Abschnitt 17 hat eine niedrigere Unfallhäufigkeit (0,126) als Abschnitt 16 (0,200). Die Unfallrate ist auf Abschnitt 16 fast doppelt so groß (0,072) wie die auf Abschnitt 17 (0,039). Abschnitt 17 hat eine deutlich niedrigere Unfallkostenrate (0,005) als Abschnitt 16 (0,125).

Tabelle 35 beinhaltet Informationen über die Unfalltypen und Unfallursachen auf den beiden Abschnitten geschehenen Unfälle. Die meisten Unfälle können dem Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Geraden“ zugeordnet werden. Wie erwartet, ist auch hier die Unachtsamkeit/Ablenkung die häufigste Unfallursache.

**Tabelle 35: Vergleich der Unfalltypen und Unfallursachen auf den Abschnitten 15 und 17**

Unfalltyp	Nr. 16	Nr. 17	Unfallursache	Nr. 16	Nr. 17
Abkommen rechts auf der Geraden	2	3	Keine Ursache bekannt	1	0
Abkommen links auf der Geraden	0	1	Unachtsamkeit/Ablenkung	2	3
Abkommen rechts in Linkskurve	1		Nichtangepasste Geschwindigkeit	1	0
Frontalkollision auf der Geraden	1		Übermüdung	0	1
Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision nach rechts mit Abkommen rechts	0	1	Überholen	0	1



Abschnitt 17 ist fast doppelt so lang wie Abschnitt 16 und weist nur einen Unfall mehr auf. Der Unfallschweregrad ist viel niedriger als jener auf Abschnitt 16.

Die streckenspezifischen Eigenschaften dieser Abschnitte sind fast gleich. Der wichtigste Unterschied zwischen den beiden Abschnitten ist das Vorhandensein der Mitteltrennung auf Abschnitt 17.

**Fazit:** Anhand der Unfallkenngrößen ist zu sehen, dass Abschnitt 16 (ohne Mitteltrennung und Pannestreifen) eine viel höhere Unfallhäufigkeit und Unfallrate sowie Unfallkostenrate aufweist als Abschnitt 17. Die Mitteltrennung auf einem Abschnitt mit schmalen Pannestreifen wirkt sich positiv auf die Unfallkenngrößen aus.

#### 5.4.5 Vergleich 5: S3 vs. S31 mit dem Fokus auf Mitteltrennung

Wie schon erwähnt wurde, wurden die Vergleichsabschnitte so gewählt, dass sich ihre streckenspezifischen Eigenschaften voneinander unterscheiden, sodass der Einfluss von einzelnen Eigenschaften auf die Unfallkenngrößen und Unfallzahlen besser bestimmt werden konnte. In diesem Projekt wurden Pannestreifenbreite, Verkehrsstärke, Längsneigung, Kurvigkeit etc. als streckenspezifische Eigenschaften betrachtet. Während einer detaillierten Analyse von Vergleichsabschnitten wurde noch ein Unterschied zwischen den Vergleichsabschnitten bemerkbar: Während alle Autobahnen im ASFINAG-Netz über eine Mitteltrennung zwischen den Richtungsfahrbahnen verfügen, ist dies bei den Schnellstraßen nicht der Fall. Im Gegensatz zu den Abschnitten 15 und 17 weist Abschnitt 16 keine Mitteltrennung auf. Beim Vergleich zwischen diesen drei Abschnitten konnte ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer Mitteltrennung und den Unfallkenngrößen bemerkt werden.

Da dieser Zusammenhang während der Korrelations- und Varianzanalyse nicht berücksichtigt wurde und die Stärke dieses Einflusses nicht bestimmt werden konnte, wurden in diesem Kapitel zwei Schnellstraßen, eine mit und eine ohne Mitteltrennung, noch einmal detailliert analysiert. Durch diese Analyse sollte der Einfluss der Mitteltrennung auf Unfallkenngrößen, Unfallzahlen und Unfallschwere untersucht werden, sodass genauere Aussagen über die Wichtigkeit der Mitteltrennung für die Verkehrssicherheit getroffen werden konnten.

Für diesen Vergleich wurden die S3 (Weinviertel Schnellstraße) mit Mitteltrennung und die S31 (Burgenland Schnellstraße), die ab 50. Streckenkilometer keine Mitteltrennung mehr hat, ausgewählt. Die S3 ist eine 24 km lange Strecke. Die S31 ist länger als die S3. Ihre Länge beträgt 33,3 km. Beim Vergleich dieser zwei Straßen wurde zuerst eruiert, wie viele Unfälle auf diesen Strecken tatsächlich passieren. Weiters wurde die Unfallschwere ausführlich analysiert. Die Anzahl der Leicht- und Schwerverletzten sowie der Getöteten stand dabei im Mittelpunkt. Es wurden auch die Unfallkenngrößen auf diesen Vergleichsstrecken untersucht. Ziel dieser Analyse war es, deutliche Abweichungen oder Ähnlichkeiten der Werte zu bestimmen. Anhand dieser Ähnlichkeiten oder Unterschiede sollte der mögliche Einfluss der Mitteltrennung beurteilt werden.

In Tabelle 36 sind die Vergleichswerte dargestellt. Obwohl die S31 wesentlich kürzer ist als die S3, weist sie im Zeitraum von 2012 bis 2016 weniger Unfälle auf. Auf der S3 wurden mehr Unfälle Teilnehmer leicht verletzt als auf der S31. Dies ist jedoch bei der Anzahl der Schwerverletzten anders: In den fünf Beobachtungsjahren wurden 19 Unfälle Teilnehmer auf der S31 schwer verletzt. Im Gegensatz dazu hatte die S3 um die Hälfte weniger Schwerverletzte. Der größte Unterschied ergibt sich beim Vergleich der Anzahl der Getöteten. Während auf der S31 zehn Personen ums Leben kamen, wurde auf der S3 niemand getötet. Dementsprechend ist auch die Unfallkostenrate der S31 fast zehn Mal höher als jene der S3. Die S3 weist eine um die Hälfte kleinere Unfallrate auf als die S31.

**Tabelle 36: Vergleich S3 vs. S31**

	S3	S31
Anz. UPS	47	41
Anz. Leichtverletzte	50	41
Anz. Schwerverletzte	9	19
Anz. Getötete	0	10
Unfallhäufigkeit	1,64	2,01
Unfallrate	0,48	0,89
Unfallkostenrate	0,054	0,526

Die zehn tödliche Unfälle auf der S31 wurden außerdem hinsichtlich Unfalltypen und Unfallursachen analysiert. Von zehn Unfällen können acht dem Unfalltyp „Frontalkollision auf der Geraden“ zugeordnet werden. Die restlichen zwei konnten der Kategorie „Abkommen rechts auf der Geraden“ zugeschrieben werden. Die Ursache dieser Unfälle bzw. der Mehrheit aller Unfälle, die auf den beiden Vergleichsstrecken passierten, war Unachtsamkeit/Ablenkung.

Aus diesem Vergleich kann abgeleitet werden, dass das Vorhandensein einer Mitteltrennung keinen direkten Einfluss auf die Anzahl der Unfälle hat. Im Gegensatz dazu hat das Fehlen einer Mitteltrennung einen wesentlichen Einfluss auf die Unfallschwere und somit auch auf die Unfallkostenrate. Ohne Mitteltrennung kommt es zu Frontalkollisionen, die fast immer tödlich enden. Das Vorhandensein einer Mitteltrennung wirkt sich eindeutig positiv auf die Anzahl der Schwerverletzten und Getöteten und schließlich auch auf die Verkehrssicherheit aus.

## 6 Fazit

In diesem Kapitel werden alle in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und mit dem durch Literaturrecherche und Interviews gesammelten Material verglichen.

### 6.1 Zusammenfassung

Die Beziehung zwischen den Unfallkenngrößen, der Ausprägung des Pannestreifens (Breite) und den charakteristischen Eigenschaften der Straße sollte im Laufe dieses Projektes detailliert untersucht werden. Durch diese Analyse sollten in dieser Arbeit neue Erkenntnisse über den Einfluss von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit vorgestellt werden.

Durch eine umfangreiche internationale Literaturrecherche mit Fokus auf Pannestreifen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit wurden bisherige Erkenntnisse über Pannestreifen zu diesem Thema gesammelt und analysiert, damit sie mit den in dieser Arbeit neugewonnenen Erkenntnissen verglichen werden können.

Die Studie von Bauer et al., die in Mattheis [6] beschrieben wurde zeigte, dass das Vorhandensein von Pannestreifen und die Einrichtung von Nothaltebuchten auf Abschnitten ohne Pannestreifen einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben. Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung stellte fest, dass Strecken ohne Pannestreifen unter gleichen Voraussetzungen weitaus höhere Unfallraten (Zunahme um etwa 37 %) zeigen. Ein niedriger Ferienverkehrsanteil, Ballungsräume, ein Lkw-Anteil kleiner als 10 %, Lkw-Überholverbote und Geschwindigkeitsbeschränkungen verursachen die statistisch nicht mehr signifikanten Unterschiede in den Unfallraten zwischen Strecken mit bzw. ohne Pannestreifen. Zur gleichen Schlussfolgerung kommt auch die Studie von Brühning und Völker, welche ebenfalls in Mattheis [6] analysiert wurde. (s. [6])

Nach der Studie von Heidemann et al. [7] erhöhen sich die Gesamtunfallzahlen bei Fehlen eines Pannestreifens. Bei einem Schwerverkehrsanteil von über 20 % erhöhen sich Unfallzahlen um etwa 80 %. Strecken ohne Pannestreifen weisen um 38 % mehr Unfälle mit Personenschaden sowie um 41 % mehr Verunglückte (leicht-, schwerverletzte und getötete Menschen) auf als Strecken mit Pannestreifen. Dies kann jedoch durch Anordnung von Überholverböten und Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Strecken mit fehlenden Pannestreifen kompensiert werden. Während 2-streifige Strecken ohne Pannestreifen eine um 37 % höhere Unfallkostenrate haben als Strecken mit Pannestreifen, weisen 3-streifige Strecken ohne Pannestreifen eine um 158 % höhere Unfallkostenrate auf. Autobahnabschnitte mit drei Fahrstreifen zu je 3,50 m und ohne Pannestreifen haben eine um 141 % höhere Unfallkostenrate als 2-streifige (je 3,75 m) Abschnitte mit Pannestreifen. Durch die Anordnung von Überholverböten und Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 3-streifigen Abschnitten ohne Pannestreifen reduziert sich die Unfallkostenrate um 102 %. Zusammenfassend stellt der Pannestreifen nach dieser Untersuchung einen signifikanten Faktor für die Verkehrssicherheit dar. Durch die Anordnung eines Pannestreifens wird die Verkehrssicherheit erheblich verbessert. (s. [7])

Das Ergebnis der Fallstudie von Nitsche et al. [8] zeigt, dass es durch die Einführung von Pannestreifen bei diesem spezifischen Unfallszenario zu einer deutlichen Verbesserung der Verkehrssicherheit kommt. (s. [8])

Nach dem Modell von Zegeer et al. [10] sinkt die durchschnittliche Einzelfahrzeugunfallrate mit der Zunahme der Fahrstreifen- und Pannestreifenbreite sowie der Straßenrandbreite, welche für das sichere Bergen des außer Kontrolle geratenen Fahrzeuges notwendig ist. (s. [10])

Laut Hauer [16] hängt die Verkehrssicherheit bei höheren Verkehrsstärken mehr als bei niedrigen Verkehrsstärken von der Breite des Pannestreifens ab. Es gibt Hinweise darauf, dass Straßen mit breiteren Pannestreifen zu schwereren Unfällen neigen. Es gibt eine Tendenz, dass ab einer bestimmten Pannestreifenbreite (zwischen ca. 1,83–2,43 m) die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden zunimmt. Die Sicherheitseffekte von Pannestreifen bei ebenen und geraden Straßen sind wahrscheinlich wesentlich geringer als bei scharfen Kurven und Straßen mit starker Längsneigung. Die analysierten Studien zeigen, dass bei breiteren Pannestreifen weniger Unfälle durch Abkommen von der Straße und Unfälle im Begegnungsverkehr auftreten, welche etwa 40 bis 60 % aller Unfälle ausmachen. (s. [18])

Um Nutzen und Wirkung von Pannestreifen sowie deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus der Sicht des Straßenbetriebs zu eruieren, wurden auch Interviews mit verschiedenen Autobahnmeistern durchgeführt. Alle Befragten sind sich einig: Strecken mit Pannestreifen weisen eindeutig eine höhere Verkehrssicherheit auf und müssen Teil der Autobahn sein.

Parallel zur Literaturrecherche wurden Daten zur Berechnung von Unfallkenngrößen (Unfallhäufigkeit, Unfallrate und Unfallkostenrate) aufbereitet. Die Fusion der Unfalldaten mit den Streckendaten erfolgte in GIS. Um die Unfallkenngrößen für max. 250 m lange Abschnitte berechnen zu können, wurde das Netz in max. 250 m lange Abschnitte gegliedert. Nach der Fusion war jedem Abschnitt die Anzahl der Unfälle zugeteilt worden, zu denen es auf ihm gekommen war, präzisiert durch Anzahl und Art der teilnehmenden Fahrzeuge sowie die Anzahl der Unfallteilnehmer und den Grad der Verletzungen. Durch diese Fusion wurden die für die Berechnung der Unfallkenngrößen erforderlichen Variablen vorbereitet. Anschließend wurden die Unfallkenngrößen berechnet und für weitere Untersuchungen bereitgestellt. Nach der Berechnung der Unfallkenngrößen erfolgte die netzweite Sicherheitsanalyse.

Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten (in sieben Klassen gruppiert) und Unfallkenngrößen untersucht. Die Unfallanzahlen wurden bezogen auf die Streckenlänge jeder Pannestreifenbreitenklasse verglichen. Abschnitte ohne und mit schmalen Pannestreifen wiesen dabei nicht die größte Unfallzahl pro Streckenkilometer auf. Die höchste Unfallzahl pro Streckenkilometer ergab sich bei den Klassen 6 ( $3,25 \text{ m} \leq b < 3,50 \text{ m}$ ) und 7 ( $b \geq 3,50 \text{ m}$ ). Klasse 3 ( $2,00 \text{ m} \leq b < 2,50 \text{ m}$ ) wies die niedrigste Anzahl der Unfälle pro Streckenkilometer auf, das heißt, bei Klassen mit höheren Pannestreifenbreiten steigt auch die Unfallanzahl pro Streckenkilometer.

Strecken mit schmalen Pannestreifen weisen eindeutig die höchste Unfallhäufigkeit auf. Klasse 3 ( $2,00 \text{ m} \leq b < 2,50 \text{ m}$ ) hat die niedrigste Unfallhäufigkeit; diese ist wesentlich niedriger als jene in Klasse 7 mit überbreiten Pannestreifen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Anordnung von Pannestreifen mit einer gewissen Breite die Verkehrssicherheit verbessert. Abschnitte mit überbreiten Pannestreifen ( $b \geq 3,25 \text{ m}$ ) weisen fast dieselbe Unfallhäufigkeit auf wie Abschnitte ohne bzw. mit schmalen Pannestreifen.

Neben der Unfallhäufigkeit wurde auch die Unfallrate (UR) relativ bezogen auf die Streckenlänge der einzelnen Klassen verglichen. Klasse 2 ( $1,00 \text{ m} \leq b < 2,00 \text{ m}$ ) weist die höchste Unfallrate auf. Der zweite Platz wird von Klasse 1 ( $b < 1,00 \text{ m}$ ) belegt. Klasse 5 ( $3,00 \text{ m} \leq b < 3,25 \text{ m}$ ) weist die niedrigste Unfallrate auf. Es ist eindeutig, dass Strecken ohne bzw. mit einer Pannestreifenbreite von bis zu 2,00 m weit höhere Unfallraten aufweisen als Strecken mit Pannestreifenbreiten ab 2,00 m.

Bei der Unfallkostenrate weist die Klasse 1 (keine Pannestreifen vorhanden) eindeutig den höchsten Wert auf. Die Werte der anderen Klassen weichen nur geringfügig voneinander ab. Gleich wie bei der Unfallrate weist die Klasse 5 den niedrigsten Wert auf.

Danach wurde der Einfluss der Streckeneigenschaften auf die einzelnen Unfallkenngrößen durch eine Korrelations- und Varianzanalyse in MATLAB untersucht.

Die Korrelationsanalyse hat einen Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreite und Unfallrate sowie Unfallhäufigkeit feststellen können. Es wurde auch eine Korrelationsanalyse für jede Pannestreifenbreitenklasse durchgeführt, sodass sichtbar wurde, wie sich die einzelnen Pannestreifenbreitenklassen auf die Unfallkenngrößen auswirken. Für diese Analyse wurden die Pannestreifenbreiten neu gruppiert. Diese Korrelationsanalyse zeigte, dass es einen Zusammenhang zwischen schmalen ( $1,00 \leq b < 3,00$  m) bzw. normalbreiten Pannestreifen ( $3,00 \leq b < 3,50$  m) und Unfallkenngrößen gibt. Schmale Pannestreifen weisen eine negative Korrelation mit der Unfallrate und der Unfallhäufigkeit auf – je enger der Pannestreifen, desto höher die Unfallhäufigkeit bzw. Unfallrate. Es wurde außerdem eine positive Korrelation zwischen normalen Pannestreifenbreiten und Unfallrate festgestellt – je breiter der Pannestreifen, desto höher die Unfallrate.

Durch die Varianzanalyse wurde der Einfluss von streckenspezifischen Eigenschaften wie z. B. der Pannestreifenbreite, der Anzahl der Fahrstreifen, der DTV, der Längsneigung und der Kurvigkeit auf die Unfallkenngrößen untersucht. Laut den Ergebnissen der Varianzanalyse hat die Pannestreifenbreite einen mäßigen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Die Unfallkostenrate wird mäßig von der Anzahl der Fahrstreifen beeinflusst. DTV und Kurvigkeit der Straße weisen einen signifikanten Einfluss auf alle Unfallkenngrößen auf.

Um feinere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wurde eine Detailanalyse einzelner Strecken durchgeführt. Nach langer Überlegung und Berücksichtigung aller Einflussfaktoren wurden für die Detailanalyse 19 Abschnitte festgelegt. Analysiert wurden die Unfallkenngrößen sowie die Unfallursachen und Unfalltypen je Abschnitt. Anschließend wurden die Abschnitte miteinander verglichen. Einer der Vergleiche machte den Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsstärke deutlich: Je höher die Verkehrsstärke, desto breiter muss der Pannestreifen sein, um eine bessere Verkehrssicherheit zu gewährleisten und die Unfallkennzahlen niedrig zu halten. Das gleichzeitige Fehlen von Pannestreifen und Mitteltrennung auf einem Abschnitt erhöht die Unfallkenngrößen sowie den Verletzungsgrad. Die Mitteltrennung auf einem Abschnitt mit schmalen Pannestreifen wirkt sich positiv auf die Unfallkenngrößen aus. Der Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Geraden“ war einer der häufigsten Unfalltypen auf den verglichenen Abschnitten. Die häufigen Unfälle durch das Abkommen rechts auf der Geraden können durch schmale Pannestreifen erklärt werden. Die betroffenen Fahrer konnten wegen schmalen Pannestreifen die Kontrolle über ihre Fahrzeuge nicht wiedererlangen. Starke Längsneigung und Kurvigkeit haben einen negativen Einfluss auf die Unfallkenngrößen.

Am Ende wurden die Resultate dieser Arbeit mit jenen aus der Literaturrecherche verglichen. Durch diese Vergleiche wurden neue signifikante Erkenntnisse über Auswirkung von Pannestreifenbreiten auf die Verkehrssicherheit gewonnen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Unfallanzahl pro Streckenkilometer ab einer Pannestreifenbreite von 2,50 m zunimmt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Anzahl der Unfälle auf den untersuchten Strecken mit Pannestreifen fast sieben Mal höher war als die Anzahl der Unfälle auf jenen ohne Pannestreifen. Es gab auf den Strecken mit Pannestreifen außerdem um

571 % mehr Unfälle mit Personenschaden. Wenn es um die Unfallhäufigkeit geht, haben überbreite Pannestreifen einen gleich einen schlechten Einfluss wie das Fehlen von Pannestreifen.

Es ist eindeutig, dass Strecken ohne Pannestreifen bzw. mit einer Pannestreifenbreite bis 2,00 m weit höhere Unfallraten aufweisen als Strecken mit Pannestreifenbreiten ab 2,00 m. Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung, das in Mattheis [6] vorgestellt wurde und die Studie von Heidemann et al. [7] sind zu ähnlichen Ergebnissen gekommen. In beiden Studien konnte festgestellt werden, dass die Rate der Unfälle mit Personenschaden auf Strecken ohne Pannestreifen deutlich höher ist als auf Strecken mit Pannestreifen.

Die Studie von Heidemann et al. [7] behauptet, dass die Unfallkostenrate durch das Nichtvorhandensein von Pannestreifen deutlich ansteigt. Im Gegensatz zu dieser Studie behauptet Hauer [16], dass es Hinweise darauf gibt, dass Straßen mit breiteren Pannestreifen zu schwereren Unfällen neigen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass das Fehlen von Pannestreifen und nicht überbreite Pannestreifen hohe Unfallkostenraten verursachen.

Diese Korrelationsanalyse zeigte, dass es einen Zusammenhang zwischen schmalen ( $1,00 \leq b < 3,00$  m) und normalbreiten Pannestreifen ( $3,00 \leq b < 3,50$  m) und Unfallkenngrößen gibt. Schmale Pannestreifen weisen eine negative Korrelation mit der Unfallrate und der Unfallhäufigkeit auf – je enger der Pannestreifen, desto höher die Unfallhäufigkeit bzw. Unfallrate. Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung aus Mattheis [6] und die Studie von Heidemann et al. [7] sind zu ähnlichen Ergebnissen gekommen. Beide Studien stellten fest, dass die Rate der Unfälle mit Personenschaden auf Strecken ohne Pannestreifen deutlich höher ist als auf Strecken mit Pannestreifen.

Es wurde außerdem eine positive Korrelation zwischen normalen Pannestreifenbreiten und Unfallrate festgestellt – je breiter der Pannestreifen, desto höher die Unfallrate.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Varianzanalyse in dieser Arbeit weist die Kurvigkeit nach der Studie von Heidemann et al. [7] keinen Einfluss auf die Unfallrate auf. Die Anzahl der Fahrstreifen hat dort, wie auch in der vorliegenden Analyse, keinen Einfluss auf die Unfallrate. Eine weitere Schlussfolgerung dieser Studie stimmt mit dem Ergebnis der Varianzanalyse in dieser Arbeit überein: Die Längsneigung vor allem bei Strecken ohne Pannestreifen hat einen signifikanten Einfluss auf die Unfallrate. (s. [7])

Eine der Schlussfolgerungen ist, dass Pannestreifen breiter sein sollen, je höher die Verkehrsstärke ist, um dort eine höhere Verkehrssicherheit zu gewährleisten und die Unfallkennzahlen niedriger zu halten.

Das gleichzeitige Fehlen von Pannestreifen und Mitteltrennung auf einem Abschnitt erhöht die Unfallkenngrößen sowie den Verletzungsgrad. Die Mitteltrennung auf einem Abschnitt mit schmalen Pannestreifen wirkt sich positiv auf die Unfallkenngrößen aus.

Diese Arbeit zeigte, dass eine hohe Längsneigung und Kurvigkeit einen negativen Einfluss auf die Unfallkenngrößen hat. Laut Hauer et al. (18) sind die Sicherheitseffekte von Pannestreifen auf ebenen und geraden Straßen wahrscheinlich wesentlich geringer als auf Straßen mit starker Längsneigung und scharfen Kurven.

Der Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Geraden“ war einer der häufigsten Unfalltypen auf den verglichenen Abschnitten. Die häufigen Unfällen durch das Abkommen rechts auf der Geraden können durch die schmalen Pannestreifen erklärt werden. Fahrer können wegen schmaler Pannestreifen die Kontrolle über ihr Fahrzeug nicht wiedererlangen. Diese Hypothese bestätigt auch das Ergebnis der

Studie von Hauer et al. (18), das zeigte, dass bei breiteren Pannestreifen weniger Unfälle durch Abkommen von der Straße und weniger Unfälle im Begegnungsverkehr auftreten, welche etwa 40 bis 60 % aller Unfälle ausmachen. Jedoch können breitere Pannestreifen mit mehr "anderen" Unfalltypen in Verbindung gebracht werden.

## 6.2 Resultate

Bei der Vorstellung der Resultate dieser Arbeit wird mit dem Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen begonnen.

Zuerst wurden die Unfallanzahlen relativ bezogen auf die Streckenlänge jeder Pannestreifenbreitenklasse verglichen. Abschnitte ohne und mit schmalen Pannestreifen haben nicht die größte Unfallzahl pro Streckenkilometer. Die höchste Unfallzahl pro Streckenkilometer ergab sich bei den Klassen 6 ( $3,25 \text{ m} \leq b < 3,50 \text{ m}$ ) und 7 ( $b \geq 3,50 \text{ m}$ ). Klasse 3 ( $2,00 \text{ m} \leq b < 2,50 \text{ m}$ ) weist die niedrigste Anzahl an Unfällen pro Streckenkilometer auf, das heißt, bei den Klassen mit höheren Pannestreifenbreiten steigt auch die Unfallanzahl pro Streckenkilometer. Es kann festgestellt werden, dass die Unfallanzahl pro Streckenkilometer ab einer Pannestreifenbreite von 2,50 m zunimmt. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung ist auch die nicht veröffentlichte Studie von Hauer (16) gekommen. Laut dieser Studie nimmt die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden ab einer bestimmten Pannestreifenbreite (ab ca. 1,83–2,43 m) zu. Die Studie von Heidemann et al. [7] stellte fest, dass Strecken ohne Pannestreifen 38 % um mehr Unfälle mit Personenschaden aufweisen als Strecken mit Pannestreifen. Diese Behauptung stimmt nicht mit der Schlussfolgerung des vorliegenden Forschungsprojekts überein. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Anzahl der Unfälle auf den Strecken mit Pannestreifen fast sieben Mal höher war als die Anzahl der Unfälle auf Strecken ohne Pannestreifen, es gab also um 571 % mehr Unfälle mit Personenschaden auf Strecken mit Pannestreifen.

Strecken mit schmalen Pannestreifen weisen eindeutig die höchste Unfallhäufigkeit auf. Klasse 3 ( $2,00 \text{ m} \leq b < 2,50 \text{ m}$ ) hat die niedrigste Unfallhäufigkeit. Diese ist wesentlich niedriger als jene bei der Klasse mit überbreiten Pannestreifen (Klasse 7). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Anordnung von Pannestreifen mit einer gewissen Breite die Verkehrssicherheit verbessert. Abschnitte mit überbreiten Pannestreifen ( $b \geq 3,25 \text{ m}$ ) weisen fast die gleiche Unfallhäufigkeit auf wie Abschnitte ohne bzw. mit schmalen Pannestreifen. Wenn es um Unfallhäufigkeit geht, haben die überbreiten Pannestreifen einen gleich schlechten Einfluss wie das Fehlen von Pannestreifen.

Neben der Unfallhäufigkeit wurde auch die Unfallrate (UR) relativ bezogen auf die Streckenlänge der einzelnen Klassen verglichen. Klasse 2 ( $1,00 \text{ m} \leq b < 2,00 \text{ m}$ ) weist die höchste Unfallrate auf. Der zweite Platz wird von der Klasse 1 ( $b < 1,00 \text{ m}$ ) belegt. Klasse 5 ( $3,00 \text{ m} \leq b < 3,25 \text{ m}$ ) weist die niedrigste Unfallrate auf. Es ist eindeutig, dass die Strecken ohne bzw. mit einer Pannestreifenbreite bis 2,00 m weit höhere Unfallraten aufweisen als die Strecken mit Pannestreifenbreiten ab 2,00 m. Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung (6) und die Studie von Heidemann (7) sind zu ähnlichen Ergebnissen gekommen. Beide Studien stellten fest, dass die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden auf Strecken ohne Pannestreifen deutlich höher ist als auf Strecken mit Pannestreifen.

Bei der Unfallkostenrate wies die erste Klasse (keine Pannestreifen vorhanden) eindeutig den höchsten Wert auf. Die Werte der anderen Klassen wichen nur geringfügig voneinander ab. Gleich wie bei der Unfallrate wies die Klasse 5 den niedrigsten Wert auf. Da die Unfallkostenrate von der

Unfallschwere abhängig ist, wurden diese Ergebnisse mit den Ergebnissen zweier unterschiedlicher Studien, welche auch diese Thematik behandeln, verglichen. Die Studie von Heidemann (7) behauptet, dass die Unfallkostenrate durch das Nichtvorhandensein von Pannestreifen deutlich ansteigt. Im Gegensatz zu dieser Studie behauptet Hauer (16), dass es Hinweise darauf gibt, dass Straßen mit breiteren Pannestreifen zu schwereren Unfällen neigen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass das Fehlen von Pannestreifen und nicht die überbreiten Pannestreifen hohe Unfallkostenraten verursachen.

Die Korrelationsanalyse hat einen Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreite und Unfallrate sowie Unfallhäufigkeit feststellen lassen. Es wurde auch eine Korrelationsanalyse für jede Pannestreifenbreitenklasse durchgeführt, sodass sichtbar wurde, wie sich die einzelnen Pannestreifenbreitenklassen auf die Unfallkenngrößen auswirken. Für diese Analyse wurden die Pannestreifenbreiten neu gruppiert. Diese Korrelationsanalyse zeigte, dass es einen Zusammenhang zwischen den schmalen ( $1,00\text{ m} \leq b < 3,00\text{ m}$ ) und normalbreiten Pannestreifen ( $3,00\text{ m} \leq b < 3,50\text{ m}$ ) und Unfallkenngrößen gibt. Schmale Pannestreifen weisen eine negative Korrelation mit der Unfallrate und der Unfallhäufigkeit auf – das heißt, je enger der Pannestreifen, desto höher die Unfallhäufigkeit bzw. Unfallrate. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Anordnung von Pannestreifen mit einer gewissen Breite die Verkehrssicherheit verbessert. Das Forschungsprojekt des Instituts für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung (6) und die Studie von Heidemann (7) kamen zu ähnlichen Ergebnissen. In beiden Studien konnte festgestellt werden, dass die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden auf Strecken ohne Pannestreifen deutlich höher ist als auf Strecken mit Pannestreifen. Es wurde auch eine positive Korrelation zwischen normalen Pannestreifenbreiten und Unfallrate festgelegt, das heißt, je breiter der Pannestreifen, desto höher die Unfallrate. Dies entspricht nicht der Schlussfolgerung der Studie von Heidemann (7), welche besagt, dass die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden auf Strecken ohne Pannestreifen deutlich höher ist als auf Strecken mit Pannestreifen.

Durch die Varianzanalyse wurde der Einfluss von streckenspezifischen Eigenschaften wie z. B. der Pannestreifenbreite, der Anzahl der Fahrstreifen, der DTV, der Längsneigung und der Kurvigkeit auf die Unfallkenngrößen untersucht. Laut der Ergebnisse der Varianzanalyse hat die Pannestreifenbreite einen mäßigen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Die Unfallkostenrate wird mäßig von der Anzahl der Fahrstreifen beeinflusst. DTV und Kurvigkeit der Straße weisen einen signifikanten Einfluss auf alle Unfallkenngrößen auf. Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Arbeit weist die Kurvigkeit nach der Studie von Heidemann (7) keinen Einfluss auf die Unfallrate auf. Die Anzahl der Fahrstreifen hat wie bei dieser Arbeit keinen Einfluss auf die Unfallrate. Eine weitere Schlussfolgerung dieser Studie stimmt mit dem Ergebnis der Varianzanalyse in dieser Arbeit überein: Die Längsneigung vor allem bei Strecken ohne Pannestreifen hat einen signifikanten Einfluss auf die Unfallrate. (7)

Um die feinere und aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wurde die Detailanalyse einzelner Strecken (fünf Detailabschnitte) durchgeführt. Analysiert wurden die Unfallkenngrößen sowie Unfallursachen und Unfalltypen je Abschnitt und anschließend wurden die Abschnitte miteinander verglichen.

Einer der Vergleiche zeigte den Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreite und Verkehrsstärke. Je höher die Verkehrsstärke, desto breiter sollte der Pannestreifen sein, um eine bessere Verkehrssicherheit zu gewährleisten und die Unfallkennzahlen niedriger zu halten.



Das gleichzeitige Fehlen von Pannestreifen und Mitteltrennung auf einem Abschnitt erhöht die Unfallkenngrößen sowie den Verletzungsgrad. Die Mitteltrennung auf einem Abschnitt mit schmalen Pannestreifen wirkt sich positiv auf die Unfallkenngrößen aus.

Diese Arbeit zeigte, dass hohe Längsneigung und Kurvigkeit einen negativen Einfluss auf die Unfallkenngrößen haben. Laut Hauer (16) sind die Sicherheitseffekte von Pannestreifen auf ebenen und geraden Straßen wahrscheinlich wesentlich geringer als auf scharfen Kurven und Straßen mit starker Längsneigung.

Der Unfalltyp „Abkommen rechts auf der Gerade“ war einer der häufigsten Unfalltypen auf den verglichenen Abschnitten. Häufige Unfälle durch das Abkommen rechts auf der Gerade können durch die schmalen Pannestreifen erklärt werden. Das Fahrzeug konnte wegen der schmalen Pannestreifen die Kontrolle nicht wiedererlangen. Diese Hypothese bestätigt das Ergebnis der Studie von Hauer (16), das zeigte, dass bei breiteren Pannestreifen weniger Unfälle durch Abkommen von der Straße und Unfälle im Begegnungsverkehr auftreten, die etwa 40–60 % aller Unfälle ausmachen. Jedoch können breitere Pannestreifen mit mehr "anderen" Unfalltypen in Verbindung gebracht werden.

### 6.3 Ausblick

Basierend auf zur Verfügung gestellten Unfalldaten bzw. streckenspezifischen Daten zum ASFINAG-Netz sollten neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Pannestreifenbreiten und Unfallkenngrößen gewonnen werden. Auf Detailabschnitten sollte die Beziehung zwischen den Unfallkenngrößen, der Ausprägung des Pannestreifens (Breite) und den charakteristischen Eigenschaften der Straße detailliert untersucht werden.

Da der Fokus dieser Arbeit auf der sicherheitsrelevanten Wirkung von Pannestreifen liegt, war der erste Schritt, alle Unfälle im ASFINAG-Netz, die in einem Zeitraum von 2012 bis 2016 auf Pannestreifen passiert sind, herauszufiltern und anhand deren Attributen weitere Untersuchungen durchzuführen. Während des Versuchs, die einzelnen Pannestreifenunfälle zu identifizieren, hat sich herausgestellt, dass Unfälle häufig nicht mit hundertprozentiger Sicherheit den Pannestreifenunfällen zugeordnet werden können. Am Ende konnten von 9 991 Unfällen im ASFINAG-Netz nur 201 Unfälle als Pannestreifenunfälle bezeichnet werden, was einem Prozentsatz von 2,01 % entspricht. Es muss betont werden, dass selbst die Zuordnung dieser 201 Unfälle nicht zu hundert Prozent eindeutig war. Aus diesem Grund wurden in die Analyse der Auswirkungen von Pannestreifen auf die Verkehrssicherheit in dieser Arbeit nicht nur die Pannestreifenunfälle miteinbezogen, sondern alle Unfälle.

Dies wirkte sich natürlich negativ nicht nur auf die Ergebnisse der Arbeit, sondern auf den Ablauf der gesamten Arbeit aus. Anstatt mit z. B. 500 Pannestreifenunfällen musste man mit fast 10 000 Unfällen arbeiten, was sehr zeitintensiv war. Wäre es möglich gewesen, die Pannestreifenunfälle eindeutig als solche zu identifizieren, würden sich die Ergebnisse vielleicht auch von den nun auf diese Art gewonnenen unterscheiden.

Da die Erstellung der Datei mit den Unfällen anhand von Polizeiberichten über die einzelnen Unfälle erfolgte, konnte die Plausibilität der erfassten Daten nicht überprüft werden. Es hängt viel von der Arbeitsweise der zuständigen Beamten und von deren Genauigkeit bei der Beschreibung von Unfallereignissen ab, es gibt also keine einheitliche Erfassung der Unfalldaten. Nicht nur für diese Arbeit, sondern auch für zukünftige Projekte, deren Ergebnisse auf Unfalldaten basieren, ist es von entscheidender Bedeutung, über einheitlich und nachvollziehbar erfasste Unfalldaten zu verfügen. Es

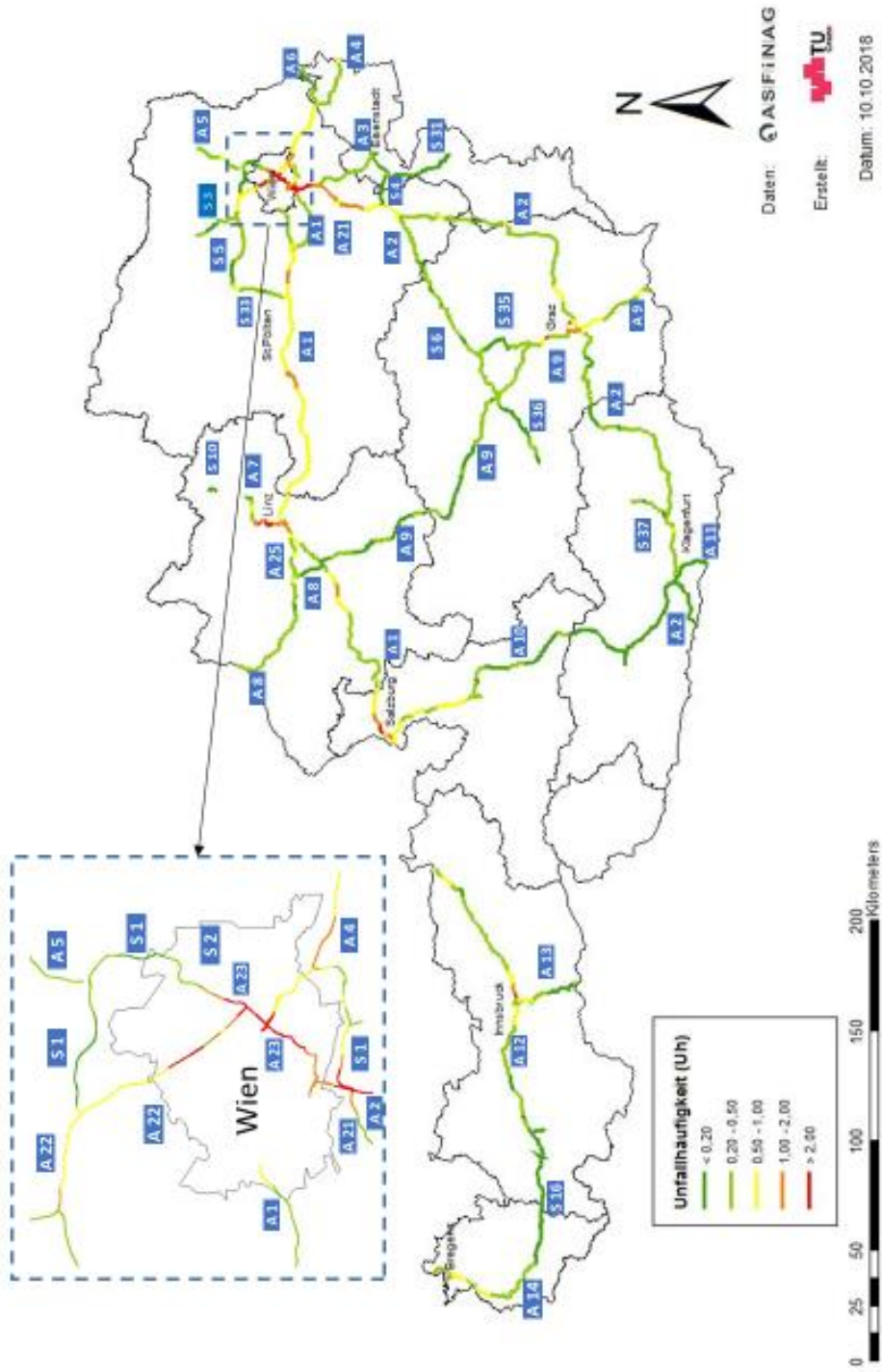
muss eine Basis für eine eindeutige und sichere Analyse der Attribute von einzelnen Unfällen gewährleistet werden, damit auch die Ergebnisse aussagekräftiger sind als in diesem Fall.

## Literaturverzeichnis

- [1] Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV) (2005): *Richtlinie RVS 03.03.31 Straßenplanung, Querschnitte, Querschnittselemente Freilandstraßen, Verkehrs- und Lichtraum*. Wien, Österreich.
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): *Richtlinie RAA Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*. FGSV Verlag GmbH, Köln, Deutschland.
- [3] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2017): *Richtlinie ROA Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen*. Niederlande.
- [4] Arnold, M. (2001): *Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs*. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, Deutschland.
- [5] Lemke, K., Moritz, K. (2001): *Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik – Heft V94, herausgegeben von Bundesanstalt für Straßenwesen, Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH, Bergisch Gladbach, Deutschland.
- [6] Mattheis, C. (2002): *Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik – Heft V91, Bergisch Gladbach, Deutschland.
- [7] Heidemann, D.; Bäumer, M.; Hamacher, R.; Hautzinger, H. (1998): *Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik – Heft V55, Bergisch Gladbach, Deutschland.
- [8] Nitsche, P.; Stütz, R.; Saleh, P.; Maurer, P. (2012): *A simulation framework for assessing the safety effects of soft and hard shoulders as examples of forgiving roadside treatments*. Transport Resreach Arena – Europe 2012, Elsevier Ltd, Amsterdam, Niederlande.
- [9] Guerrieri, M.; Mauro, R. (2016): *Capacity and safety analysis of hard-shoulder running (HSR)*. A motorway case study, Transportation Research Part A, Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande.
- [10] Zegeer, V.C.; Reinfurt, W.D.; Hunter, W.W.; Hummer, J.; Stewart, R.; Herf, L. (1988): *Accident Effects of Sideslope and other Roadside Features on Two-Lane Roads*. Transportation Research Record 1195, Committee on Methodology for Evaluating Highway Improvements, Transportation Research Board, USA.
- [11] Schoon, C.C. (1994): *Road design standards of medians, shoulders and verges*. ANNEX VII to SWOV report Safety effects of road design standards, R-94-7, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, Niederlande.
- [12] Coffey, S.; Park, S. (2016): *State of the non-operations based research of hard shoulder running*. Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande.
- [13] Aron, M.; Seidowsky, R.; Cohen, S. (2010): *Safety impact of using the hard shoulder during congested traffic. The case of a managed lane operation on a French urban motorway*. Transportation Research Part C Emerging Technologies, Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande.

- [14] Ben-Bassat, T.; Shinar, D. (2011): *Effect of shoulder width, guardrail and roadway geometry on driver perception and behavior*. Accident Analysis and Prevention, Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande.
- [15] Mecheri, S.; Rosey, F.; Lobjois, R. (2016): *The effects of lane width, shoulder width, and road cross-sectional reallocation on drivers' behavioral adaptations*. Accident Analysis and Prevention, Elsevier Ltd., Amsterdam, Niederlande.
- [16] Hauer, E. (2000): *Shoulder width, Shoulder Paving and Safety*. Israel (nicht veröffentlicht)
- [17] Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV) (2014): Richtlinie RVS 02.02.21 Verkehrssicherheitsuntersuchung. Wien, Österreich.
- [18] Sedlacek, N.; Steinacher, I.; Mayer, B.; Aschenbrenner, A. (2017): *Unfallkostenrechnung Straße 2017*. Band 065, bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Österreich.
- [19] Rönz, B.; Förster, E. (1992): *Regressions- und Korrelationsanalyse: Grundlagen - Methoden – Beispiele*. Kapitel 1, Seiten 1-17, Gabler, Wiesbaden, Deutschland.
- [20] Fromm, S. (2012): *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 2: Multivariate Verfahren für Querschnittsdaten*. Band 2 von Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene, Kapitel 1, Seiten 12-53, Springer VS, Wiesbaden, Deutschland.
- [21] Eckey, H.F., Kosfeld, R., Rengers, M. (2013): *Multivariate Statistik: Grundlagen – Methoden – Beispiele*. Kapitel 3, Seiten 93-200, Springer – Verlag, Wiesbaden, Deutschland.
- [22] Huber, F., Meyer, F., Lenzen, M. (2014): *Grundlagen der Varianzanalyse. Konzeption - Durchführung – Auswertung*, Kapitel 4, Seiten 43-88, Springer, Wiesbaden, Deutschland.
- [23] Stahel, W. A. (2008): *Statistische Datenanalyse*. Eine Einführung für Naturwissenschaftler, Kapitel 3 und 12, Seiten 38-41; 43-44; 265-282, Vieweg+Teubne, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Deutschland.
- [24] Eckey, H. F., Kosfeld, R., Dreger, C. (2013): *Statistik: Grundlagen - Methoden – Beispiele*. Kapitel 8, Seiten 147-171, Springer-Verlag, Wiesbaden, Deutschland.
- [25] Fenzlein, E. (2008): *Berufsbild des Controllers: Eine empirische Untersuchung zur Entwicklung des Controllings im Spiegel von Stellenanzeigen 2003 bis 2007*. Kapitel 6, Seiten 78-98, Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, Deutschland.

# Unfallhäufigkeit (Uh) im ASFINAG-Netz (2012 - 2016)



# Unfallrate (Ur) im ASFINAG-Netz (2012 - 2016)

