



Marianne Kraut

Potentialabschätzung von Rumble Strips am hochrangigen Straßennetz

Durchgeführt am Institut für Fahrzeugsicherheit
TU-Graz Dekanat für Maschinenbau

Institutsvorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hermann Steffan
Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Tomasch

Graz, Oktober 2012



EIDESSTÄTLICHE 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 wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

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, am

.....

(Unterschrift)

KURZFASSUNG

In den Jahren zwischen 2000 und 2011 starben bei Abkommensunfällen auf österreichischen Autobahnen insgesamt 390 Menschen. Obwohl die Zahl an Verunglückten eindeutig rückläufig ist, sind es durchschnittlich immer noch 33 Menschen die jährlich sterben. Um diese Zahl weiter zu senken sollen durch detaillierte Untersuchungen der Unfallursachen Maßnahmen entwickelt werden, um den rückläufigen Trend weiter aufrecht zu halten. Diese Arbeit befasst sich mit Unfällen am hochrangigen Straßennetz und der Frage in wie weit sogenannte Shoulder Rumble Strips (Rüttelmarkierungen auf der rechten Fahrbahnseite) Abkommensunfälle verhindern könnten. Hierbei war das Ziel eine mögliche Variation des seitlichen Abstandes von Rumble Strips zu untersuchen. Als Methodik wurde dabei auf die Simulation zurückgegriffen und die Grundlagen bildeten Realunfälle der ZEDATU (Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen). Zur Beurteilung dieses Potentials wurden tödliche Verkehrsunfälle der Jahre 2003 bis 2008 rekonstruiert und anschließend im Detail analysiert und ausgewertet. In der vorliegenden Arbeit wurden PKW-Unfälle mit nur einem Beteiligten, insbesondere Abkommensunfälle nach rechts, untersucht. Diese Abkommensunfälle wurden nach entsprechenden Unfallursachen (Müdigkeit, Ablenkung, etc.) kategorisiert und nach Ausgangsgeschwindigkeiten sowie Abkommenswinkel ausgewertet. Basierend auf unterschiedlichen Reaktionszeiten der Fahrzeuglenker und Variation des seitlichen Abstandes von Rumble Strips von der Fahrbahnbegrenzungslinie, wurde der mögliche unfallvermeidende und verletzungs-reduzierende seitliche Abstand aufbereitet. Die untersuchten Realunfälle wurden nach Geradenstücken, Rechts- und Linkskurven untergliedert. Es wurden unterschiedliche Reaktionsgrundzeiten zu Grunde gelegt und ein mögliches Ausweichmanöver berücksichtigt. Für die seitliche Variation der Rumble Strips wurden verschiedene Seitenabstände der Rumble Strips von der Fahrbahnbegrenzungslinie berücksichtigt. Dabei konnte keine deutliche Verringerung von Abkommensunfällen nach rechts auf einer Geraden nachgewiesen werden. Bei den Verunglückten, die in einer Rechtskurve von der Fahrbahn abgekommen sind, ergibt sich eine 20 %-ige Reduktion aller untersuchten Realunfälle. Von den Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn in einer Linkskurve nach rechts hat die Analyse eine Reduktion der Unfälle von 11,1 % ergeben. Daraus resultierend konnte die positive Wirkung von Shoulder Rumble Strips zur Vermeidung von Abkommensunfällen nachgewiesen werden.

ABSTRACT

Between 2001 and 2011 a total of 390 people have been killed in accidents on Austrian motorways due to run-off road accidents. Although the number of casualties shows a definite downward trend, an average of 33 people still die yearly. To counteract this rate of fatal accidents numerous investigations have been carried out on Austrian roads and various measures taken to reduce this number. This paper deals with accidents on high-level road networks and the question of how far so-called shoulder rumble strips can avoid accidents caused by straying from the roads. In this case the aim was to examine the possible variations of the lateral distances of rumble strips. The methods used were the simulation of accidents and the basic data of real accidents analysed by the ZEDATU. In order to comment on these potentials, fatal accidents between 2003 and 2008 were reconstructed and subsequently analysed and evaluated. In this paper car accidents with only one occupant were investigated, in particular those who had left the road to the right hand side. These types of accidents were catalogued according to the reason for the accident, (tiredness, distraction, etc.) and evaluated by the speed and angle of the exit. Based on different reaction times of the drivers and the variation of the lateral distance between the rumble strips and the marking line at the edge of the road, possible methods were prepared to avoid accidents and reduce casualties in connection with this space. The examined accidents were sub-divided into straight sections, right curves and left curves. Different reaction times were taken for a possible evading movement. In addition different distances of the rumble strips from the road edge marking were taken into consideration. From these statistics no considerable reduction of run-off the road accidents to the right on a straight road could be proved. With those victims who left the road in a right-hand bend there was a 20 % reduction in all examined real accidents. With the accidents resulting from leaving the road to the right in a left- hand bend there was a 11,1 % reduction of the number of accidents in connection with the previously mentioned distance between the rumble strips and the road edge markings. As a result the positive effects of shoulder rumble strips mainly in right-hand bends to avoid the ROR accidents to the right could be proved.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	I
ABSTRACT	II
INHALTSVERZEICHNIS.....	III
1 EINLEITUNG UND ZIELE	1
2 RESTRIKTIVE ANALYSE DER VERKEHRСУNFÄLLE IN ÖSTERREICH.....	2
3 METAANALYSE VON ABKOMMENSUNFÄLLEN	6
3.1 URSACHEN UND VERMEIDUNG VON ABKOMMENSUNFÄLLEN	6
3.1.1 Ursachen für Abkommensunfälle	6
3.1.2 Vermeidung von Abkommensunfällen	9
3.1.2.1 Fahrzeugspezifische Maßnahmen	9
3.1.2.2 Fahrzeugunabhängige Maßnahmen	10
3.2 RUMBLE STRIPS	11
3.2.1 Definition.....	11
3.2.2 Ausführungen von Rumble Strips	12
3.2.3 Anbringung.....	14
3.2.4 Problematik im Zusammenhang mit Rumble Strips	16
3.2.5 Zielgruppen.....	16
3.3 VERSUCHSTRECKEN ZUR ANALYSE VON SHOULDER RUMBLE STRIPS	17
3.3.1 Installationen von SRS mit Seitlicher Variation	17
3.3.2 Standardinstallation.....	19
3.4 REAKTIONSZEIT.....	26
3.4.1 Definition.....	26
3.4.2 Einflussparameter	29
3.5 REALUNFALLANALYSE	32
3.5.1 ZEDATU.....	32
3.5.2 Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit PC Crash	33
3.5.2.1 Stoßtheorien.....	33
3.5.2.2 Stoßzahl.....	34
4 METHODIK.....	36
4.1 VORGEHENSWEISE EINER REALUNFALLREKONSTRUKTION	36
4.1.1 Straßenobjekt.....	36
4.1.2 Fahrzeugdatenbank	38
4.1.3 Simulation	39
4.1.4 Abkommenswinkel, Geschwindigkeitswinkel.....	43
4.2 GRUNDLAGENÜBERLEGUNGEN FÜR DIE AUSWERTUNG DES POTENTIALS VON RUMBLE STRIPS ...	44
4.2.1 Abkommensunfall nach rechts auf einer Geraden	48
4.2.2 Abkommensunfall nach rechts in einer Kurve	49
5 MATERIAL	50
6 EINSCHRÄNKUNGEN	51

7	ANALYSE UND AUSWERTUNG	52
8	DISKUSSION	74
9	AUSBLICK	76
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	77
11	TABELLENVERZEICHNIS	78
12	LITERATURVERZEICHNIS.....	80
13	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	85
14	ANHANG	87

1 EINLEITUNG UND ZIELE

Die ehrgeizigen Ziele des Österreichischen Verkehrssicherheitsprogramms (VSP) 2011-2020 die Verkehrstoten auf Basis des Durchschnittwertes der Jahre 2008 bis 2010 um die Hälfte zu reduzieren und die Zahl der Schwerverletzten um 40 Prozent ebenfalls zu verringern sind anspruchsvolle Aufgaben. Unter anderem ist im VSP auch die Evaluierung von Rumble Strips am seitlichen Fahrbahnrand festgehalten. Dies soll sowohl am hochrangigen als auch am untergeordneten Straßennetz erfolgen und die mögliche positive Wirkung auf Abkommensunfälle untersucht werden [25, 2011b].

Die sogenannten Rumble Strips (RS), Audio Tactile Roadmarkings (ATP) oder zu Deutsch Rüttelmarkierungen/Rüttelstreifen sollen den Autofahrer darauf aufmerksam machen, dass er im Begriff ist die Fahrbahn zu verlassen. Ist der Rumble Strip am rechten Fahrbahnrand angebracht wird er Shoulder Rumble Strip (SRS) genannt und ist im Zusammenhang mit Abkommensunfällen eine wirksame Gegenmaßnahme. Auf die einzelnen Ausführungen wird in Kapitel 3.2 noch konkreter eingegangen.

Da am hochrangigen Straßennetz (Autobahnen und Schnellstraßen) ein Pannestreifen vorhanden ist und eine mögliche Korrektur des Fahrzeuglenkers bei Überfahren der Rumble Strips auf festem Untergrund erfolgen kann, ist das Augenmerk dieser Untersuchung auf eben dieses Straßennetz gelegt. Insbesondere geht es in dieser Studie darum, den seitlichen Abstand von Rumble Strips zu untersuchen und das mögliche Potential zur Reduktion von Abkommensunfällen zu beziffern. Die seitliche Variation auch deshalb, da es immer wieder Fahrzeuglenker gibt, welche bewusst die SRS überfahren und so eine erhebliche Lärmbelastung für die Anrainer entsteht. Als Ergebnis soll eine Empfehlung für die mögliche Positionierung der Rumble Strips in einem größeren Abstand zur Begrenzungslinie erarbeitet werden, bei welchem nach wie vor ein Reduktionspotential für Abkommensunfälle besteht. Das hochrangige Straßennetz wird deshalb in Betrachtung gezogen, da hier eine seitliche Variation des Abstandes überhaupt möglich ist. Die Anwendbarkeit auf das untergeordnete Straßennetz kann in einem Ausblick erörtert werden.

2 RESTRIKTIVE ANALYSE DER VERKEHRSUNFÄLLE IN ÖSTERREICH

Prinzipiell werden in Österreich Verkehrsunfälle in zehn verschiedene Hauptgruppen (Tabelle 1) unterteilt, welche in Untergruppen und Detailgruppen gegliedert sind.

Tabelle 1: Verkehrsunfälle Österreich unterteilt nach Unfalltyp [24]

Nebengruppen	Obergruppen
Rechtwinkelige Kollisionen auf Kreuzungen beim Einbiegen	Unfälle auf Kreuzungen
Rechtwinkelige Kollisionen auf Kreuzungen beim Queren	
Unfälle beim Abbiegen oder Umkehren – entgegengesetzte Richtung	
Unfälle beim Abbiegen oder Umkehren - Richtungsgleich	
Unfälle im Richtungsverkehr	Unfälle im Richtungsverkehr
Unfälle mit nur einem Beteiligten	Unfälle mit nur einem Beteiligten
Fußgängerunfälle	Unfälle mit Fußgängern
Unfälle im Begegnungsverkehr	Unfälle im Begegnungsverkehr
Sonstige Unfälle mit zwei oder mehreren Beteiligten	Sonstige Unfälle
Unfälle mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen mit zwei oder mehr Beteiligten	

In Abbildung 1 wird die Verletzungsschwere einzelner Unfalltypen mit mindestens einem beteiligten PKW betrachtet. Die meisten leicht (38 %) und schwer (33 %) verletzten Personen sind dabei bei Kreuzungsunfällen zuzuordnen. Bei Unfällen im Richtungsverkehr haben leicht verletzte Beteiligte einen Anteil von 29 % und schwer verletzte 15%. Unfälle mit tödlichem Ausgang haben für diese beiden Unfalltypen einen geringen Anteil.

Bei Unfällen mit nur einem Beteiligten ist hingegen die Zahl der schwer (22 %) und leicht (13 %) verletzten Personen deutlich unter der, der tödlich Verunglückten, die mit 33 % den mit Abstand größten Prozentsatz ergeben und somit die meisten Todesopfer fordern.

Weniger Unfälle passieren hingegen mit Fußgängern. Hier liegt der Anteil an tödlich, leicht und schwer verletzten Fußgängern annähernd gleich auf.

Im Begegnungsverkehr gibt es wieder weniger schwer (14 %) und leicht (8 %) Verletzte im Gegensatz zu den tödlich verletzten Autofahrern, die mit 29 % den zweithöchsten Prozentsatz aller Unfälle mit Todesopfer erreichen [24].

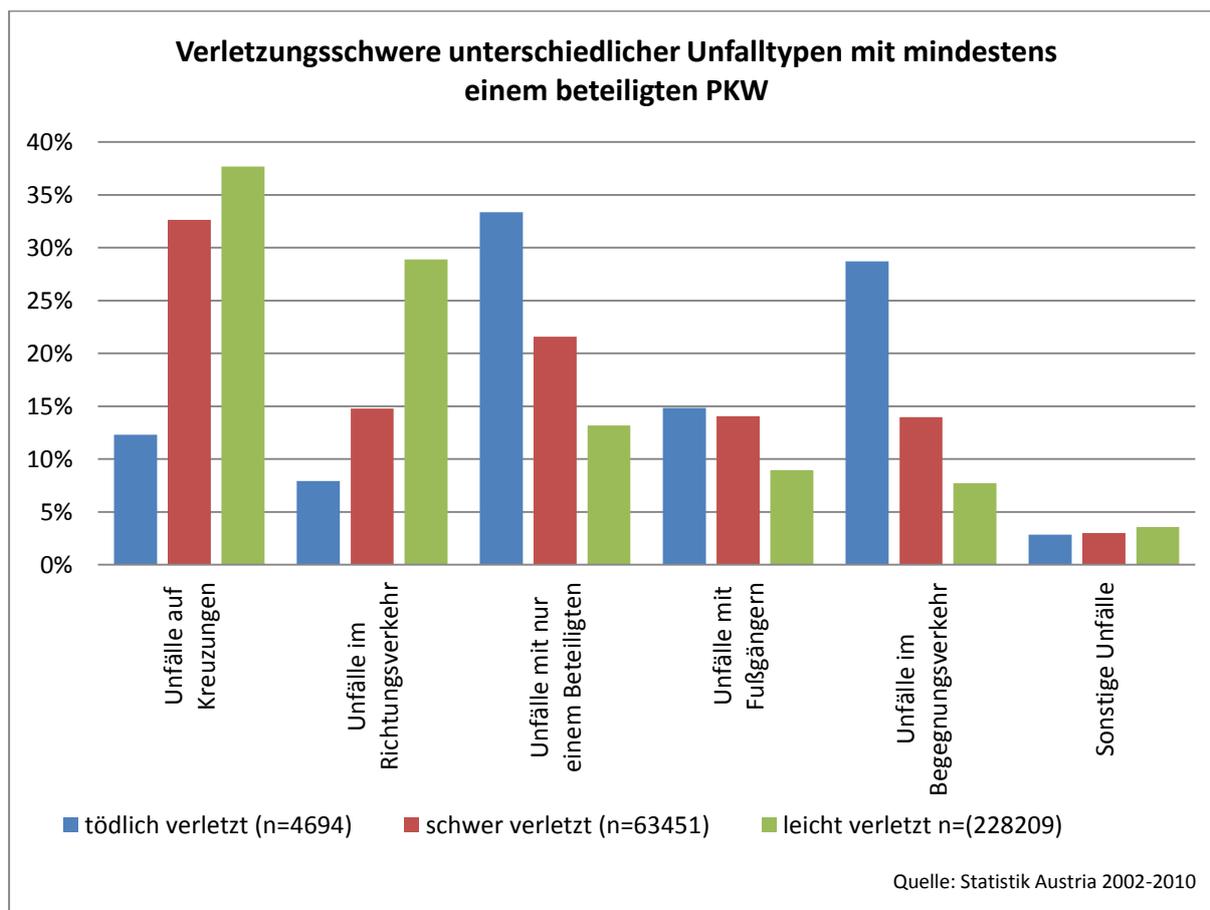


Abbildung 1: Verletzungsschwere unterschiedlicher Unfalltypen mit mind. einem beteiligten PKW [24]

Bei der Gegenüberstellung der tödlich Verletzten in Ortsgebieten und im Freiland forderte in den Jahren von 2002 bis 2010 eindeutig das Freiland die meisten Todesopfer. Mit über 3.600 Toten entspricht dies mehr als dem Dreifachender tödlichen Unfallzahlen im Ortsgebiet.

Abbildung 2 veranschaulicht den Unterschied zwischen den auf Autobahnen und Schnellstraßen tödlich verunglückten Fahrzeuglenkern und jenen die auf Landesstraßen und sonstigen Straßen getötet wurden. Es werden alle Unfälle in den Jahren zwischen 2002 und 2010 berücksichtigt. Deutlich ersichtlich ist hier die hohe Rate an Verunglückten bei den Unfällen mit nur einem Beteiligten auf Autobahnen und Schnellstraßen (45,7 %) im Gegensatz zu den 31,4 %, die auf Landesstraßen und sonstigen Straßen zu Tode gekommen sind. 33,9 % aller 646 Verunglückten kamen auf Autobahnen und Schnellstraßen bei Unfällen im Richtungsverkehr ums Leben, auf Landesstraßen und sonstigen Straßen waren dies 31,2 % von allen verursachten Unfällen. Den Unfällen im Begegnungsverkehr können auf Landesstraßen 16,3 % aller 4048 Unfälle zugeordnet werden, den Autobahnen und Schnellstraßen 13,3 %. Auch bei den Unfällen mit Fußgängern liegen jene auf Landesstraßen mit 14,2 % prozentual gesehen über denen auf Autobahnen und Schnellstraßen (5,6 %).

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass obwohl es zwischen 2002 und 2010 insgesamt weniger Unfälle auf Autobahnen und Schnellstraßen gab im Verhältnis zu jenen auf sonstigen Straßen und Landesstraßen, fast die Hälfte aller Unfälle, jene mit nur einem Beteiligten waren. In weiterer Folge werden nun also jene Unfälle mit nur einem Beteiligten näher betrachtet [24].

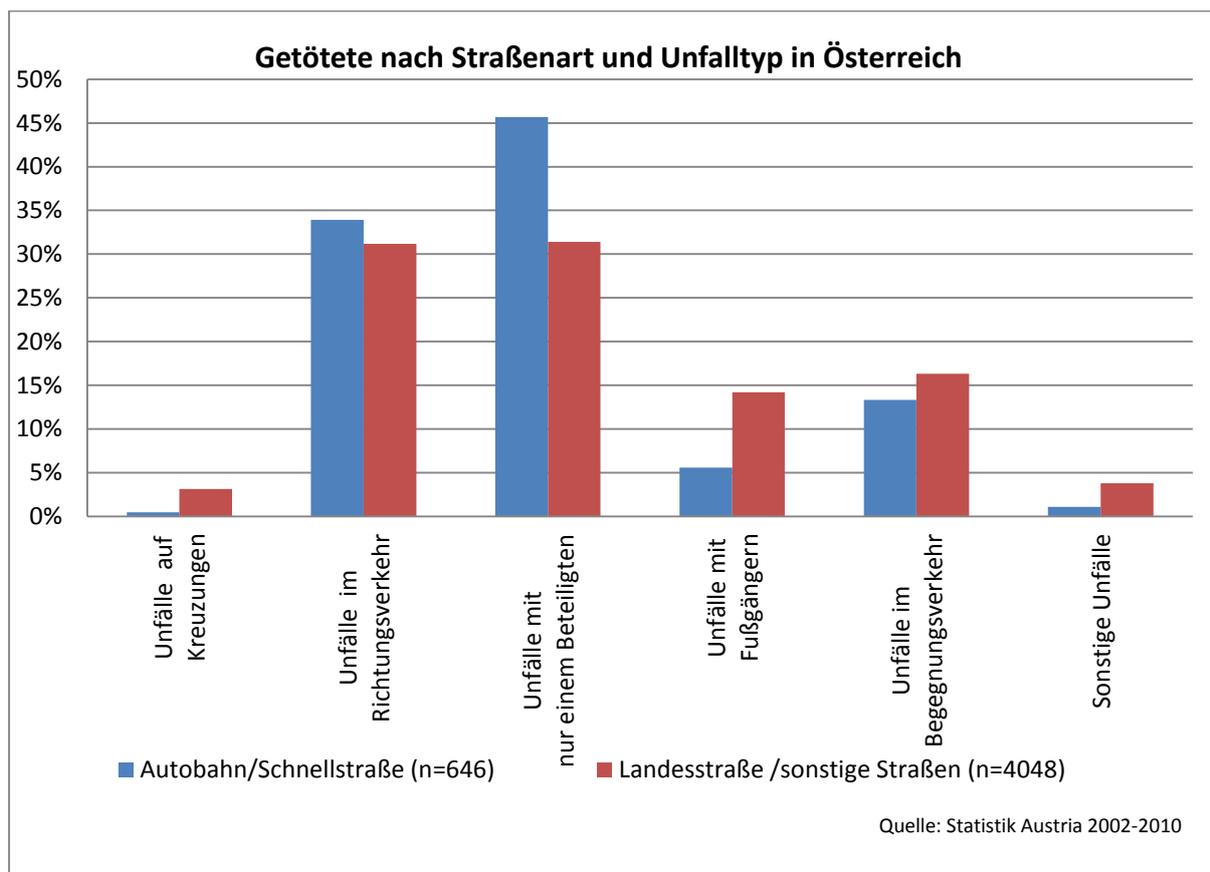


Abbildung 2: Getötete nach Straßenart und Unfalltyp in Österreich [24]

Autobahnen und Schnellstraßen können mit dem Begriff des hochrangigen Straßennetzes zusammengefasst werden. Dies umfasst rund 2.175 Straßenkilometer. In den Jahren zwischen 2000 und 2011 starben insgesamt 823 Personen, dabei durchschnittlich 68 jährlich [24].

Der geringe Prozentanteil und damit die geringe Anzahl an Unfällen im Begegnungsverkehr im hochrangigen Straßennetz also auf Autobahnen und Schnellstraßen, ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass es hier wenig Abschnitte gibt, in denen es überhaupt einen Gegenverkehr gibt. Im Verkehrssicherheitsprogramm VSP von 2002-2010 wurde bereits auf die Verbesserung der Sicherheit in Gegenverkehrsabschnitten vor allem in Tunnelabschnitten Wert gelegt und mittels taktilen Leiteinrichtungen in der Fahrbahnmitte umgesetzt. Ebenso hat sich die bauliche Mittelleittrennung in Baustellenbereichen mit Gegenverkehr bereits im Jahr 2001 bewehrt [53, 2004b].

Die geringe Anzahl an Unfällen mit Fußgängern mit 5,6 % ist darauf zurückzuführen, dass im Wesentlichen ein Fußgänger nur dann in einen Unfall auf einer Autobahn involviert ist, wenn sich dieser auf Grund einer Panne o.Ä. auf der Fahrbahn oder dem Pannestreifen befindet oder es im Bereich einer Baustelle, eines Rastplatzes oder einer Pannenbucht zu einem Unfallszenario mit einem Fußgänger kommt [24].

In Abbildung 3 werden die Unfälle Außerorts auf Autobahnen und Schnellstraßen mit nur einem Beteiligten nach Unfallart untergliedert dargestellt. Über 90 % aller Unfälle in den Jahren zwischen 2002 und 2010 ereigneten sich durch Abkommen von der Fahrbahn. Wobei es zu mehr Abkommensunfällen nach rechts (82,1 %) als nach links (16,4 %) kam. Die weitere Untergliederung der Abkommensunfälle nach rechts in die Abkommensunfallstelle ergibt, dass 94 % aller 316 Fahrzeuge auf einer Geraden nach rechts abgekommen sind. 3,2 % haben die Fahrbahn in einer Rechtskurve und 2,8 % in einer Linkskurve nach rechts verlassen. Bei den Abkommensunfällen in einer Linkskurve sind von 63 Fahrzeugen 85,7 % auf einer Geraden, 12,7 % in einer Rechts- und 1,6 % in einer Linkskurve links von der Fahrbahn abgekommen. Die wenigsten Personen (0,3 %) starben durch den Aufprall auf ein Hindernis oder bei sonstigen Unfällen mit nur einem beteiligten PKW. Mehr Unfälle (1 %, das entspricht 4 von allen sich ereigneten 316 Unfällen) werden noch durch Abkommen bei Kreuzungen, einer Fahrbahnverzweigung oder Ausfahrt hervorgerufen [24].

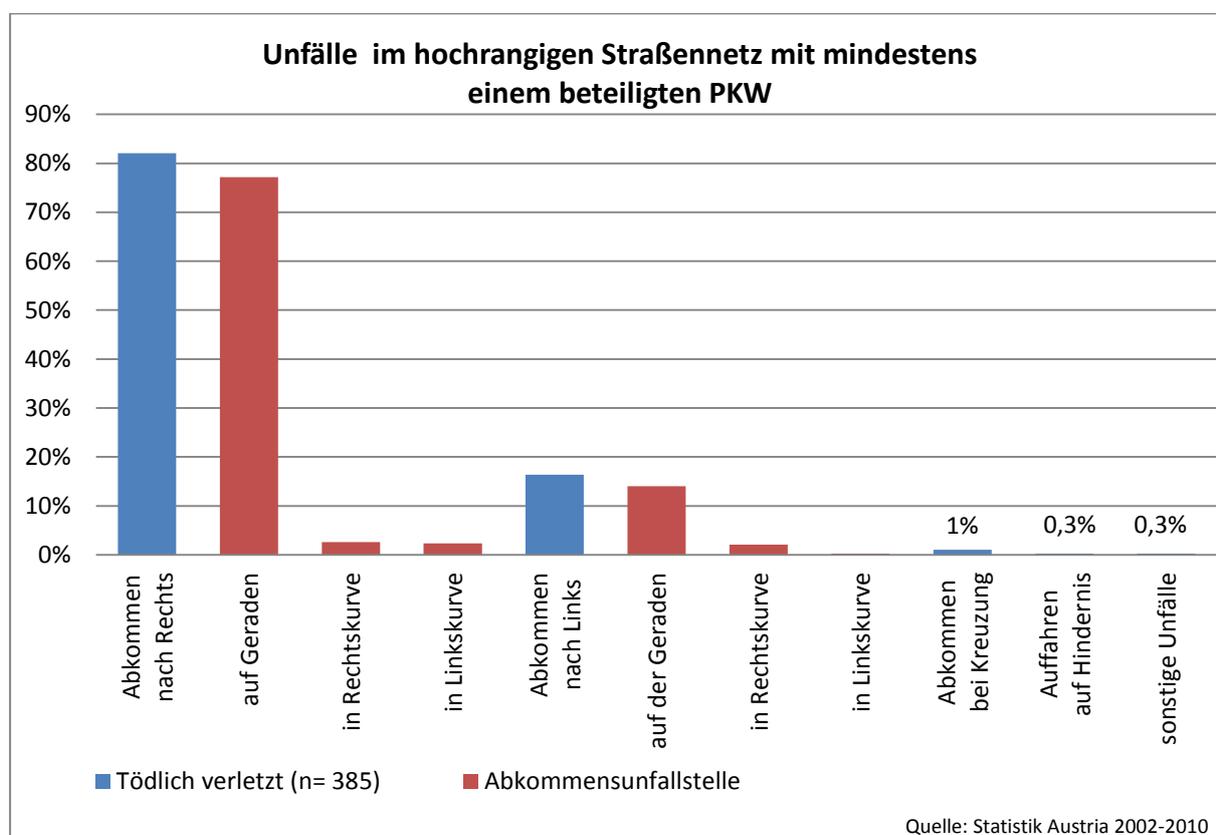


Abbildung 3: Unfälle im hochrangigen Straßennetz mit mindestens einem beteiligten PKW [24]

Konkludierend kann festgehalten werden, dass im hochrangigen Straßennetz die Abkommensunfälle nach rechts, mit einem Anteil von über 82 Prozent aller Abkommensunfälle, in weiterer Folge näher beleuchtet werden. Da sich am rechten Fahrbahnrand die Installation von SRS anbietet, muss im Zuge dessen, die Lärmbelastigung der umliegenden Anrainer berücksichtigt werden, die sich durch das Überfahren der SRS ergibt. Da auch ein absichtliches Überfahren von übermotivierten Fahrzeuglenkern nicht außer Acht gelassen werden kann, ist der mögliche Seitenabstand zwischen der Fahrbahnbegrenzungslinie und der SRS-Installation entsprechend zu untersuchen und einer Variation zu unterziehen.

3 METAANALYSE VON ABKOMMENSUNFÄLLEN

3.1 Ursachen und Vermeidung von Abkommensunfällen

3.1.1 Ursachen für Abkommensunfälle

Für das Abkommen von der Fahrbahn kann es mehrere Ursachen geben, die durch Zusammenwirken mehrerer Umstände oder auch einzeln zu einem Unfall führen können. Da keine spezifischen Ergebnisse für Untersuchungen von Unfallursachen für Abkommensunfälle vorliegen, werden folgend die Ursachen für Unfälle generell beschrieben.

Dazu hat das Bundesministerium für Inneres die häufigsten Hauptunfallursachen, die zu tödlichen Verkehrsunfällen im Jahr 2010 führten, zusammengefasst (Abbildung 4). Die Werte basieren auf den von der zuständigen Polizei vermuteten Hauptunfallursachen. Mehr als ein Drittel aller Unfälle passieren durch zu hohe und **nicht angepasste Geschwindigkeit**.

Die zweithäufigste Ursache sind **Vorrangverletzungen** mit 14,2%, gefolgt von **Unachtsamkeit und verschiedene Arten der Ablenkung** mit 11,3 % aller 515 Unfälle.

52 Personen kamen 2010 bei einem **Überholvorgang** zu Tode (10,1 %) und rund 7 % aller tödlich verunfallten Fahrzeuglenker kamen durch das **Fehlverhalten von Fußgängern** ums Leben.

Die Beeinträchtigung der Fahruntüchtigkeit durch **Rauschmittel** wie Alkohol (5,2 %) oder Medikamente und dem Zustandekommen eines Unfalles durch einen **Technischen Defekt** (Reifenplatzer oder Ähnliches (1,2 %) sei im Zusammenhang mit den Hauptunfallursachen tödlicher Verkehrsunfälle ebenfalls erwähnt. **Krankheitsbedingte** Ursachen wie ein Herzinfarkt oder ein Schlaganfall können auch zu einem Unfall und damit zum Abkommen von der Straße führen, sie gehen mit 1,7 % in die Unfallstatistik ein. Unfälle durch nicht Einhalten des **Sicherheitsabstandes** ergeben einen geringeren Prozentsatz (0,4 %).

Unter sonstige Ursachen mit 8 % zählen zum Beispiel eine Sichtbeeinträchtigung durch Blendung (Sonne), verschmutzte Scheiben, Nebel und Regen oder das Ausweichen gegenüber einem anderen Fahrzeug, einem Tier oder einem anderen Gegenstand auf der Fahrbahn [3].

In Abbildung 4 nicht angeführt, jedoch bei einer Aufzählung von unfallkausalen Ursachen genauso wenig auszuschließen, ist ein möglicher Eingriff durch Dritte (z. B. ein möglicher Steinwurf, Abdrängen oder Erschrecken) und das absichtliche Herbeiführen eines Unfalles [18].

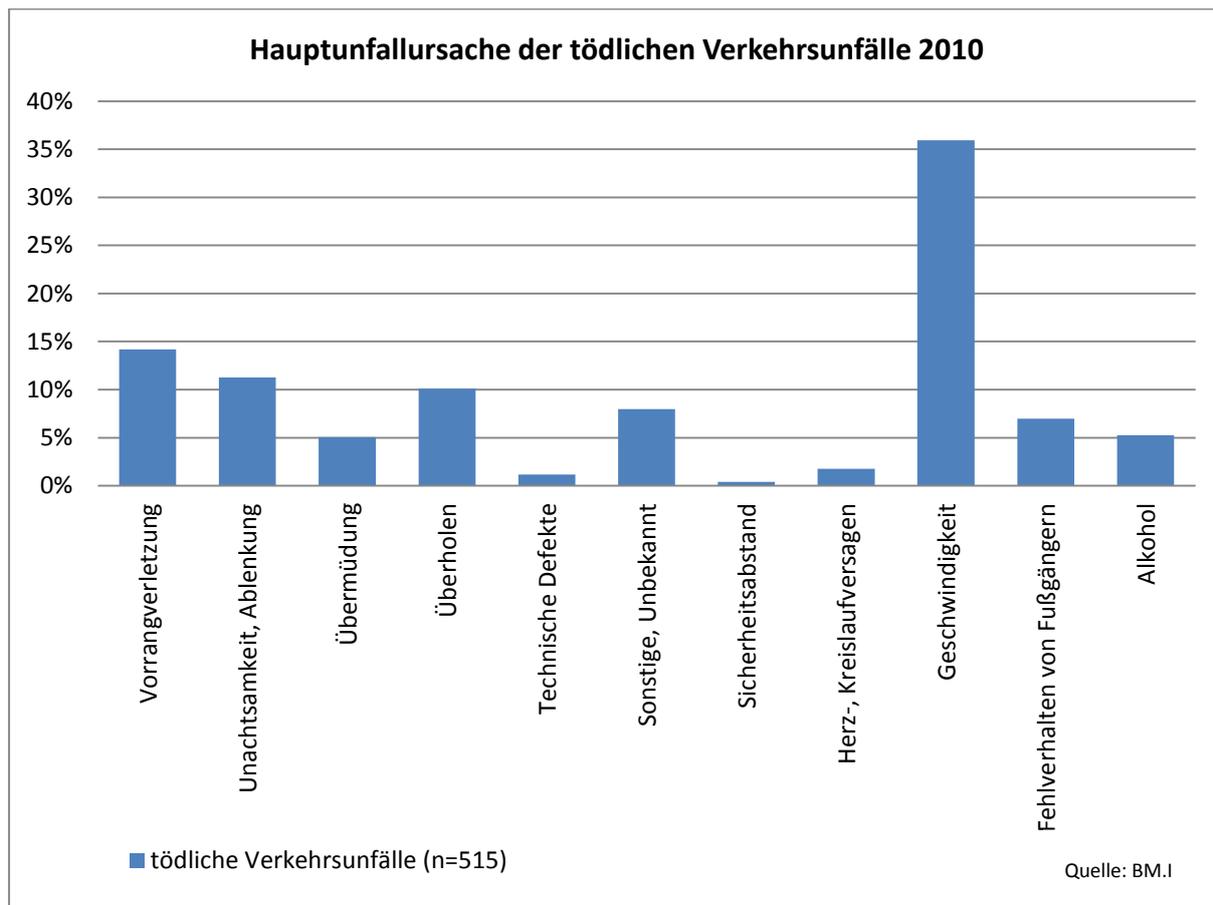


Abbildung 4: Hauptunfallursache der tödlichen Verkehrsunfälle 2010 [2]

Im Jahr 2010 waren 5 % (siehe Abbildung 4) aller Verunfallten **von einem Sekundenschlaf** betroffen bzw. wurde das Unfallfahrzeug von einem **übermüdeten Fahrzeuglenker** gefahren. Laut ADAC [20, 2008a] steigt die Unfallhäufigkeit wegen Übermüdung deutlich zwischen 2.00 und 5.00 Uhr nachts bzw. um 14.00 Uhr am Nachmittag, da der Mensch hier ein biologisches Tief durchläuft. Deutliche Anzeichen für eine Übermüdung können schwere Augenlider, Augenreiben, unscharfes Sehen oder Gähnen sein. Auch die Tatsache, dass man sich nicht gut konzentrieren kann und die Gedanken abschweifen lässt oder sich aggressiv, nervös und unruhig verhält, kann auf einen übermüdeten Fahrer hinweisen [20, 2008a].

Die Auswertung aller durch die Statistik Austria erfassten Abkommensunfälle in den Jahren zwischen 2002 und 2010 auf Autobahnen und Schnellstraßen (Abbildung 5) ergab ein erhöhtes relatives Risiko tödlich zu verunglücken zwischen 24.00 und 2.00 Uhr, um 4.00 Uhr in der Früh und um 15.00 Uhr am Nachmittag. Damit kann zwar keine Kongruenz mit den in der Literatur angeführten erhöhten Unfallraten zu den besagten kritischen Zeiten angegeben werden jedoch weichen die Zahlen nicht wesentlich von denen der Statistik Austria ab.

Konkret können die meisten tödlichen Verletzten, wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist, in den frühen Morgenstunden um 1.00 und 2.00 Uhr, in der Früh zwischen 6.00 und 8.00 Uhr und dann wieder um 15.00, 17.00 und 19.00 Uhr verzeichnet werden. Dabei ist aber darauf hinzuweisen, dass all diese Unfälle nicht ausschließlich durch Müdigkeit verursacht wurden, sondern auch andere Faktoren zum tödlichen Ausgang des Unfalles beigetragen haben. Diese wurden im Detail jedoch nicht näher angeführt [24].

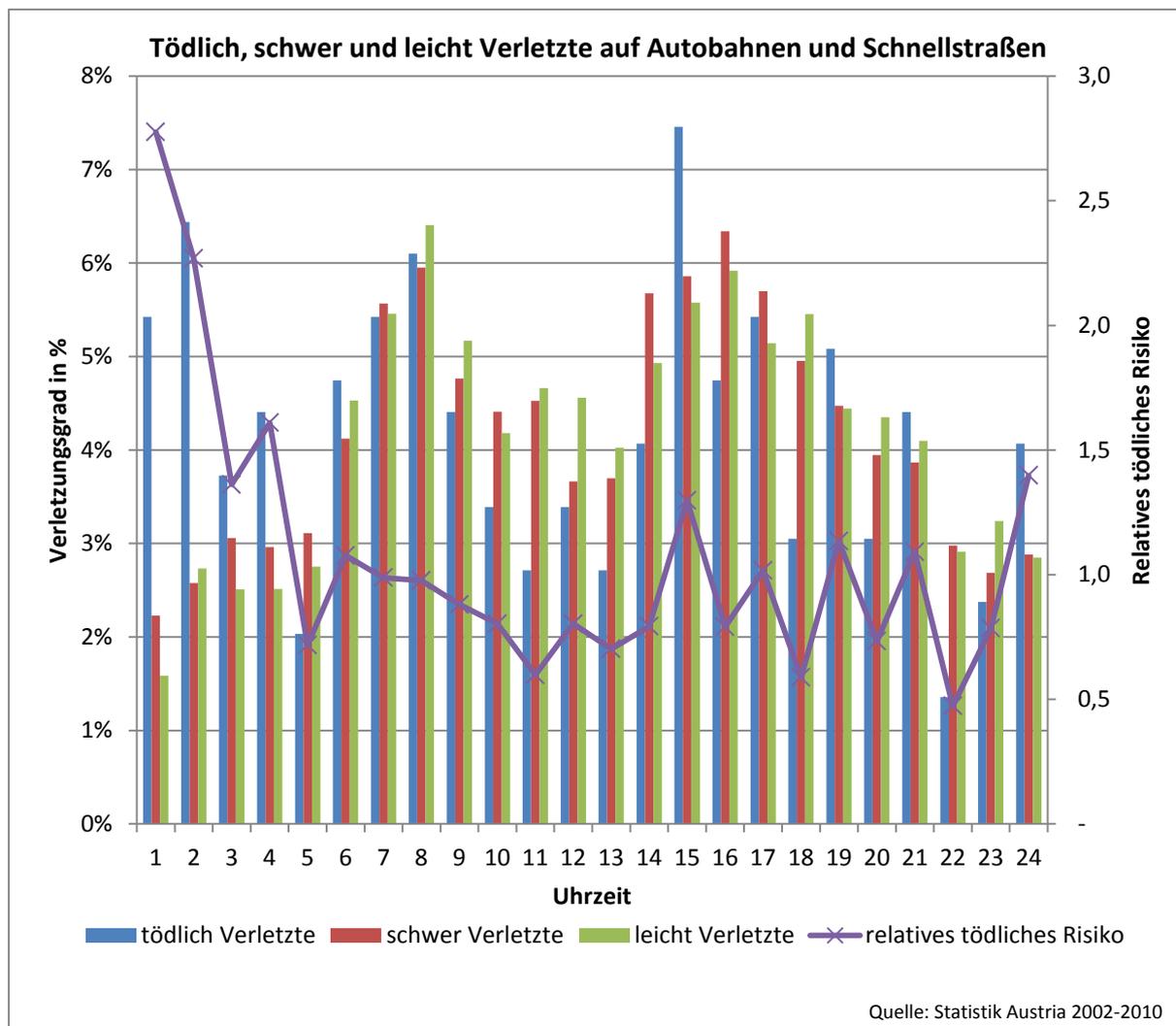


Abbildung 5: Abkommensunfälle mit mindestens einem beteiligten PKW [24]

3.1.2 Vermeidung von Abkommensunfällen

Prinzipiell gibt es viele Varianten, um Abkommensunfällen entgegen zu wirken. Eine mögliche Unterteilung wäre nach Maßnahmen, die Fahrzeug unabhängig sind und alle PKWs berücksichtigen und in solche, die nur fahrzeugspezifisch angewendet werden können, wie beispielsweise LKA (Lane Keeping Support-System), LDW (Lane Departure Warning-System) o.Ä.

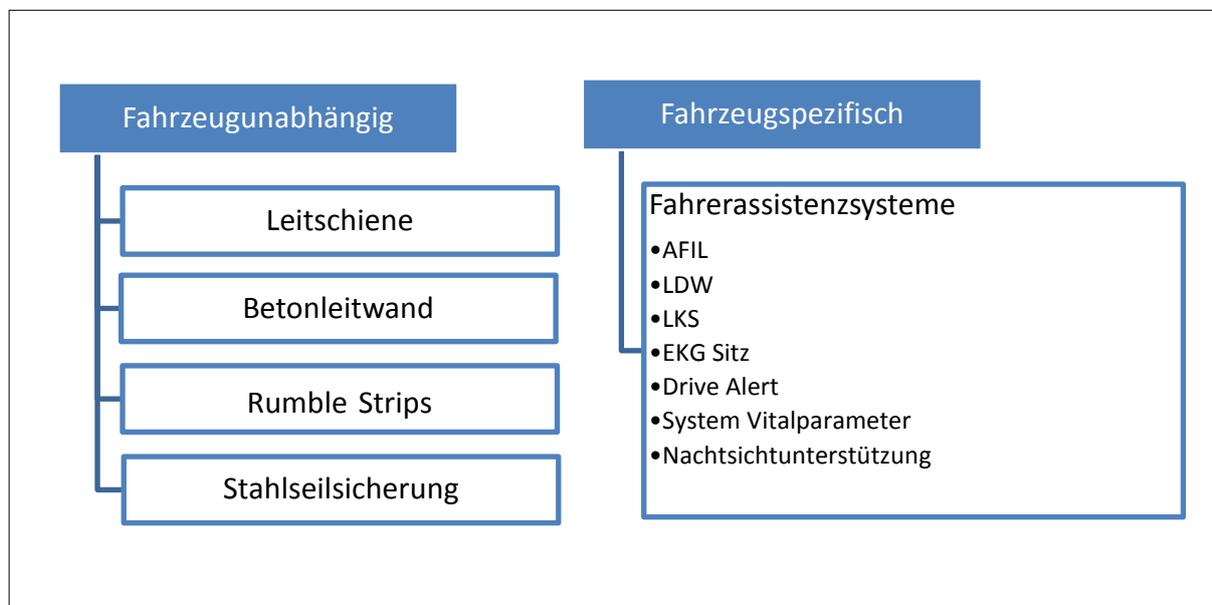


Abbildung 6: Systeme zur Vermeidung von Abkommensunfällen

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [64, 2009c],[29, 2011d],[1],[19, 2011a],[49, 2011g]

3.1.2.1 Fahrzeugspezifische Maßnahmen

Zu den fahrzeugspezifischen Maßnahmen gehören in erster Linie Fahrerassistenzsysteme, die das Abkommen von der Straße verhindern können. Fahrstreifenerkennungssysteme sind mit Sensoren, einer Kamera zur Umgebungserfassung und mit Algorithmen, die der Fahrbahnmarkierungserkennung dienen, ausgestattet. Eine Einheit, die Entscheidungen bezüglich des aktuellen Fahrzustandes trifft und ein Aktor, der für mögliche Warnungen oder Eingriffe in die Lenkung oder für Ähnliches zuständig ist, sind genauso Teil des Systems.

Citroen hat beispielsweise ein System entwickelt, das durch Infrarot Linienerkennung beim Abweichen von der Fahrspur Alarm schlägt (AFIL, Alerte de Franchissement Involontaire de Ligne). Verschiedenste Spurverlassensassistenten sowie das Lane Departure Warning-System (LDW) sollen bei der Spurhaltung helfen und den Fahrer bei Verlassen des Fahrbahnstreifens warnen. Das LKS-System (Lane Keeping Support-System) ist eine Erweiterung des LDW-Systems um die Funktion der aktiven Fahrerunterstützung durch selbstständige Korrektur vor dem Verlassen des Fahrstreifens bzw. durch einen gezielten Lenkeingriff [64, 2009c].

Die Problematik bei Systemen, die auf der Grundlage einer Fahrlinienmarkierungserkennung arbeiten, besteht darin, dass durch Verschmutzungen, Schnee, Laub oder bauliche Veränderungen eine Erkennung der Fahrbahnmarkierung nicht möglich ist. Citroen verbaut zum Beispiel die Infrarotsensoren unter der hinteren und vorderen Stoßstange, was zu

Problemen bei Verschmutzung und zu einer sehr späten Erkennung bzw. auch zu Vieldeutigkeit in Baustellenbereichen bei mehreren Markierungen führen kann.

Dazu kommen noch unterschiedliche Fahrbahnmarkierung und Markierungen von Ausfahrten o.Ä. in den unterschiedlichen Ländern. Natürlich können auch Probleme im Zusammenhang mit reflektierenden Oberflächen auftreten. Bei tiefem Sonnenstand, Regen oder in der Nacht, durch Reduzierung der Kontrastschwellen und die Berücksichtigung der Geometrie und Periodizität von Markierungen kann das Entstehen eines geringeren Kontrasts kompensiert werden [64, 2009c].

Weitere Systeme arbeiten mit der Auswertung des Fahrstiles bzw. des Wachheitsgrades des Fahrzeuglenkers, durch Überwachung der Fahrzeugposition in der Fahrspur (Drive alert von Ford). Bei Anzeichen von Müdigkeit wird der Fahrer durch einen akustischen Ton gewarnt [1].

Systeme, die den Fahrer bei Sichtverhältnissen in der Nacht unterstützen sollen, basieren auf Wärmebildkameras, die Wärmestrahlungen von Gegenständen erfassen und daraus ein Schwarzweißbild erzeugen, wie das System BMW Night Vision. Der Mercedes Nachtsichtassistent erfasst hingegen auch Licht im Infrarotbereich und arbeitet mit einer Schwarzweißkamera [19, 2011a].

Es gibt auch zahlreiche Systeme, die den Fahrzeuglenker in Bezug auf Vitalparameter, Herzaktivität oder Ähnliches überprüfen. Exemplarisch sei hier ein im Autositz integriertes kapazitives Elektrokardiogramm-Messsystem genannt, das die Herzaktivität des Fahrers überprüft und durch Fahrerbeobachtungen eine Veränderung des Gesundheitszustandes erkennen kann [29, 2011d].

Eine weitere Möglichkeit die Herzfrequenz zu überprüfen und additiv auch die Sauerstoffsättigung und Hautwiderstandsänderungen zu verfolgen, wurde durch ein Demonstrationssystem an der TU München gezeigt. Basierend auf Sensoren am Lenkrad werden hier sämtliche Vitalparameter des Fahrers überprüft [49, 2011g].

Obwohl die angeführten Systeme den Fahrer bei der Spurhaltung unterstützen bzw. ihn bei Abkommen von der Fahrbahn durch unterschiedliche Signale warnen, bleibt das Problem, dass nicht alle Fahrzeuge mit solchen Systemen ausgestattet sind. Diese findet man vorzugsweise nur in Mittel- oder Oberklassewagen oder sie befinden sich wie das kapazitive Elektrokardiogramm-Messsystem teilweise auch noch nicht im Serieneinsatz [5], [29, 2011d].

3.1.2.2 Fahrzeugunabhängige Maßnahmen

Zu den Maßnahmen, die infrastrukturseitig getroffen werden können und somit unabhängig vom Fahrzeug und deren Fahrzeugklasse funktionieren, gehören sowohl die Leitschiene als auch die Betonleitwand (Abbildung 7), Stahlseilsicherungen (Abbildung 8) und die Rumble Strips, die in Kapitel 0 näher behandelt werden. Die Leitschiene bzw. Betonleitwand und auch die Stahlseilsicherung vermeidet nicht das Abkommen von der Straße sondern die Interaktion (Kollision) mit den eventuell seitlich vorhandenen Objekten. Im Gegensatz dazu sollen Rumble Strips ein Abkommen von der Straße gänzlich verhindern.



Abbildung 7: Leitschiene [13], Betonleitwand [6]

Die in Abbildung 8 gezeigte Stahlseilsicherung wird auf schwedischen Landesstraßen verwendet um Gegenverkehrsunfälle zu vermindern und dem Ziel Null Verkehrstote im Zusammenhang mit dem 1997 beschlossenen Projekt „Vision Zero“ näher zu kommen [58].



Abbildung 8: Stahlseilsicherung auf schwedischen Landesstraßen [58]

3.2 Rumble Strips

Rumble Strips, zu Deutsch Rüttelstreifen/Rüttelmarkierungen/Rumpelmarkierungen werden wie Eingangs schon erwähnt auch ATP Audio Tactile Roadmarkings genannt und sollen ein ungewolltes Abkommen von Fahrzeugen von der Fahrbahn verhindern.

3.2.1 Definition

Lerner [47, 2009b] definiert Rumble Strips als in den Straßenbelag eingelassene oder eingefräste Markierung am Fahrbahnrand, welche durch haptische¹ und akustische Signale den Fahrzeuglenker darauf aufmerksam machen sollen, dass er von der Fahrbahn abkommt.

¹ Haptische Wahrnehmung [griech. *haptikos* "greifbar"] Sinneswahrnehmung der Lebewesen auf mechanische Reize. Dazu gehört der Tastsinn, Reaktion auf Temperatur, Vibration und Schmerz. Beim Menschen geschieht die haptische Wahrnehmung über die Haut.

Quelle: http://www.science-at-home.de/lexikon/lexikon_det_00080602000011.php

Im NCHRP National Cooperative Highway Research Programm [45, 2010b] werden Rumble Strips als erhobene oder gerillte Muster am Pannestreifen einer Fahrspur bezeichnet, sie sollen den Autofahrer beim Überfahren mit den Rädern durch Erzeugen eines Geräusches bzw. einer haptischen Vibration warnen. Diese Vibrationen sind durch den Autositz, die Pedale und das Lenkrad fühlbar und können übermüdete und unaufmerksame Fahrer vor dem Verlassen der Fahrbahn hindern.

Zusammengefasst kann man sagen, dass Rumble Strips Erhöhungen und Vertiefungen im Straßenbelag sind, die beim Überfahren mit dem Fahrzeug zu Vibrationen und Lärm führen und den Fahrer zu erhöhter Aufmerksamkeit animieren. Sie können je nach Höhe, Form und Breite sowie auch Länge variieren.

3.2.2 Ausführungen von Rumble Strips

Rumble Strips können grob in zwei Ausführungsformen unterteilt werden. Einerseits gibt es die Variante der längs zur Fahrbahn verlaufenden und andererseits die der quer zur Fahrbahn verlaufenden Rumble Strips.

Längs der Fahrbahn verlaufen am Pannestreifen bzw. außerhalb der Sperrlinie die SRS (Shoulder Rumble Strips) und auf der Sperrlinie, also direkt neben der Fahrspur die sogenannten Edge Line Rumble Strips (Abbildung 9). Zum Unterschied zu den Edge Line Rumble Strips befindet sich bei den SRS zwischen der Fahrbahnbegrenzungslinie und dem Rüttelstreifen ein gewisser Abstand [32].

SRS können Abkommensunfälle um bis zu 70 % verringern und das Abkommen von der Straße verhindern [26, 2009a].



Abbildung 9: Shoulder Rumble Strip [14], Edge Line Rumble Strip [8]

CLRS (Centerline Rumble Strips) (Abbildung 10) haben die primäre Aufgabe das ungewollte Überqueren der Mittellinie zweier Fahrbahnen mit Gegenverkehr und somit das Befahren der Gegenfahrbahn zu verhindern und so einem Verlassen der Fahrspur und einer Kollision mit dem entgegengerichteten Verkehr entgegenzuwirken [30, 2005b].

In Österreich ist diese Form der Rumble Strips häufig in Tunnelabschnitten mit Gegenverkehrsbereich zu finden, um vor allem Frontalkollisionen zu verhindern.

Midlane Rumble Strips (Abbildung 10) wurden nur prinzipiell diskutiert. Eine tatsächliche Anbringung auf Versuchsstrecken ist nicht bekannt. Sie verlaufen in der Fahrbahnmitte und sollen in erster Linie den Fahrer beim Halten der Spur unterstützen. Theoretisch würden sie sich auch positiv auf die Verringerung von Abkommensunfällen auswirken. Midlane Rumble Strips wären eine sehr platzsparende Alternative für Straßenabschnitte ohne Pannestreifen oder bei geringem Platzangebot am Rand des Fahrstreifens und könnten statt Shoulder Rumble Strips verwendet werden. Jedoch ist ein erhöhtes Unfallrisiko für Zweiradfahrer wie beispielsweise Motorradfahrer nicht außer Acht zulassen [26, 2009a].



Abbildung 10: Centerline Rumble Strip [7], Midlane Rumble Strip[26, 2009a]

Zu den quer zu Fahrbahn verlaufenden Rumble Strips gehören die Transverse Rumble Strips. Diese werden über die gesamte Breite der Fahrspur angebracht. Man findet diese Art von Rumble Strips hauptsächlich unmittelbar vor Baustellen, Kreuzungen oder Kurven. Sie dienen dazu, den Fahrer auf eine Änderung des Fahrbahnzustandes bzw. auf eine Gefahr hinzuweisen und erzielen die Wirkung einer erheblichen Geschwindigkeitsänderung bzw. Geschwindigkeitsanpassung [26, 2009a].



Abbildung 11: Transverse Rumble Strips [17]

3.2.3 Anbringung

Die Anbringung von Rumble Strips kann auf diverse Arten erfolgen. Die Geräusche und Vibrationen sind je nach Art unterschiedlich und ändern sich natürlich auch je nach Abstand, Breite und Tiefe bzw. Höhe.

- Einfräsen

Am häufigsten werden Rumble Strips nachträglich in den kalten Asphalt eingefräst (siehe Abbildung 12). Schon in den 1980er Jahren kamen sie in Kalifornien zu Anwendung und wurden in weiterer Folge aufgrund ihres größeren Alarmierungspotentials gegenüber der eingewalzten Variante favorisiert. Werden die Fahrbahnmarkierungen nachträglich auf die gefrästen Rüttelstreifen platziert kommt es zu einer deutlicheren Kennzeichnung und damit besseren Sichtbarkeit auch in der Nacht oder bei nasser Fahrbahn. Außerdem hat die in den Vertiefungen aufgebrachte Markierung eine deutlich längere Lebensdauer als andere Fahrbahnmarkierungen. Abgesehen davon werden die Vibrationen und der Geräuschpegel im Fahrzeuginneren durch die eingefräste Variante erhöht [33]. Es handelt sich hierbei auch um eine sehr kostengünstige Möglichkeit Rumble Strips zu installieren [36, 2005c].



Abbildung 12: Einfräsen von Rumble Strips [10], [11]

- Einwalzen[33]

Weiters besteht die Möglichkeit Rumble Strips in den warmen Asphalt mittels einer Walze einzuwalzen (Abbildung 13), was zu einem weniger auffälligen Geräuschpegel und einer geringeren Schwingungsanregung als bei den eingefrästen Markierungen führt. Nachteilig sei hier auch erwähnt, dass solch eine Anbringung nur während der Asphaltierungsarbeiten durchgeführt werden kann und eine nachträgliche Anbringung nicht möglich ist.

Die Schwierigkeiten bei dieser Form von Rumble Strips bestehen sowohl darin, den geeigneten Temperaturbereich für das Einwalzen zu finden, als auch die optimale Asphaltverdichtung zu gewährleisten. Zu hohe Asphalttemperaturen können zu Problemen mit der Tiefe und Form der Vertiefungen führen, unzureichende Asphaltverdichtung hingegen zu einem vorzeitigen Verfall des Fahrbahnbelages.



Abbildung 13: Eingewalzte Rumble Strips [12]

- Eingeformte Rumble Strips [35, 2003a]

Eine weitere Möglichkeit ist das Einformen in den heißen Asphalt. Hier werden abgerundete oder v-förmige Erhebungen in den warmen Asphalt aufgedrückt.

Die Wirksamkeit eingeformter Rumble Strips wurde nicht untersucht, da sie generell sehr schmal ausfallen und daher sehr anfällig für Verschleißerscheinungen sind.



Abbildung 14: Einformen von Rumble Strips [9]

- Transportable Rumble Strips

Die tragbaren Rumble Strips haben den Vorteil, dass sie nicht nur schnell und einfach angebracht, sondern bei Bedarf auch sehr schnell wieder entfernt werden können. Was vor allem im Bereich von Baustellen eine sehr kostengünstige und einfache Anwendung garantiert.



Abbildung 15: Transportable Rumble Strips [16], [15]

Jedoch können die beiden zuletzt genannten Arten von Rumble Strips im österreichischen hochrangigen Straßennetz nicht genutzt bzw. nur beschränkt eingesetzt werden, da sie aufgrund der Erhebungen über das Niveau der Fahrbahn hinaus, den Einsatz eines Schneepfluges nicht standhalten würden.

3.2.4 Problematik im Zusammenhang mit Rumble Strips

Die Probleme, die im Zuge der Anwendungen von Rumble Strips auftreten sind zum Beispiel das steigende Unfallrisiko von Motor- und Fahrrädern oder dass gewisse Arten von Rumble Strips für Regionen wegen der Schneeräumung nicht geeignet sind und dabei einer erhöhten Abnutzung ausgesetzt werden [31, 2006a].

Die Problematik im Zusammenhang mit einer geringeren Lebensdauer des Straßenbelages konnte widerlegt werden. Der Frost-Tau Zyklus scheint keinen maßgeblichen Einfluss auf die schnellere Alterung des Belages zu haben. Da durch die beim Überfahren mit dem Reifen entstehenden Vibrationen, der Schmutz, das Eis oder Wasser und andere Ablagerungen aus den Rillen heraus befördert wird, haben Rumble Strips eine selbstreinigende Wirkung [22, 2005a].

Wie bereits erwähnt sind RS-Installationen eine Geräuschquelle die nicht zu unterschätzen ist. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass es einer Steigerung von 6-15 dB gegenüber den üblichen Hintergrundgeräuschen bedarf, um den Fahrer effektiv wach zu rütteln. Die Lärmbelastung, die von den Rumble Strips ausgeht, ist daher ein weiteres, vor allem für Anrainer, erhebliches Problem [45, 2010b].

3.2.5 Zielgruppen

Es stellt sich unweigerlich die Frage, welche Art von Abkommensunfällen können Shoulder Rumble Strips verhindern und welche Lenker sind betroffen. SRS befinden sich wie schon erwähnt am rechten Fahrbahnrand und sollen dementsprechend das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts verhindern. Zwischen 2002 und 2010 verunglückten jährlich im Durchschnitt 35 Personen bei einem Abkommensunfall nach rechts. Dies ist bezogen darauf, wie viele Menschen jährlich insgesamt bei Alleinunfällen sterben (43 tödlich Verletzte jährlich), ein extrem hoher Anteil (82,1 %)[24].

Mit der Anbringung von SRS sollen vor allem jene Lenker angesprochen werden, welche übermüdet oder unaufmerksam am Steuer ihres Fahrzeuges sitzen und im Begriff sind, die Straße auf die rechte Seite zu verlassen. Allgemein sollen sie dazu dienen die Aufmerksamkeit zu steigern und einen Unfall durch Sekundenschlaf o.Ä. zu verhindern.

3.3 Versuchsstrecken zur Analyse von Shoulder Rumble Strips

Im Folgenden sollen unterschiedliche Straßenabschnitte beschrieben werden, auf welchen durch eine Vorher-Nachher Untersuchung von Rumble Strips deren positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen beziffert wird. Die verschiedenen in den USA und Deutschland existierenden Versuchsstrecken von RS, werden untergliedert in Standardinstallationen und solche Installationen, die einen seitlichen Versatz der RS im Bezug auf die Fahrbahnbegrenzungslinien aufweisen.

3.3.1 Installationen von SRS mit Seitlicher Variation

A 24 Hamburg Berlin

2003 wurde zwischen Hamburg und Berlin eine 36 km lange Versuchstrecke mit Rumble Strips ausgestattet. Als Ergebnis konnte eine Reduktion der Abkommensunfälle nach rechts um 43 Prozent vermerkt werden. Die Unfälle aufgrund anderer Fehler von Fahrzeuglenkern wie zum Beispiel Unachtsamkeit konnte um 34 Prozent gesenkt werden. Es konnte vor allem das Potenzial der Rumble Strips bei der Reduktion von schweren Unfällen nachgewiesen werden. Weiters wurde bei einem Vorher-Nachher-Vergleich ein Rückgang der getöteten und schwerverletzten Fahrzeuglenker von 15 Prozent verzeichnet [47, 2009b].

Minnesota

Zwischen 1991 und 1998 untersuchte das Minnesota Department of Transportation (MnDOT) 23 Abschnitte mit einer Länge von 262 km und wertete die Daten in einer Vorher-Nachher-Analyse aus.

Ebenso wie von den 23 Abschnitten mit Shoulder Rumble Strips wurden die Daten von 11 Vergleichsabschnitten in einer Länge von 83 Meilen (134 km) gesammelt.

Durch die Analyse und dem Vergleich mit den Teilabschnitten ohne Rumble Strips konnte eine Reduzierung der SVROR (single-vehicle run-off-road) Unfälle um 51 Prozent verzeichnet werden [26, 2009a].

Missouri

Das Missouri Department of Transportation (MoDOT) installierte 1991 erstmals Rumble Strips. Die Shoulder Rumble Strips wurden auf Autobahnen zur Verringerung von Run-off-the-road (ROR) Unfällen benutzt. Da in Missouri auch viele Radfahrer den Streifen, auf dem

die Rumble Strips angebracht sind, benutzen, wurden zusätzlich noch zwei spezifische Fragen mit diesem Projekt angesprochen.

Einerseits wurde diskutiert, ob der Abstand der Rumble Strips von 914,4 mm zur Fahrbahnbegrenzungslinie verengt werden sollte, um die Radfahrer dazu zu bringen auf der rechten Seite des Rumble Strips zu fahren. Andererseits wurde im Zusammenhang mit dieser Thematik die Breite der Rumble Strips erörtert, um diese in Hinsicht auf den Abstand zur Fahrbahnbegrenzungslinie optional zu verschmälern. Um die Bedürfnisse sowohl von Autofahrern als auch Radfahrern zur berücksichtigen, wurden in dem Bericht der MoDOT eine Reihe von Kombinations- und Gestaltungsmöglichkeiten von SRS geprüft [35, 2003a].

Connecticut

In den Jahren zwischen 1996 und 2000 installierte die Connecticut Department of Transportation (ConnDOT) Rumble Strips an 11 Standorten. Mit einer Länge von 1640 km und einem anfänglichen seitlichen Abstand von den eingefrästen Rumble Strips zur Fahrbahnmarkierung von 152 mm musste dieser nach Beschwerden von Anrainern auf 305 mm erweitert werden.

Es wurden drei Jahre vor (1993-1995) und drei Jahre nach (1996-1998) der Installation die Wirkung u.Ä. untersucht. Daraufhin ergab eine Vorher-Nachher-Analyse der Unfalldaten der 11 Standorte mit Rumble Strips gegenüber 11 Vergleichsstrecken ohne RS eine Reduktion von 32 Prozent der Alleinunfälle [26, 2009a].

Michigan

Morena (1996-2001) untersuchte die Wirksamkeit verschiedener Rumble Strips, darunter befanden sich gefräste, gewalzte und geformte RS-Installationen. Auf einer Länge von 1548 km wurden 305 mm von der Fahrbahnmarkierung entfernt Rumble Strips angebracht.

Daraufhin konnte eine 38- bis 39-prozentige Reduzierung der SVROR-Unfälle von eingefrästen Rumble Strips und eine Verringerung um 25 % für geformte und gewalzte Rumble Strips verzeichnet werden [26, 2009a].

Montana

Marvin und Clark sammelten die Daten der Teststrecken in Montana drei Jahre vor (1992-1994) und drei Jahre nach (1994-1997) der Anbringung der Rumble Strips. Die Teststrecke zog sich über eine Länge von 623 km der Interstate und 343 km von Fahrbahnen mit schmälere Pannestreifen als auf der Interstate. Der Abstand von den sowohl in Beton geformten als auch von den in Asphalt gefrästen kontinuierlich verlaufenden Rumble-Strip-mustern zur Fahrbahnmarkierung beträgt 150 mm. Aufgrund der Vorher-Nachher-Analyse konnte eine Verringerung der Abkommensunfälle im Dunkeln verzeichnet werden. Im Zusammenhang mit den Rumble Strips auf dem Interstate-System konnte eine Reduzierung der Unfälle von Fahrern im Alter unter 21 und über 50 Jahren herausgefunden werden [26, 2009a].

Utah

Im Vergleich von Unfalldaten zeigten die Erfahrungen entlang den Interstate Highways in Utah einen signifikanten Unterschied zwischen Installationen von Rumble Strips auf Beton und Asphaltfahrbahnen.

Es wurden einerseits in Asphalt gewalzte Muster auf einer Länge von 179 km in einem Abstand zur Fahrbahnmarkierung von 305 mm angebracht und andererseits auf einer Länge von 121 km RS-Muster in einem Abstand von 152 bis zu 600 mm von der Fahrbahnmarkierung in den Beton eingeformt. Insgesamt wurden 41 Segmente mit Rumble Strips ausgestattet, was einer Länge von 186 miles (299 km) entspricht. Hingegen wurden 35 Segmente (110 miles (177 km)) ohne Rumble Strips belassen.

Die Auswertung, die die Jahre 1990 bis 1992 berücksichtigte, ergab ein um 33,4 Prozent erhöhtes Abkommensunfallrisiko bei den Segmenten ohne Rumble Strips sowie eine SVROR Crash Rate, die um 26,9 Prozent über der mit Rumble Strips versehenen Segmente lag. Im Vergleich zwischen Rumble Strips in Beton und Asphalt konnten um 16,9 Prozent höhere Unfallzahlen bei Beton als bei Asphalt verzeichnet werden. Ebenso lag die Unfallrate für SVROR für die Installationen auf der Betondecke um 23,8 Prozent höher [26, 2009a].

3.3.2 Standardinstallation

Baden-Württemberg

Auf der B 313 zwischen Trochtelfingen und Haid wurde 2010 eine 2,8 km lange Versuchsstrecke auf der Alb installiert. Diese Teilstrecke wurde aufgrund der Tatsache ausgewählt, dass es bei dieser sehr kurvenreichen und durchaus nicht eintönigen 4,5 km langen Strecke zu etlichen Unfällen gekommen ist. Genauer gesagt waren dies zwischen 2005 und 2007 fünf von zwölf Unfällen, in denen es zu einem Abkommensunfall nach rechts gekommen war. Das Ergebnis bezüglich der Effektivität der Installation von Rumble Strips soll nach drei Jahren vorliegen. Weiters ist im Gebiet Baden-Württemberg noch eine 3 km lang Installation auf der B33 zwischen St. Georgen und Triberg in Form von CRS (Centerline Rumble Strips) in Planung [55].

Kansas Highways

Das Kansas Department of Transportation (KDOT) hat sich in Kooperation mit der Kansas State University (KSU) mit der Testinstallation von Centerline Rumble Strips in mehreren US- und kanadischen Provinzen und mit einer Befragung zu deren Vorteile für die Sicherheit befasst. Als Schlussfolgerung dieses Berichtes konnte die Anbringung von CLRS als eine praktikable und kostengünstige Sicherheitsvorrichtung zur Reduzierung von Cross-Over Unfällen festgehalten werden. Im Zuge dieses Projektes wurden einige Muster von Rumble Strips unterschiedlicher Breiten und Abstände untersucht. Nach einer Auswahl der effektivsten Muster wurden auf etwa 15 Meilen (24,14 km) zwei unterschiedliche Muster von CLRS auf der Mittellinie einer zweispurigen Bundesstraße installiert. Dabei handelte es sich einmal um ein kontinuierliches Muster mit 12 Zoll (30,48 cm) Abstand zwischen den gefrästen Streifen und einmal um ein alternierendes Muster mit den abwechselnden

Abständen von 12 Zoll (30.48 cm) und 24 Zoll (60.96 cm). Beide Muster hatten eine Breite (senkrecht zur Fahrbahn) von 12 Zoll, eine Länge (parallel zu Fahrbahn) von 6,5 Zoll (16.51 cm) und eine Tiefe von 0,5 Zoll (1.27 cm).

36 % aller Probanden, die über die unterschiedlichen Muster gefahren sind, fanden, dass beide Muster laut genug waren, um deren Aufmerksamkeit zu erhöhen, hingegen befanden 34 % aller Befragten das kontinuierliche Muster als das dafür besser geeignetste und 9 % entschieden sich für das alternierende Muster. Auch bei der Frage, welches der beiden Muster eine bessere Vibration auf das Lenkrad überträgt, stimmten 36 % für das kontinuierliche, 10 % für das alternierende und 34% fanden, dass beide ihren Zweck gleich erfüllten. Bei der Empfehlung für eine zukünftige Installation eines der Muster entschied sich die Mehrheit für das kontinuierliche Muster. Die Kosten beliefen sich zwischen 0,26 \$ und 0,85 \$ pro Laufmeter. (Dankert, 2001). Die Gründe für die weite Spanne an Kosten waren einerseits in der unterschiedlichen Fräsgeschwindigkeit der verschiedenen Muster und den damit verbundenen Abständen zu finden. Andererseits waren die Art der Fahrbahnoberfläche und auch das unterschiedlich große Verkehrsaufkommen ein wesentlicher Faktor [31, 2006a].

Washington

WS DOT installierte die ersten Shoulder Rumble Strips im Jahre 1992 auf einer 44 Meilen (70,81 km) langen Teststrecke der Interstate 82. Die Auswertung von Abkommensunfällen vor und nach der Installation der Rumble Strips ergab eine 40 % Verminderung der Unfälle durch Abkommen von der Straße. Die Ergebnisse der Installationen von Rumble Strips auf der Interstate 82 führten zu weiteren Anwendungen auf mehreren anderen Straßenabschnitten. Auch hier konnte eine Vorher-Nachher-Untersuchung für Straßenabschnitte der Interstate 5, der Interstate 90 und US 395 eine Reduktion von Abkommensunfällen von 35 % [63] festgestellt werden.

Arizona

1973 untersuchte die Arizona DOT die Wirksamkeit von Shoulder Rumble Strips mittels Analyse von Unfallaufzeichnungen der Jahre 1970 bis 1972 entlang der Teilstrecken der Interstate 8 und 10. Diese Studie ergab eine um 61 Prozent geringere Unfallrate an SVROR Unfällen auf Versuchstrecken mit SRS gegenüber Teilstücken ohne Rumble Strips. Eine zusätzliche Analyse von Unfalldaten in den Jahren 1973 bis 1976 ergaben 80 % weniger SVROR pro Meile und auch 80 % weniger SVROR Unfälle pro MVMT (Million vehicle miles travelled) [26, 2009a].

California

In den 1970er Jahren hat die Californien DOT (Caltrans) die Installation von Rumble Strips in einem Forschungsvorhaben [26, 2009a] realisiert. Insgesamt wurden vier Standorte einer Vorher-Nachher-Analyse unterzogen, an denen 57 RS-Muster auf Ton- und Schwingungsverhalten überprüft wurden.

Die erste Test-Anlage umfasste eine 60 km lange Strecke mit einem 2,4m breiten Pannestreifen, auf dem die Rumble Strips aufgebracht wurden.

Die zweite Hälfte der Installationen erfolgte Anfang der 1980er Jahre in der Mojave Wüste auf der Interstate 15 und 40 auf 255 Straßenkilometern.

Eine einjährige Vorher-Nachher-Studie ergab eine Reduktion der SVROR um 63 Prozent durch die Installation von SRS [26, 2009a].

Florida

In Florida brachte die Installation von eingeformten SRS an einem 31 km langen Abschnitt auf der Autobahn nach Key West (US 1) einen Rückgang von 19,5 auf 11,5 Unfälle pro Jahr durch Abkommen von der Straße [26, 2009a].

Maine

Maine DOT stattete zwischen 1994 und 1995 eine 37 Meilen (59 km) langen Abschnitt mit eingefrästen Rumble Strips aus. Es konnte eine 50-prozentige Reduktion der schlafbezogenen Unfälle durch die Anbringung der kontinuierlichen Shoulder Rumble Strips an den ländlichen Autobahnen erzielt werden. Hingegen konnte keine aussagekräftige Schlussfolgerung über die Installationen von am rechten Fahrbahnrand angebrachten Rumble Strips auf dem Interstate Highway Maines gemacht werden [26, 2009a].

Nevada

370 Straßenabschnitte auf Autobahnen, US-Routen und Staats-Routen wurden von 1995 bis 2003 analysiert. Eine Vorher-Nachher-Analyse der kontinuierlichen Rüttelstreifen ergab eine Verringerung der Häufigkeit von SVROR. Weitere Angaben wurden im Bezug auf die Häufigkeit jedoch nicht gemacht [26, 2009a].

New York

Das New York State Department of Transportation (NYSDOT) installierte 1993 rund 91 miles (148 km), 1725 miles (2777 km) im Jahr 1995 und 3150 miles (5017 km) 1998 von Shoulder Rumble Strips. 1996 wurden von der New York State Thruway entlang 1945 miles (3131 km) Rumble Strips installiert. Von beiden Agenturen wurde eine Vorher-Nachher-Analyse durchgeführt in der die gesammelten Daten die Sicherheit der Wirksamkeit der Rumble Strips widerspiegeln sollte. Als Ergebnis konnte eine Reduzierung von mindestens 65 bis 70 % der SVROR vorgestellt werden [26, 2009a].

Pennsylvania

Die Pennsylvania Turnpike Commission entwickelte zwischen 1984 und 1986 das Sonic Nap Alert Muster oder SNAP. Nach dem Test von fünf verschiedenen Mustern wurde ein Standard-RS-Muster festgelegt. Gestützt auf anfänglichen ersten Erfahrungen entlang von etwa 7 miles (11 km) wurden 1992 weitere 31 miles (50 km) mit Rumble Strips ausgestattet. Eine Bewertung der Teststrecke ein Jahr nach Installation konnte die Wirksamkeit von SNAP bestätigen. Eine Folgestudie von Hickey ergab eine Reduzierung der SVROR von 65 Prozent nach einer Korrektur der Studie, durch Ausschließen von Unfällen, die z.B. durch das Wetter, einen technischen Defekt, ein Tier, eine Baustelle oder Ähnliches verursacht wurden [26, 2009a].

Tennessee

Das Tennessee Department of Transportation (TDOT) begann 2001 ein landesweites Projekt zur Installation von Rumble Strips am Pannestreifen entlang von 315 miles (507 km). Die Studie ergab eine 31-prozentige Reduktion der SVROR Unfälle auf den Abschnitten des Interstate Systems [26, 2009a].

Virginia

Chen et al. führte eine 3-jährige Vorher-Nachher-Bewertung auf einer Versuchstrecke in Virginia durch, in der kontinuierliche SRS auf Autobahnen installiert wurden. Die Unfalldaten von Juni 1994 bis Oktober 2000 wurden aus der von Virginia DOT verwalteten Highway Traffic Records Inventory System (HTRIS) Datenbank bezogen. Verglichen wurden neun mit SRS ausgestattete und neun unbehandelte Versuchsstrecken in einem Bereich von insgesamt 285 Meilen (459 km).

Dabei konnte eine Verringerung von 51,5 Prozent der SVROR Unfälle auf ländlichen Autobahnen in Virginia verzeichnet werden [26, 2009a].

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten Versuchsstrecken von Rumble Strips zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2 zeigt die RS mit einer seitlichen Variation des Abstandes zur Fahrbahnbegrenzungslinie. Die Abstände zur Fahrbahnbegrenzungslinie betragen zwischen 150 und 900 mm wobei es am häufigsten zu einer Installation im Abstand von 152 oder 305 mm kam. Die Verringerung von Abkommensunfällen belief sich dabei auf 25 bis 51 Prozent. Eine 51 %ige Reduzierung von Abkommensunfällen konnte die Testinstallation in Minnesota aufweisen, wo eine Studie mit Hilfe von Vergleichsstrecken durchgeführt wurde. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es bei den Prozentangaben von der Verringerung der Abkommensunfällen einmal zu einer Vorher- Nachherstudie auf der selben Vergleichsstrecke gekommen ist und im anderen Fall zwei verschiedene Streckenabschnitte, einmal mit und einmal ohne RS-Markierung miteinander verglichen wurden. Die größte Reduzierung, die im Zuge einer Vorher /Nachherstudie ermittelt wurde und einen Abstand der RS- Markierungen

von der Fahrbahnbegrenzungslinie aufwies, konnte auf der Strecke Hamburg-Berlin festgestellt werden.

Bei den Standardinstallationen, welche in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt wurden, wurden die SRS unmittelbar auf der Fahrbahnbegrenzungslinie angebracht. Auffallend dabei ist, dass die Verringerung an Abkommensunfällen nach rechts hierbei zwischen 31 und 70 % liegt. Das heißt, dass um fast 20 % mehr Unfälle, durch die Installation direkt auf der Fahrbahnbegrenzungslinie, vermieden werden konnten.

Dabei ist der Vorher-Nachhervergleich aussagekräftiger, da zwei unterschiedliche Streckenverläufe, im Falle eines Vergleichs mit und ohne RS schwierig miteinander zu vergleichen sind. Die dabei auftretenden Unterschiede im Streckenverlauf der verschiedenen Strecken werden einen gewissen Einfluss auf das Endergebnis haben.

Nichts desto trotz spiegelt das Ergebnis der Studien und Vergleichsstrecken von Rumble Strips Installationen aus New York mit 60 - 70 % Verringerung von Abkommensunfällen und das Ergebnis aus Pennsylvania mit einer 65%igen Verringerung, das Potential von Rumble Strips Markierungen wieder.

Da es sich bei den in den USA angegebenen Versuchsstrecken in der Regel um Installationen auf Autobahnen (Interstate Highways) handelt ist auch noch darauf hinzuweisen, dass die Pannestreifenbreite dort nicht unter 3 m (10 feet) betragen darf. Auf Straßen mit erhöhtem LKW-Anteil muss die Breite des Pannestreifens mindestens 3,6 m (12 feet) betragen. Es können daher die Ergebnisse hier nicht direkt mit den Versuchsstrecken in Deutschland verglichen werden.

Die Tatsache, dass ein breiterer Pannestreifen zur Verfügung steht, ergibt einen längeren, für ein Fahrmanöver oder Ausweichmanöver notwendigen Weg und damit mehr Zeit um ein Abkommen von der Straße zu verhindern.

Tabelle 2: Rumble Strips Installationen mit Seitlicher Variation des Abstandes zur Fahrbahnbegrenzungslinie in den USA und Deutschland

Studie	Länge [km]	Art	Abstand zur Fahrbahnbegrenzungslinie	Straßenart	Geschwindigkeitslimit	Reduzierung der Abkommensunfälle [%]		Kosten
						Vorher/Nachherstudie	Vergleichsstrecken mit / ohne RS	
Hamburg- Berlin	36	SRS gefräst	900 mm	Autobahn	130 km/h	43 %	k.A.	170.000€
Minnesota	262 mit RS 134 ohne	SRS gefräst	152 mm 305 mm	k.A.	89-113 km/h	k.A.	51 %	k.A.
Missouri	3540.56	SRS gefräst	152 mm	Autobahn/ Bundesstr.	k.A.	k.A.	k.A.	\$ 3.733.027
Connecticut	1640	SRS gefräst	305 mm				32 %	
Michigan	1584	gefräst geformt	305 mm	k.A.	k.A.	39 % 25 %	k.A.	k.A.
Montana	975	k.A.	150 mm	Autobahn	k.A.	verringert	k.A.	k.A.
Utah	299 mit RS 177 ohne	SRS	305mm; 152mm, 600 mm	Autobahn	k.A.	k.A.	27 %	k.A.

Tabelle 3: Standardinstallationen in den USA und Deutschland

Studie	Länge [km]	Art	Straßenart	Geschwindigkeitslimit	Reduzierung der Abkommensunfälle [%]		Kosten
					Vorher/Nachherstudie	Vergleichsstrecken mit / ohne RS	
Baden Württemberg	2,8 3	SRS gefräst CLRS gefräst	Bundesstr.	k.A.	k.A.	Ergebnis 2013	k.A.
Kansas Highways	24,14	CLRS gefräst	Bundesstr.	k.A.	k.A.	k.A.	0,26\$ - 0,85\$ pro lfm
Washington	70,81 90	SRS	Autobahn	k.A.	40 % 35 %	k.A.	k.A.
Arizona	16 mit RS 25,7 ohne	SRS	Autobahn	k.A.	k.A.	61 %	k.A.
California	60 255	SRS	Autobahn	k.A.	63 %	k.A.	k.A.
Florida	31	SRS geformt	Autobahn	k.A.	59 %	k.A.	k.A.
Maine	59	SRS gefräst	Autobahn	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Nevada	k.A.	k.A.	Autobahn	k.A.	verringert	k.A.	k.A.
New York	11. 073	SRS	k.A.	k.A.	65 % - 70 %	k.A.	k.A.
Pennsylvania	61	SRS	k.A.	k.A.	65 %	k.A.	k.A.
Tennessee	507	SRS	Autobahn	k.A.	31 %	k.A.	k.A.
Virginia	459	SRS	Autobahn	k.A.	k.A.	51,5 %	k.A.

Betrachtet man jetzt ein mögliches Unfallszenario und das Abkommen von der Straße, so steht dem Fahrzeuglenker, nachdem er die Rumble Strips überfahren hat, ein gewisser Weg zur Verfügung um den Unfall noch zu vermeiden. Dieser Weg ist wie schon erwähnt, abhängig von der Breite des Pannestreifens. Mit dem zur Verfügung stehenden Weg im Zusammenhang, steht jetzt auch die Zeit, die für eine Abwehrreaktion bzw. für eine Unfall vermeidende Reaktion notwendig ist. Diese Zeit ist aufgrund der Abhängigkeit vom Weg und der Geschwindigkeit begrenzt und beinhaltet jetzt die sogenannte Reaktionszeit und additiv noch die Zeit, die für ein Ausweichmanöver, einen Lenkvorgang o.Ä. notwendig ist. Im folgenden Kapitel wird auf die Reaktionszeit näher eingegangen und auch die Einflussparameter der Reaktionszeit werden diskutiert.

3.4 Reaktionszeit

3.4.1 Definition

Mit dem Begriff Reaktionszeit sind die Definitionen von Reaktionsschnelligkeit und Reaktionsdauer eng miteinander verknüpft [37, 1998a]. Die Reaktionsschnelligkeit ist dabei die Fähigkeit auf ein Signal in kürzest möglicher Zeit durch eine motorische Aktion zu antworten. Die Reaktionsschnelligkeit kann je nach auslösendem Reiz unterschiedlich lange dauern (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Reaktionszeiten nach Nöcker (1976) infolge unterschiedlicher Signale [37, 1998a]

Signal	Zeit [s]
optisch	0,15-0,20
akustisch	0,12-0,18
taktil	0,09-0,18

Sehr häufig wird die Reaktionszeit experimentell ermittelt. Die einfachste Variante dafür ist das Reaktionszeitexperiment. Hier wird die Testperson aufgefordert, nach Erscheinen eines bestimmten Signals eine Handlung zu setzen (z.B. das Drücken eines Knopfes). Die Zeit, die zwischen dem Signal, das optisch oder akustisch sein kann, und der daraus folgenden Reaktion wird Reaktionszeit genannt. Bei einem Erwachsenen bewegt sich diese Reaktionszeit zwischen 180 - 200 ms bei optischen Signalen und verkürzt sich bei akustischen oder taktilen Zeichen auf ungefähr 140 ms. Abhängig von der Qualität des Signals, ob laut oder leise, und dessen Tempo kann sich eine längere Reaktionszeit von bis zu 700 ms ergeben [54, 2005e].

Stehen mehrere auftretende Signale verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten gegenüber spricht man von einem Wahlreaktionszeitexperiment. Laut F.C. Donders (1869) nimmt mit den Reaktionsalternativen auch die Reaktionszeit zu. Hick (1952) und Hyman (1953) beschreiben mit ihrem Gesetz den Zusammenhang von Reaktionszeit und Reaktionsalternativen bzw. den linearen Anstieg der Zeit im Zusammenhang mit dem Logarithmus der Alternativenzahl [43, 2011e].

In der Unfallforschung und Unfallrekonstruktion wird jedoch vielfach von der Reaktionsdauer gesprochen. Die Reaktionsdauer beginnt mit einer Reaktionsaufforderung und endet mit einer daraus folgenden Handlung. Der Reaktionsanfang ist jedoch bei realen

Unfällen sehr schwer festzustellen, da es in den meisten Fällen nicht klar ist, zu welchem Zeitpunkt der Fahrzeuglenker ein vorhandenes Signal wahrgenommen und erkannt hat [41, 2007c].

Um psychologische Betrachtungen anstellen zu können, ist es von essentieller Wichtigkeit, die Reaktion bzw. Reaktionszeit zu untersuchen und zu verstehen. Die Reaktion ist das zielgerichtete Handeln einer Person auf ein vorhergegangenes Ereignis bzw. die Antwort auf eine Veränderung in der Umgebung einer Person. Die Zeit, die zwischen einer Reaktionsaufforderung und der Einleitung der darauf folgenden Antwort vergeht, wird als Reaktionszeit bezeichnet und wurde in etlichen Experimenten von unterschiedlichen Wissenschaftlern untersucht [23, 2007b].

Im Folgenden wird die Definition von Grandel näher erläutert, der die Reaktionszeit aufspaltet in eine primäre, sekundäre und tertiäre Reaktionszeit.

Tabelle 5: Reaktionszeit nach Grandel J. (1980) ; [38, 1980]

REAKTIONSZEIT		
Primäre Reaktionszeit	Sekundäre Reaktionszeit	Tertiäre Reaktionszeit
Wahrnehmungsdauer	Umsetzungszeit	Anlegezeit
Erkennungsdauer		Schwellzeit
Entscheidungsdauer		
Motorische Phase		

Primäre Reaktionszeit

Die primäre Reaktionszeit kann weiter unterteilt werden in die Wahrnehmungsdauer, die Erkennungsdauer, die Entscheidungsdauer und eine motorische Phase. Die Wahrnehmungsdauer ist also die Zeit, die zwischen dem Erscheinen eines Signals und dessen optischer Wahrnehmung vergeht. Darauf folgt die Erkennungsdauer, dies ist die Zeit, die vom Wahrnehmen bis zum Erkennen einer notwendigen Abwehrreaktion vergeht. Die Entscheidungsdauer beinhaltet die Entscheidung über die Art der Abwehrhandlung. Die motorische Phase kann zwischen 0,05 und 0,5 s dauern und beinhaltet sowohl die Reizleitung als auch die Muskelaktivierung [38, 1980].

Sekundäre Reaktionszeit

Bei der sekundären Reaktionszeit oder auch Umsetzzeit bzw. Fußumsetzdauer handelt es sich um die Zeit, die benötigt wird, um den Fuß vom Gas auf das Bremspedal zu geben (0,15 – 0,3s) [38, 1980].

Tertiäre Reaktionszeit

Anschließend folgt die tertiäre Reaktionszeit, welche in Anlegezeit und Schwellzeit unterteilt wird. Sie beinhaltet sämtliche die Bremse betreffende Zeiten, ist also sehr stark von technischen Parametern wie z.B. der Bremse bzw. Bremsanlage an sich abhängig. Bei der Anlegezeit handelt es sich um die Zeit, in der Spiele und Elastizitäten von Teilen der

Bremsanlage oder der Lenkung überwunden werden müssen (0,015-0,05s). Die Schwellzeit ist jene Zeit, die vom Anfang des Bremsdruckanstieges bis zum Erreichen des maximalen Bremsdruckes benötigt wird (0,15-0,3s).

In Abbildung 16 wird die Reaktionsdauer in eine Reaktionsphase eine Bremsphase, eine Schwellphase und Vollbremsphase unterteilt dargestellt[41, 2007c].

Die Reaktionsdauer ist die Zeit, die zwischen dem Reaktionspunkt und dem Bremsbeginn vergeht. Die Zeitspanne t_{R-B} beinhaltet die Reaktionsgrundzeit, die Zeit, die während der Umsetzung vergeht und die Ansprechzeit der Bremsanlage(siehe Abbildung 16) [41, 2007c]. Im Falle eines Ausweichmanövers kommt dazu noch die Lenkverlustzeit, die mit 0,1 s angenommen werden kann [64, 2009c].

Die Bremsschwelldauer t_{B-V} ist abhängig vom Fahrzeuglenker, aber spezifisch für jedes Fahrzeug. Nach der sogenannten Schwellphase kommt es zur Vollbremsphase [41, 2007c].

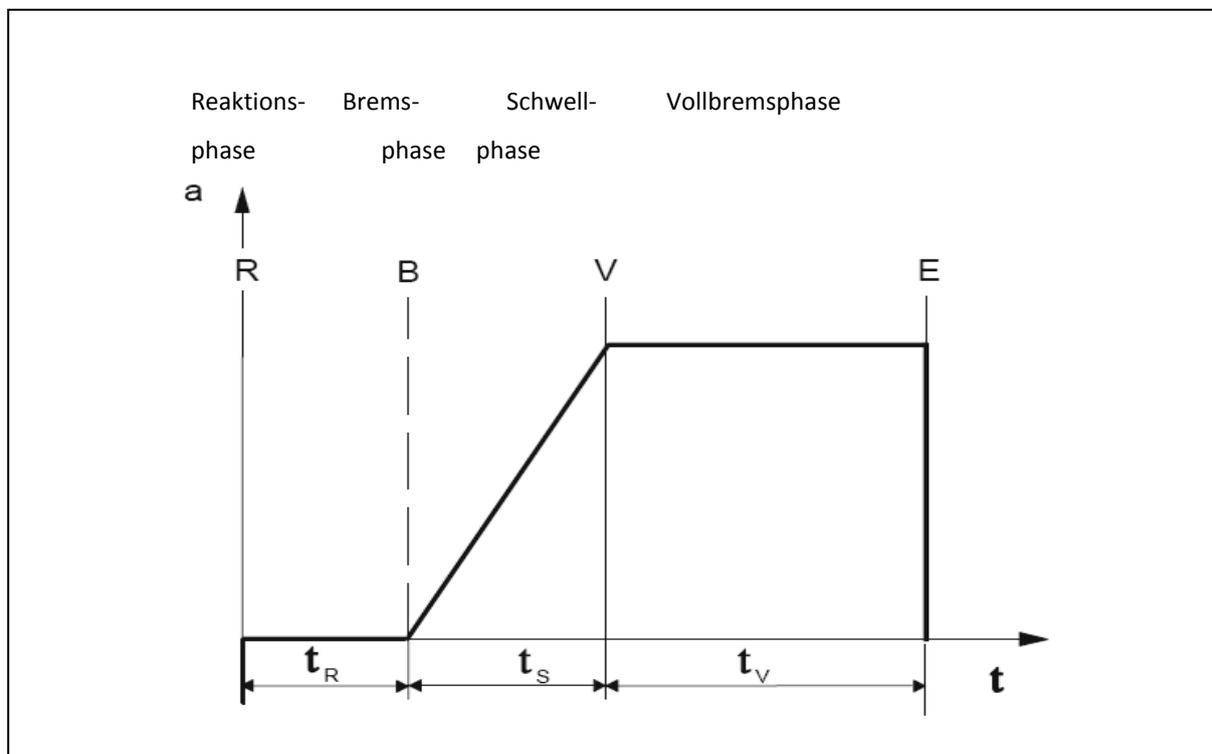


Abbildung 16: Unterteilung des Ablaufes eines Anhaltevorgangs [41, 2007c]

Für die übersichtliche Darstellung und zu Vergleichszwecken der unterschiedlichen Einflussparameter und Untersuchungsergebnisse der einzelnen Experimente und Studien, verschiedener Wissenschaftler werden die differenten Reaktionsdauern in Tabelle 6 dargelegt.

Tabelle 6: Reaktionszeiten abhängig von unterschiedlichen Einflussparametern [41, 2007c],[42], [40, 1998b], [52, 2001]

Ergebnisse	Bremsreaktionsdauer [s]		
	% - Perzentil der statistischen Reaktionsverteilung		
	2 %	50%	98%
nach Burckhardt [42]			
Im zentralen Gesichtsfeld	0,54	0,86	1,03
+ Blickzuwendung < 5°	0,86	1,34	1,58
+ Blickzuwendung > 5°	0,95	1,47	1,73
unter Alkoholeinfluss [52, 2001]			
0,0 ‰- 0,4 ‰ BAK	0,56	0,84	1,13
0,4 ‰- 0,8 ‰	0,60	0,84	1,29
0,8 ‰- 1,2 ‰	0,62	0,98	1,35
1,2 ‰- 1,6 ‰	0,63	1,11	1,72
Empfehlung nach 20. Verkehrsgerichtstag[40, 1998b]			
Im zentralen Gesichtsfeld	0,58	0,86	0,99
+ Blickzuwendung < 5°	1,02	1,34	1,48
+ Blickzuwendung > 5°	1,11	1,47	1,62

BAK Blutalkoholkonzentration

3.4.2 Einflussparameter

Die unterschiedlichen Reaktionszeiten sind von verschiedenen Parametern abhängig. Wobei diese Parameter teilweise untereinander im Zusammenhang stehen und sich gegenseitig auch beeinflussen.

Neben den herrschenden Lichtverhältnissen, einer etwaigen Übermüdung oder den Einfluss von Alkohol, können sich auch das Alter und der Sehwinkel nachteilig auf die Länge der Reaktionszeit auswirken. Folgend wird auf die einzelnen Parameter noch konkreter eingegangen.

Lichtverhältnisse

Die Abhängigkeit der Lichtverhältnisse (Tageslicht, Dämmerung, Dunkelheit), spielt im Zusammenhang mit einer möglichen Blendung durch die Sonne eine große Rolle. Gewöhnlich kann eine solche Blendung psychologischer oder physiologischer Natur sein.

Bei der physiologischen Blendung kann es zu einer tatsächlichen Reduzierung der Sehleistung kommen und bei einer psychologischen Blendung wird nur das Gefühl des Geblendets eins hervorgerufen [23, 2007b].

Bei Nacht hingegen sind der Kontrast und damit die Umfeldleuchtdichte maßgebend für die Reaktionsaufforderung. Das heißt, wird eine gewisse Kontrastschwelle unterschritten, kann

das Objekt nicht mehr erkannt werden, dieser Vorgang ist auch von der Umgebungsleuchtdichte abhängig. Wird dieser Grenzwert unterschritten, geht die Reaktionszeit gegen 10 s und mehr [23, 2007b].

Übermüdung

Zusätzlich sind Auswirkungen von zu wenig Schlaf und Übermüdung auf den Lenker eines Kraftfahrzeuges erheblich. Studien verdeutlichen dies beispielsweise durch den Vergleich zwischen den Leistungseinbußen eines übermüdeten Fahrers und denen eines Fahrers unter Alkoholeinfluss. Demnach entspricht die Reaktionsdauer einer Person, die zwischen 11 und 19 Stunden nicht geschlafen hat, der Reaktion einer Person mit einem Blutalkoholspiegel von 0,5 Promille. Nach 21 Stunden ohne Schlaf ergibt sich bereits dieselbe Reaktionszeit wie bei einem Autofahrer mit 0,8 Promille im Blut. Schläft ein Fahrzeuglenker 24 h nicht, reagiert er gleich wie eine Person mit einer Blutalkoholkonzentration von 1 Promille [51, 2008b].

Alkoholeinfluss

Der Alkohol wirkt im Wesentlichen auf das zentrale Nervensystem und verlängert so die Reaktionszeit. Neben der Beeinträchtigung der koordinativen Leistungsfähigkeit bewirkt Alkohol auch eine Verschlechterung der Kommunikation zwischen dem Gehirn und den ausführenden Organen (Skelettmuskel). Folglich führt steigender Alkoholkonsum mitunter sowohl zu Störungen des Gleichgewichtssinnes und des gesamten Reflexgeschehens als auch zur Abnahme der muskulären Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers [46, 2004a].

Ein Blutalkoholwert von 2,5 Promille äußert sich durch eine Reaktionszeit von ca. 2 sec. Der Alkoholkonsum wirkt im Übrigen enthemmend und lässt die Risikobereitschaft steigen. Außerdem wird die distributive Aufmerksamkeit² gestört, d.h. die Bewältigung von mehreren Sachen gleichzeitig ist nicht mehr möglich. Es kommt zum so genannten Tunnelblick und damit zu einer Einschränkung des Gesichtsfeldes. Des Weiteren werden das Tiefensehen, die Fähigkeit rotes Licht wahrzunehmen und die Sehschärfe stark beeinträchtigt. Überdies steigt ebenso die Empfindlichkeit gegenüber Blendung [27, 2011c, 4]. Unter Alkoholeinfluss stehende Personen haben nachgewiesen eine deutlich verlängerte Reaktionszeit. Untersuchungen ergaben eine 40-50%ige Verschlechterung der Reaktionszeit bei einem Blutalkoholwert von 1 Promille und bereits bei 0,35 Promille im Blut ist eine 10%ige Reaktionsverlängerung zu erwarten [50, 2003b].

Alterseinfluss

Bezugnehmend auf das Alter ist eine Reduktion der Reaktionsgeschwindigkeit ab dem 20. Lebensjahr zu bemerken. Die Abnahme der Reaktionszeit beträgt bei einer einfachen

distributive Aufmerksamkeit: „Fähigkeit, mehreren Gegenständen gleichzeitig die Aufmerksamkeit zuzuwenden, oder große Beweglichkeit der Aufmerksamkeit bei raschem Wechsel der Inhalte.“ [61, 2007e]

auditiven Aufgabe ca. 0,6 ms/Jahr. Bedingt ist die abnehmende Reaktionsgeschwindigkeit durch die Verringerung der Geschwindigkeit bei der Übertragung von Nervenimpulsen [44].

Versuche rund um die Altersabhängigkeit der Reaktionszeit mit Personen über 30 Jahren haben überdies eine deutliche Reaktionszeitverlängerung im Zusammenhang mit einem niedrigeren Kontrast ergeben [23, 2007b].

Crick & McKenna [21, 2007a] untersuchten 1994 im Zuge eines Gefahrenwahrnehmungstestes die Reaktionszeiten von geübten (trainierten) Fahrern und jene von Fahranfängern. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Reaktionszeiten bei Fahrern, die schon länger im Straßenverkehr unterwegs sind kürzer sind als jene von Fahranfängern. McKenna & Farrand [21, 2007a] bewiesen 1999 das erfahrene Autofahrer eine Gefahr deutlich besser wahrnehmen können. Kommt zu der Gefahrenerkennung jedoch eine zweite Aufgabe hinzu, wird dies für erfahrene Autofahrer schwieriger sein, als es für junge Fahrer. Hier hilft auch die jahrelange Erfahrung im Straßenverkehr nicht wesentlich [21, 2007a].

Mit der Untersuchung nicht unmittelbar im Zusammenhang stehend, der Vollständigkeit halber aber erwähnt, ist die Abhängigkeit zwischen der Reaktion und dem Blickfeld, den ein Autofahrer wahrnimmt.

Sehwinkel

Mitunter ist die Reaktionszeit vom Sehvorgang abhängig, folglich ist die Position des Objektes relevant. Ist das Objekt nämlich außerhalb des zentralen Gesichtsfeldes (fovea centralis) muss noch abhängig vom Sehwinkel Zeit addiert werden bzw. eventuell kann sich auch eine so genannte Schrecksekunde (0,95 - 1,73 s) ergeben. Dies ist der Fall, wenn sich das Objekt außerhalb eines Sehwinkels von 5° befindet und sich dadurch ein stark peripheres Sehen ergibt [42].

Der Mensch nimmt mit beiden Augen ein Feld von 60° nach oben und 70° nach unten wahr, hingegen kann er von rechts nach links 180° einsehen. Jedoch ist der Bereich des scharfen Sehens auf 1° bis $1,5^\circ$ des gesamten Gesichtsfelds begrenzt. Bewegungen können jedoch im peripheren Bereich besser wahrgenommen werden als stillstehende Objekte [41, 2007c].

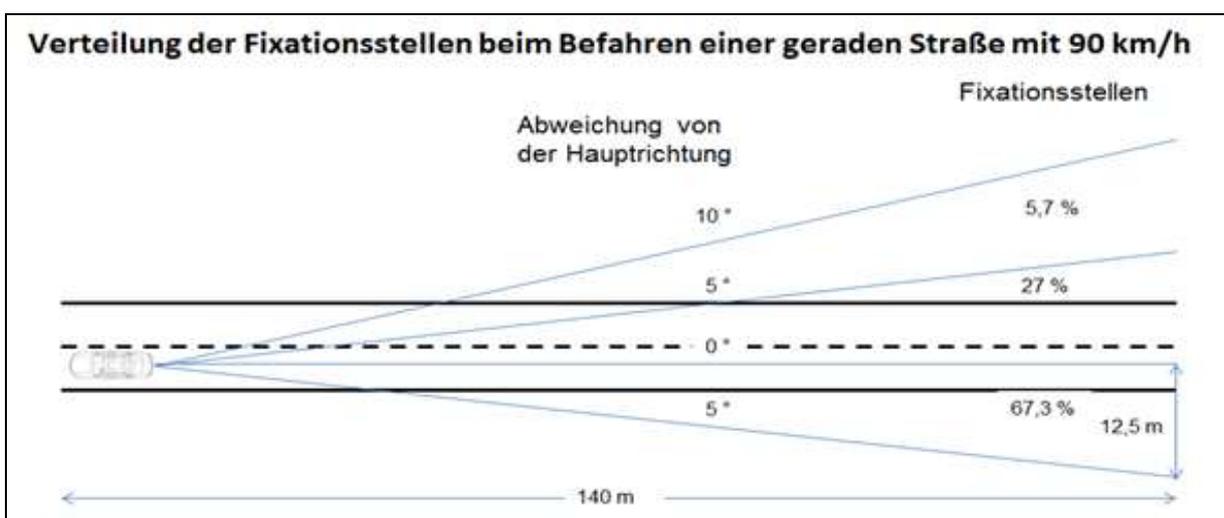


Abbildung 17: Verteilung der Fixationsstellen beim Befahren einer geraden Straße mit 90 km/h [41, 2007c]

3.5 Realunfallanalyse

3.5.1 ZEDATU

Die Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen beinhaltet alle relevanten Daten eines Verkehrsunfalles, die für eine vollständige Rekonstruktion notwendig sind. Sie entstand aus mehreren Datenfeldern verschiedener EU Projekte. Die Grundlage für die ZEDATU und die relevanten Datenfelder der Unfallforschung bildete das STAIRS Protokoll (Standardisation of Accident and Injury Registration System) [62, 1999]. Die im STAIRS Protokoll entwickelten Datenfelder beinhalten Daten der beteiligten Fahrzeuge, Personen und die Infrastruktur. Aufbauend auf dem STAIRS Protokoll wurden die Datenfelder mit den Informationen aus weiteren EU Projekten erweitert. Darunter fielen unter anderem die Projekte PENDANT (Pan-European Coordinated Accident and Injury Databases) [59, 2006c], RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) [56, 2006b] und ROLLOVER (Improvement of rollover safety for passenger vehicles) [39, 2005d]. Weiters sind auch die Datenfelder der nationalen Statistik integriert, um eine direkte Verbindung zur nationalen Statistik zu ermöglichen. Schlussendlich sind ca. 750 Datenfelder vorhanden.

Datengrundlage der ZEDATU bilden Gerichtsakten, aus welchen Informationsmaterial über den Unfallhergang entnommen werden. Im Detail waren dies Verkehrsunfallanzeigen, Verkehrsunfallberichte, Sachverhaltsdarstellungen und Informationen über den Blutalkoholwert oder den Fahrtenschreiber.

Über den medizinischen Hintergrund, Verletzungsschwere, Todesursache o.Ä. geben Verletzungsanzeigen, Totenbeschauscheine, Obduktionsberichte, medizinische Gutachten und gerichtsmedizinische Sachverständigengutachten Aufschluss.

Aus einigen Akten konnten bereits detaillierte Informationen über den Unfallort entnommen werden. Mit Hilfe von Fotogrammetrien oder Unfallskizzen der Exekutive kann eine vollständige Rekonstruktion des Unfalles leichter und schneller abgewickelt werden.

Um die statistische Auswertung Verkehrsunfällen durchführen zu können, wird auf Basisdaten von Realunfällen der In-Depth Datenbank ZEDATU zugegriffen [60, 2007d].

Die in der Datenbank vorliegenden Verkehrsunfälle wurden mit dem Unfallrekonstruktionsprogramm PC Crash rekonstruiert, sodass Informationen zu Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeiten, Reaktionszeitpunkte und -positionen sowie Abkommensgeschwindigkeiten und -winkel vorliegen. Es stehen auch Informationen über Kollisionsobjekte abseits der Straßen, wie Leitschienen, Bäume, etc. zur Verfügung. Ebenso sind Aussagen über die Anzahl von Fahrstreifen oder Radien von Kurven vorhanden.

Die Unfalltypenverteilung in der ZEDATU entspricht der Verteilung der nationalen Statistik und daher können Aussagen über das gesamte österreichische Straßennetz getroffen werden.

3.5.2 Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit PC Crash

Aus der Unfallforschung und der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen kann mehrfach Nutzen gezogen werden. Ein Bereich kann die Abbildung des realen Unfallgeschehens und das Abschneiden von Fahrzeugen bei Kollisionen sein, ein anderer Bereich einfach die Analyse von Trends (z.B. Unfallhäufigkeiten nach Wochentag, etc.). Aus der Unfallforschung lassen sich aber auch Anforderungen für neue Systeme ableiten. Hierbei sollten Fragen beantwortet werden können, was beispielsweise ein Fahrassistenzsystem können muss um einen bestimmte Prozentsatz an Unfällen zu verhindern. Durch die Unfallrekonstruktion wird die Unfallsituation nachgebildet und der wahrscheinlichste Unfallhergang rekonstruiert. Daraus lassen sich Geschwindigkeitsverläufe, Fahrlinie, etc. abbilden und die etwaige Schuldfrage der Beteiligten klären [28, 2010a]. Eines der verbreitetsten Unfallrekonstruktionsprogramme ist PC Crash.

Abgesehen von der Simulationsabbildung von Kollisionen mit über 30 beteiligten Fahrzeugen und 3D-Straßenobjekte sind auch Mehrkörpersimulationsmodelle von Fußgängern, Motorrädern und LKW Simulationen inklusive Anhänger und Ladung möglich.

Die Berechnung von Vermeidbarkeitsparametern wie Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit, -verzögerung und Kollisionsgeschwindigkeiten sind wesentliche Informationen in der Unfallrekonstruktion.

Bei den rekonstruierten Realunfällen in dieser Arbeit kam es nach dem Abkommen von der Fahrbahn in den meisten Fällen zu einer Kollision mit einem Hindernis, wie Bäumen, Leitschienen, Betonleitwänden und dergleichen.

Um einen Zusammenstoß der einzelnen Fahrzeuge, die dabei vorkommenden Stoßparameter bzw. den Anprall auf ein fixes Hindernis o.Ä. besser erläutern zu können, werden im Vorfeld die verschiedenen Stoßtheorien und Stoßmodelle näher beschrieben.

Es wird einerseits das Steifigkeitsbasierende Stoßmodell und andererseits das klassische Modell des Stoßes näher betrachtet.

3.5.2.1 Stoßtheorien

- Steifigkeitsbasiertes Stoßmodell

Bei den so genannten steifigkeitsbasierten Stoßmodellen werden die Kräfte berechnet, die bei Kontakt zweier Fahrzeuge entstehen. Diese werden über die aktuelle Deformation und die Steifigkeitsfunktion eines Fahrzeuges ermittelt. Dafür verwendete Modelle sind sowohl das Ellipsoid-Modell, basierend auf der Modellierung von Kontaktellipsoiden als auch das Netz-Modell (Meshmodell), welches durch die Deformation eines jeden Knotens auf die Kontaktkraft des jeweiligen Knoten schließen lässt.

Die **Stoßtheorie nach Hertz und Saint Venant** legt das Hauptaugenmerk auf die Ermittlung von Stoßkräften und deren Dauer unter Verwendung des Hook'schen Deformationsgesetzes [41, 2007c].

- Klassisches Stoßmodell

Die klassischen Stoßtheorien (Galilei, Huygens, Newton) [41, 2007c] hingegen ermitteln die Endgeschwindigkeit eines Stoßvorganges aufgrund der Startgeschwindigkeit unter Annahme einer sehr kurzen Stoßdauer und sehr großen Stoßkräften. Die auftretenden Deformationen werden hier nicht mit eingeschlossen, sehr wohl aber die Erhaltung der kinematischen Konfiguration während des Stoßvorganges.

Supplementär zur klassischen Stoßtheorie hat sowohl Newton als auch Poisson [41, 2007c] eine Stoßzahlhypothese aufgestellt, in welcher mittels der Stoßziffer ϵ der elastische und plastische Anteil einer Kollision Berücksichtigung findet.

Marquard beschreibt den Stoßvorgang über eine Richtungshypothese, Kudlich und später auch Böhm und Hörz stellen eine Gleithypothese für Kollisionen mit Abgleiten auf.

Mit der Hypothese nach Kudlich-Slibar ist die Behandlung von Verhakungs- und Abgleitkollisionen möglich.

Ein Vorwärtsstoß wird im Rekonstruktionsprogramm PC-Crash mittels eines Modells nach dem Kudlich-Slibar-Verfahren simuliert [41, 2007c].

3.5.2.2 Stoßzahl

Der unter dem **k** – Faktor angeführte Wert, der auch mit ϵ bezeichnet wird, beschreibt die so genannte **Stoßzahl**. Damit ist das Verhalten zweier Körper bei einem geraden zentralen Stoß beschrieben, bei dem die Linie, auf der die Stoßkräfte wirken, durch die Schwerpunkte der beiden Körper geht. Die Stoßzahl k bzw. der Restitutionskoeffizient ϵ wird verwendet, um die Elastizität eines Stoßes in der Restitutionsphase und in der Kompressionsphase zu charakterisieren [41, 2007c].

$$k = \epsilon = \frac{\bar{S}_{\text{Rest}}}{\bar{S}_{\text{Komp}}}$$

Formel 1: Stoßziffer [41, 2007c]

Laut der Hypothese von Poisson kann die **Stoßziffer ϵ** , mittels des Verhältnisses des Stoßantriebes in der Phase der Restitution und Kompression vorgegeben werden. (Formel 1)

Negative Stoßzahlen werden nur, wenn es zu einem „tatsächlich“ nachweisbaren Strukturversagen kommt, berechtigterweise eingesetzt [41, 2007c].

In Abbildung 18 werden die Grenzfälle $\epsilon=0$, bei dem es sich um einen vollständig plastischen Stoß handelt und $\epsilon=1$, der vollkommen elastische Stoß dargestellt, abgebildet.

Bei einem idealen elastischen Verhalten ($\epsilon=1$) ist die Stoßkraft in der Kompressionsphase gleich der in der Restitutionsphase. Hingegen fällt die Restitutionsstoßkraft bei dem voll plastischen Fall weg, zu sehen ist lediglich die Stoßkraft der Kompression. Liegt ein teil-elastisches Verhalten vor, kann man die verminderte Stoßkraft in der Restitutionsphase deutlich erkennen [41, 2007c].

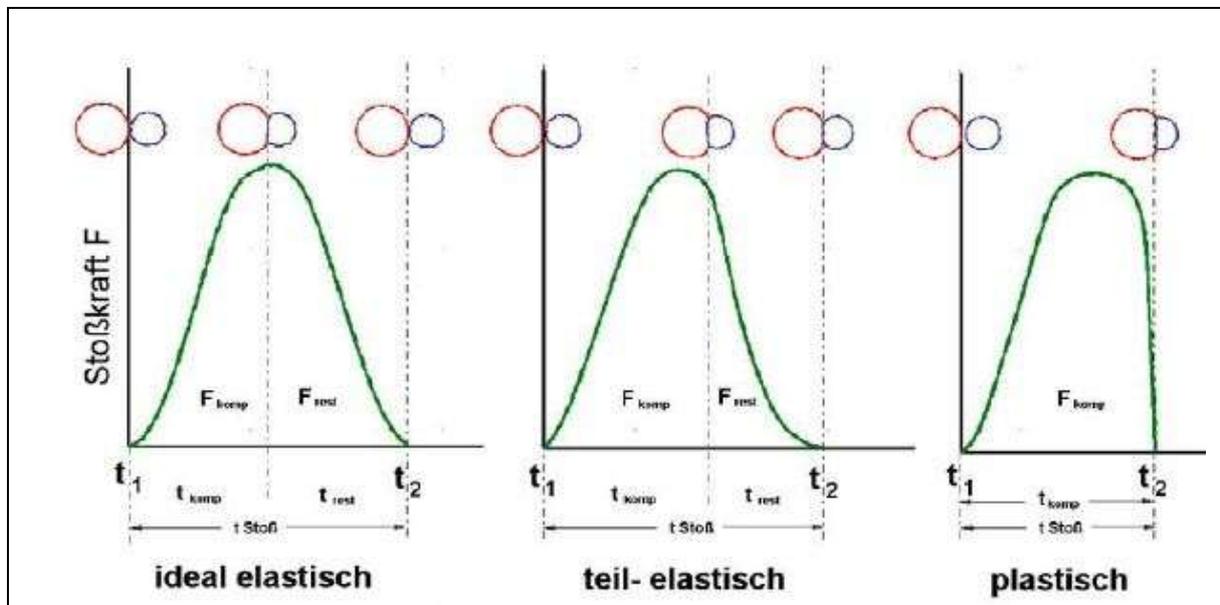


Abbildung 18: Verlauf der Kontaktkraft für verschiedene Stoßarten [41, 2007c]

Energy equivalent speed oder abgekürzt **EES** steht für die Energie, die bei der Deformation eines Fahrzeuges als rein plastische Verformung am Fahrzeug sichtbar bleibt. Dieser Wert kann über die Deformation und die Winkelgeschwindigkeit ermittelt werden [41, 2007c].

$$W_{Def} = \frac{(m \cdot EES^2)}{2}$$

Formel 2: Deformationsenergie [41, 2007c]

Bei der Kollision zweier Fahrzeuge kann die Deformationsenergie (Formel 2) des Stoßes über die Masse und die Deformationstiefe (**Def.** in cm) berechnet werden [41, 2007c].

Die Deformationstiefe wird in Stoßkrafttrichtung wirkend ausgehend vom Stoßpunkt bis hin zur unverformten Haut der Karosserie ermittelt [28, 2010a].

4 METHODIK

4.1 Vorgehensweise einer Realunfallrekonstruktion

Die Verkehrsunfallrekonstruktion mit Hilfe von PC Crash soll nun anhand eines spezifischen Falles näher erläutert werden.

Der Unfall ereignete sich folgend. Der PKW Fahrer touchiert die Mittelleitschiene auf der linken Fahrbahnseite aus unbekannter Ursache. Anschließend schleudert das Fahrzeug über die gesamte Fahrbahn und kommt Rechts von der Straße ab, prallt gegen mehrere Bäume und überschlägt sich bis es am Dach liegend zum Stillstand kommt (Siehe dazu Abbildung 19). Anhand des Unfallherganges und der entsprechenden Spuren (Schleuderspuren, Erdreichspuren, Kontaktschäden o.Ä.) kann nun eine Unfallrekonstruktion gemacht werden.



Abbildung 19: Realunfall

Der Rekonstruktionsablauf kann auf unterschiedliche Weise beginnen, in diesem Fall mit dem Einfügen eines Straßenobjektes, das entweder in Form eines Straßenstückes oder eines 3D-Straßenmodells umgesetzt werden kann.

4.1.1 Straßenobjekt

Die einfachste Form ein gerades Straßenstück oder eine Kreuzung darzustellen, wird in Abbildung 20 gezeigt. Neben der Auswahl der Fahrstreifenanzahl und der Fahrstreifenbreite ist auch die Gehsteigbreite variabel.

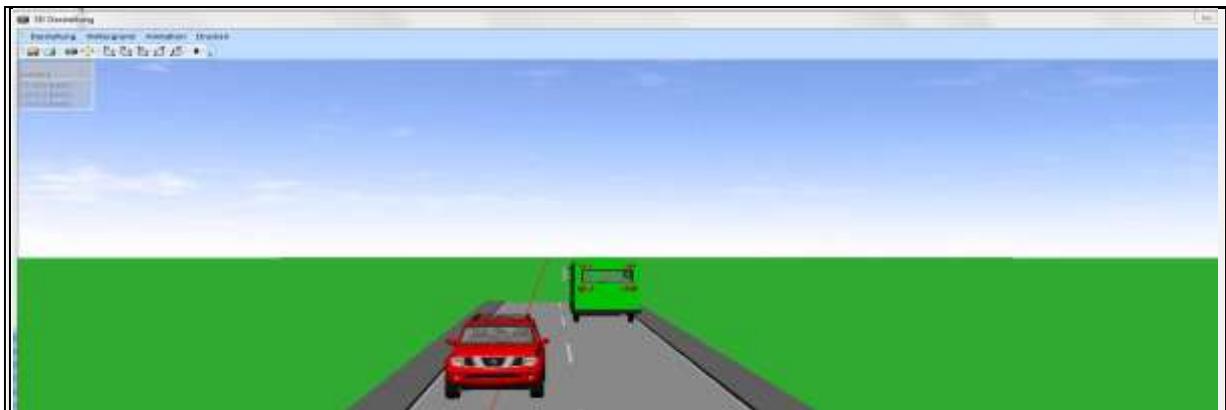


Abbildung 20: Straßenstück [28, 2010a]

Wie aus dem Fall des verunglückten Lenkers des VW-Golfs ersichtlich, reicht die Darstellung eines geraden Straßenstückes hier nicht aus. Auch die Darstellung einer Böschung ist dazu notwendig. Um Böschungsprofile, Steigungen und Kurvenradien mitberücksichtigen zu können, werden dreidimensionale Straßenmodelle (Abbildung 21) verwendet.

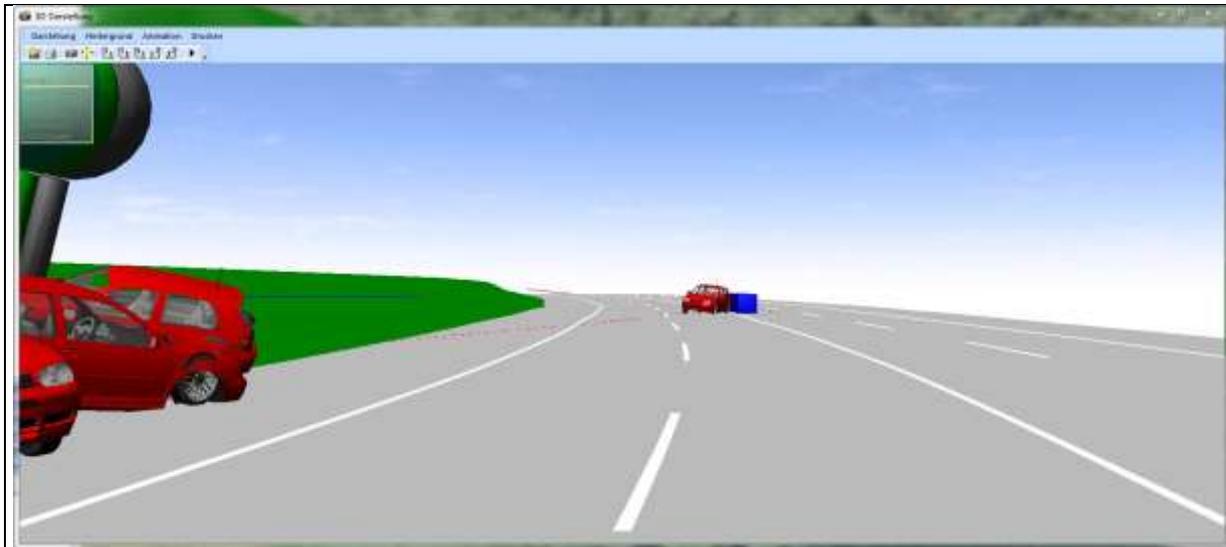


Abbildung 21: 3D-Straßenmodell[28, 2010a]

Abbildung 22 zeigt die Definition eines Böschungsprofils und die Möglichkeit vordefinierte Spurpunkte für den Straßenverlauf zu verwenden, sowie die Einstellungen von Straßenlänge, -breite und unterschiedlichen Steigungen.

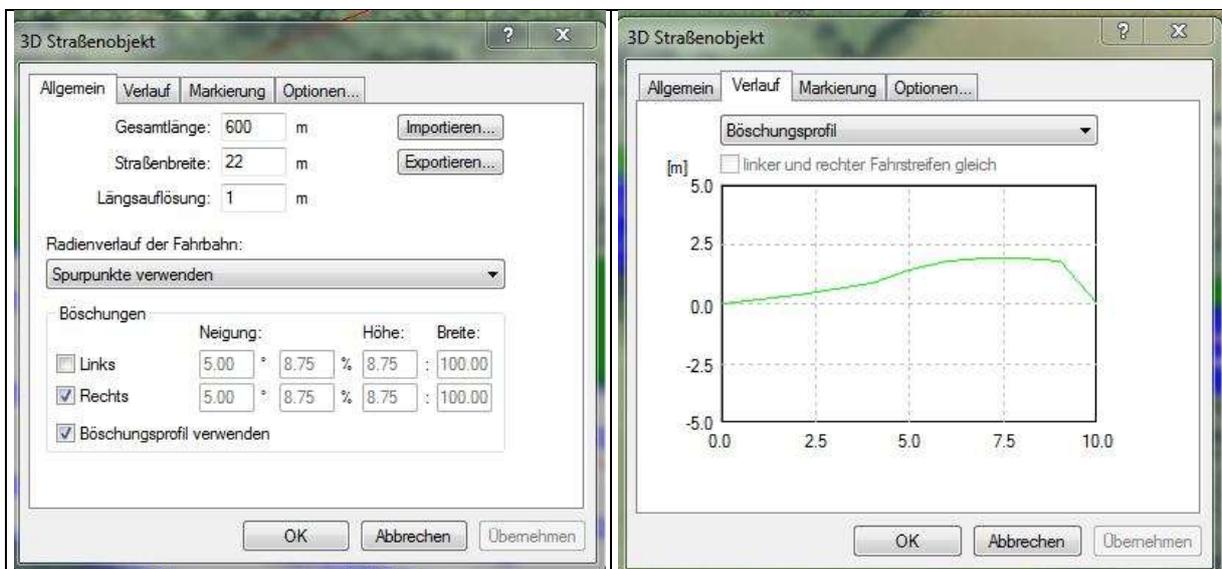


Abbildung 22: Böschungsprofil, Einstellungen 3D- Straßenmodell [28, 2010a]

4.1.2 Fahrzeugdatenbank

Nachfolgend das Fahrzeug entsprechend des Modelles der Automarke und des Baujahres, inklusive aller Abmessungen sowie mit zugehörigem Gewicht im beladenen oder unbeladenen Zustand aus der Krafftfahrzeugdatenbank (Abbildung 23) geladen.

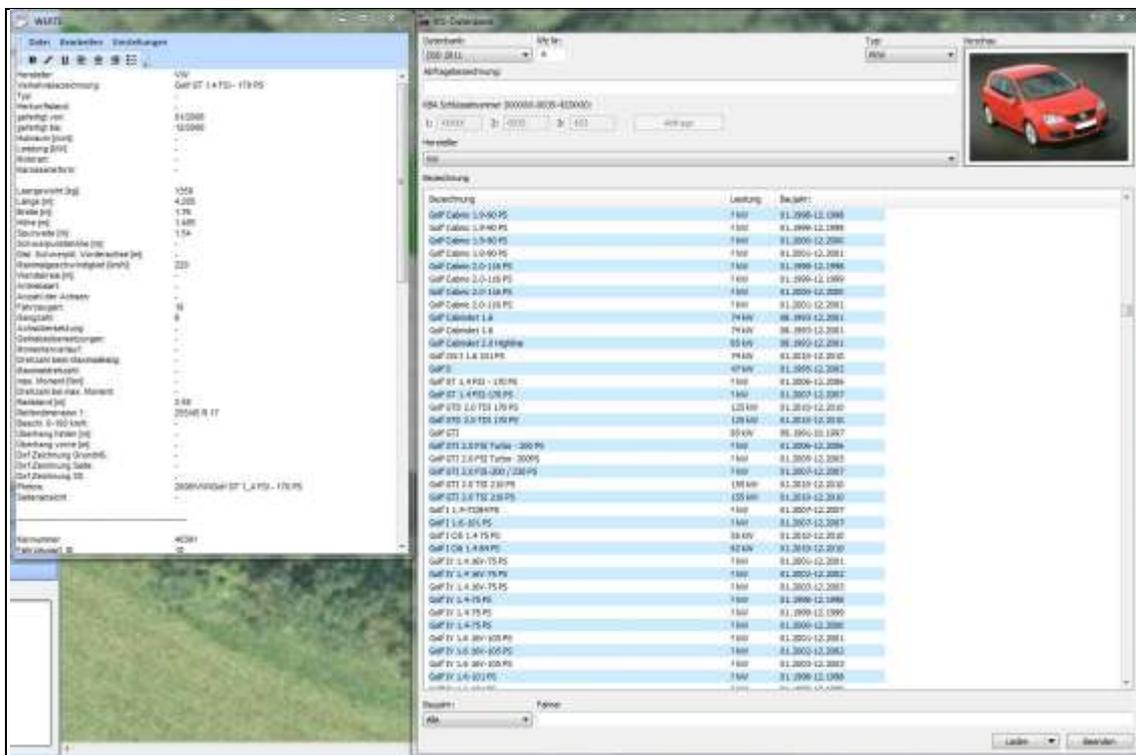


Abbildung 23: Fahrzeugdatenbank [28, 2010a]

Aufgrund der genauen Auswahl von Automarke, Type, Baujahr, Leistung u.Ä. können die jeweiligen Fahrzeugdaten (Abbildung 24) für die Rekonstruktion und die Berechnungen herangezogen werden.

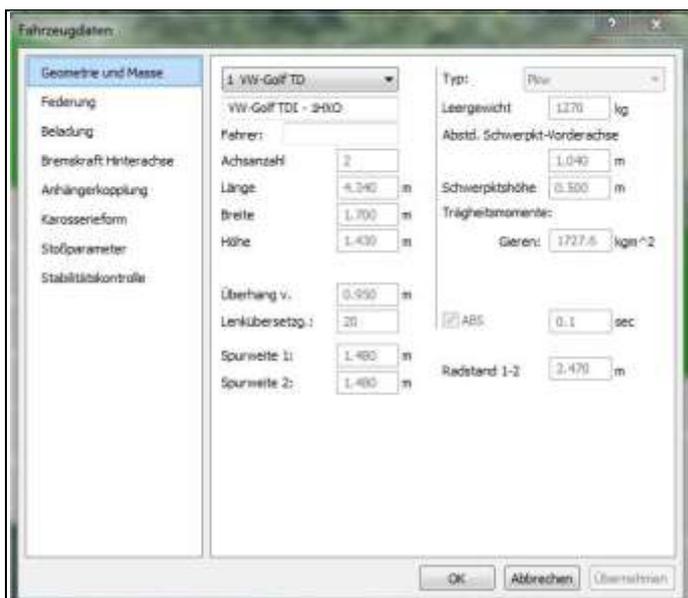


Abbildung 24: Fahrzeugdaten [28, 2010a]

Neben den fahrzeugspezifischen Werten werden auch die Reifenbezogenen Parameter einzeln festgelegt und der **Luftwiderstand** des Fahrzeuges mitberücksichtigt. Im **Reifenmodell** (Abbildung 25) können dann Reifendimensionen und Durchmesser für Vorder- und Hinterachse separat gewählt werden.

Im Falle eines Seitenwindes kann nicht nur der Kraftangriffspunkt berücksichtigt werden, sondern es fließt auch die Luftwiderstandskraft in die Berechnungen mit ein.



Abbildung 25: Reifenmodell, Luftwiderstand [28, 2010a]

Im Falle eines involvierten Sattelschleppers oder Lastkraftwagen mit Anhänger werden die Beladungszustände exakt rekonstruiert und die Koppelung von Anhänger und Zugmaschine wird gegenständlich nachgebildet und rekonstruktionstechnisch mit allen wirkenden Kräften und Momenten mitberücksichtigt.

4.1.3 Simulation

Um die Simulation zu starten, müssen sowohl Startgeschwindigkeiten festgelegt als auch Bremsmanöver in Form von Teilbremsfaktoren, ein Seitenversatz oder Lenkeingriffe mit berücksichtigt werden. Mitunter spielt die Wahl der passenden **Sequenzen** (Abbildung 26) dabei eine entscheidende Rolle.

Neben der Möglichkeit einer gleichmäßigen Bremsung oder Teilbremsungen separat für das rechte oder linke Rad, sowohl der Vorder- als auch der Hinterachse, ist ein Beschleunigen des Fahrzeuges möglich. Mit dem nachsimulieren eines Lenkeingriffes kann auch eine Ausweichsituation oder ein Spurwechsel detailgetreu abgebildet werden.

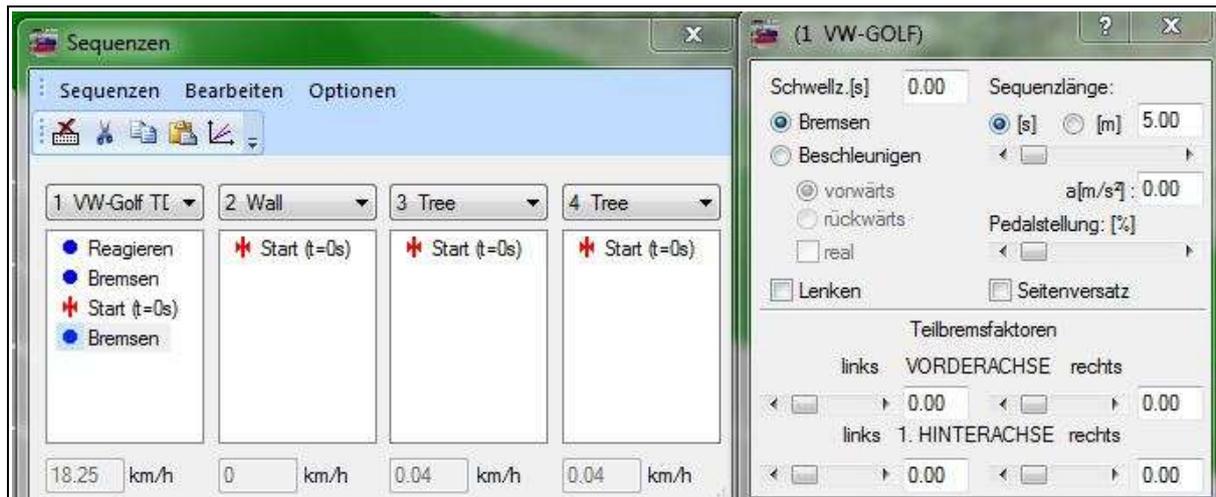


Abbildung 26: Sequenzen, Teilbremsfaktoren, Beschleunigungen [28, 2010a]

Das aus Abbildung 27 ersichtliche Stoß-Einlauf-Impulsfenster zeigt die einzustellenden Parameter, um eine Vorwärtssimulation durchführen zu können.



Abbildung 27: Sequenzen, Teilbremsfaktoren, Beschleunigungen [28, 2010a]

Als Eingabewerte dienen einerseits die Einlaufgeschwindigkeit, die einzelnen Koordinaten der Stoßpunkte und die Lage sowie Richtung der Berührebenen, ebenso die stoßspezifischen Parameter wie die Stoß-Eindringtiefe. Des Weiteren kann unter den Grundeinstellungen Abbildung 28 eine Endlagensimulation oder eine automatisch berechnete Sekundärkollision ausgewählt werden. Auch die Berechnung des Stoßes kann automatisch berechnet oder aber auch manuell festgelegt werden.

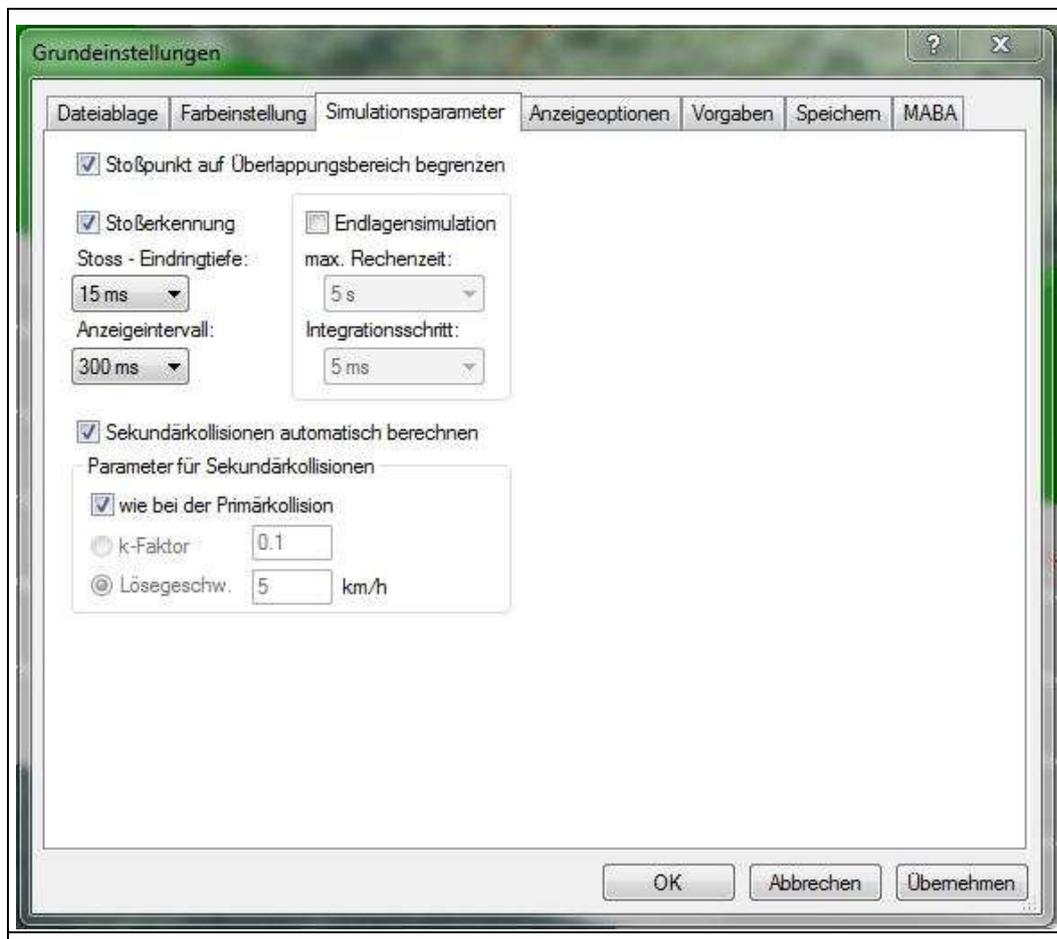


Abbildung 28: Grundeinstellungen, Simulationsparameter, Stoß [28, 2010a]

Unter den Grundeinstellungen ist außerdem die Variation der **Reibung μ** möglich.

Mit Hilfe des Reibungskoeffizienten (Abbildung 29) können nicht nur verschiedenste Untergründe (Asphalt, Beton, Schotter, Wiese, usw.) berücksichtigt werden, sondern es kann auch ein Unterschied zwischen nasser und trockener Fahrbahn gemacht werden. Ebenso ergeben sich unterschiedlichste μ -Werte bei Schnee, Eis und Frost. Auch dabei sind die gefahrene Geschwindigkeit und die Temperaturabhängigkeit des Reibungskoeffizienten mit zu berücksichtigen [41, 2007c].

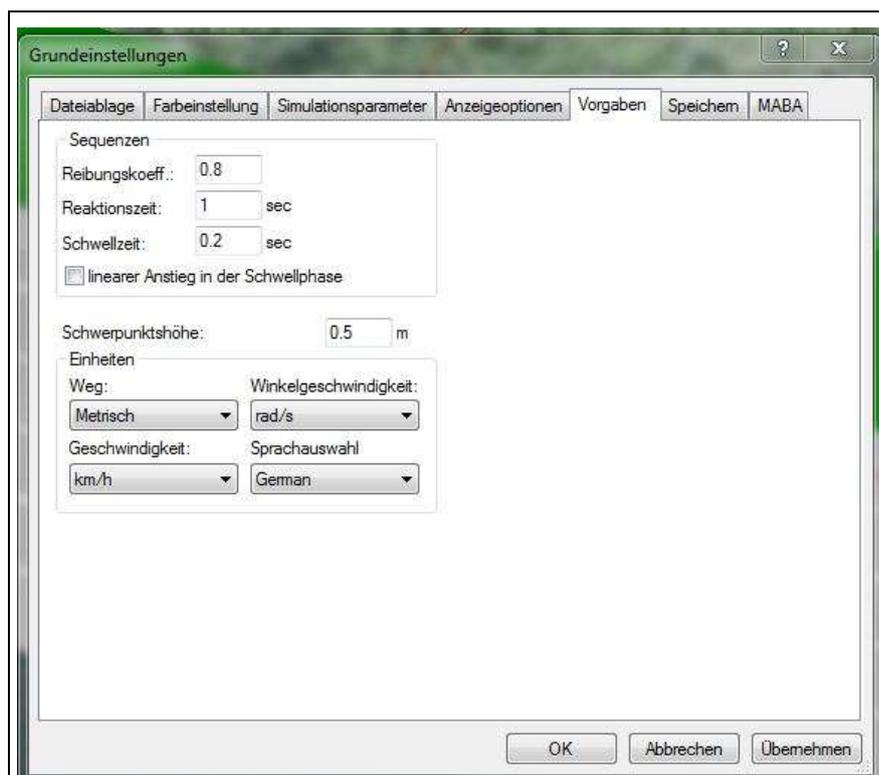


Abbildung 29: Reibungskoeffizient [28, 2010a]

Die unterschiedlichen Reibungskoeffizienten der differenten Fahrbahnuntergründe nehmen dementsprechend auch unterschiedlichen Einfluss auf das Unfallgeschehen (Tabelle 7) [41, 2007c].

Tabelle 7: Reibungskoeffizienten der unterschiedlichsten Fahrbahnuntergründe [41, 2007c]

Beschreibung der Fahrbahnoberfläche	PKW-Reifen	LKW-Reifen
Trockener Beton	0,85	0,65
Nasser Beton	0,80	0,60
Trockener Asphalt	0,70-0,80	0,50
Nasser Asphalt	0,45-0,80	0,30
Schnee verdichtet	0,15	0,15
Schnee unverdichtet	0,10-0,60	
Eis trocken	0,07-0,20	0,11
Eis nass	0,05-0,10	0,07
Trockener Schmutz	0,65	
Schlamm	0,40-0,50	
Sand	0,55	
Nasser, öliger, glatter Beton		0,25
Verdichteter Schnee mit Ketten		0,60
Trockenes Eis mit Ketten		0,25

Die Reibung wird also mittels des Reibungskoeffizienten angenommen. Der „Betrag der Differenz von Anfangs- und Endgeschwindigkeitsvektoren eines Verkehrsteilnehmers während eines bestimmten Zeitabschnittes innerhalb eines gewählten Koordinatensystems“ [41, 2007c] in km/h, der mit **Delta-v** bezeichnet wird kann berechnet werden. Hiermit wird nichts anderes als der Unterschied zwischen dem Einlaufgeschwindigkeitsvektor und dem Geschwindigkeitsvektor im Auslauf eines Fahrzeuges beschrieben [41, 2007c].

Nachdem alle relevanten Werte eingegeben wurden und eine Rekonstruktion des Realunfalles durchgeführt wurde, können nun alle Werte berechnet werden. Bei Abkommensunfällen ergeben sich durch das Abkommen an sich auch aufschlussreiche Daten für die Installation von Rumble Strips und deren Abstand zur Fahrbahnbegrenzungslinie. Durch das Abkommen von der Fahrbahn hat der PKW nicht nur eine gewisse Abkommensgeschwindigkeit sondern er kommt auch mit dem sogenannten Abkommenswinkel von der Fahrbahn ab. Im anschließenden Kapitel 4.1.4 werden die Begriffe des Abkommenswinkels und des Schwimm- und Geschwindigkeitswinkels näher erläutert.

4.1.4 Abkommenswinkel, Geschwindigkeitswinkel

Der **Abkommenswinkel**, in Abbildung 30 rot dargestellt, beschreibt den Winkel zwischen der Längsachse des Fahrzeuges und der Tangente an die Fahrbahnbegrenzung bei Abkommen in einer Kurve bzw. auf der Geraden entlang der Fahrbahn bei Straßenabschnitten ohne Radius.

Der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor und der Tangente an die Fahrbahnbegrenzung zum Zeitpunkt des Abkommens von der Fahrbahn **Geschwindigkeitswinkel** (orange eingezeichnet) bezeichnet. Ist ein Pannestreifen vorhanden, wird als Begrenzung der Fahrbahn die Sperrlinie zwischen Fahrbahn und Pannestreifen als Referenz herangezogen, ist ein Pannestreifen nicht vorhanden, wird der Winkel bei Überfahren der Sperrlinie gemessen, bevor das Bankett befahren wird. Ein Überfahren der Fahrbahn wird dann angenommen, wenn der erste Reifen die Fahrbahn-Begrenzungslinie überquert [28, 2010a].



Abbildung 30: Abkommenswinkel, Geschwindigkeitswinkel [28, 2010a]

Um die Richtung des Fahrzeuges genau zuordnen zu können, wird in Abbildung 31 der Geschwindigkeitswinkel vorzeichenrichtig dargestellt.

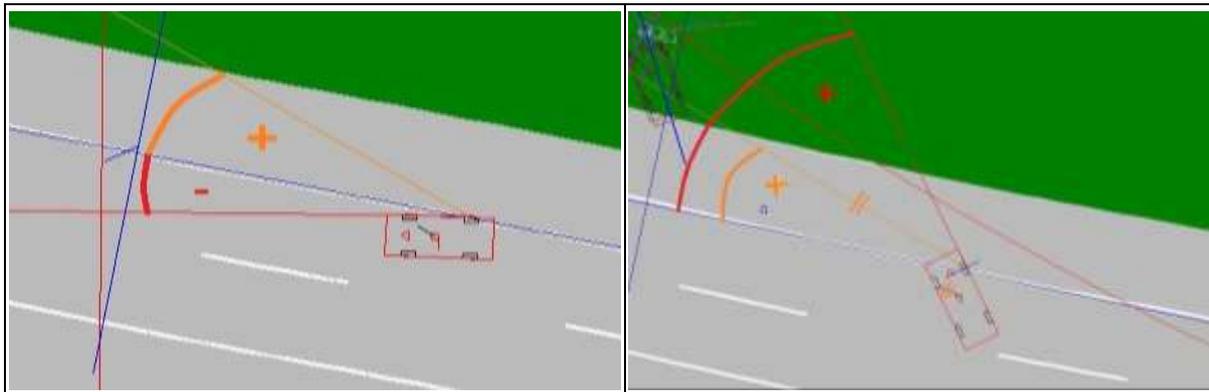


Abbildung 31: Geschwindigkeitswinkel, Abkommenswinkel links negativ, rechts positiv [28, 2010a]

Die Differenz zwischen dem Abkommenswinkel und des Geschwindigkeitswinkels wird **Schwimmwinkel** genannt. Dieser ist positiv wenn der Abkommenswinkel größer als der Geschwindigkeitswinkel ist (siehe Abbildung 31, rechtes Bild). Ist der Schwimmwinkel jedoch zum Zeitpunkt des Abkommens negativ (Abkommenswinkel kleiner als Geschwindigkeitswinkel), ist das ein Hinweis darauf, dass das Fahrzeug schleudernd in die Situation gekommen ist. Wird sowohl der Abkommenswinkel als auch der Geschwindigkeitswinkel vorzeichenrichtig eingegeben, kann unabhängig davon auf welcher Seite das Fahrzeug abkommt, angezeigt werden ob das Fahrzeug von der Fahrbahn weggedreht abkommt oder ob dies zur Fahrbahn hingedreht ist.

4.2 Grundlagenüberlegungen für die Auswertung des Potentials von Rumble Strips

Abbildung 32 zeigt schematisch die Abfolge eines Abkommensunfalls. In den meisten Fällen ist die Reihenfolge der Ereignisse wie angeführt. Vom Konfliktpunkt bis zum Erkennen der Gefahr vergeht eine gewisse Zeit und damit wird auch ein bestimmter Weg zurückgelegt. Nach dem Erkennen der Gefahrensituation erfolgt eine Reaktion seitens des Fahrers. Nachdem der Fahrzeuglenker auf die Situation reagiert hat, verlässt er die Fahrbahn und es kommt zur Kollision bzw. dem Aufprall auf ein Hindernis. Diese Reihenfolge ist nicht bei jedem Unfall gleich und die einzelnen Ereignisse können sich auch überschneiden. Betrachten wir zum Beispiel den Verlauf im Falle eines Sekundenschlafes. Nach dem offensichtlichen Konflikt kommt es weder zum eindeutigen Erkennen der Situation noch erfolgt eine Reaktion, das Fahrzeug verlässt die Fahrbahn und es kommt direkt zur Kollision.

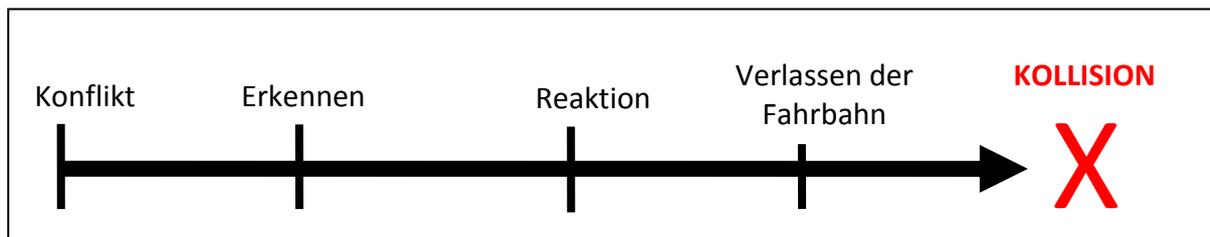


Abbildung 32: Zeit und Weg die zwischen dem Erkennen einer Gefahr und der Kollision vergehen

Für die folgenden Auswertungen ist der zurückgelegte Weg bzw. die Zeit in der es zu einer Reaktion kommt bis zu dem Zeitpunkt wo die Fahrbahn verlassen wird von größtem Interesse. Um das Potential von Rumble Strips beurteilen zu können, werden diejenigen Abkommensunfälle untersucht, die auf Straßenabschnitten geschehen sind, wo ein Pannestreifen vorhanden ist und die Installation einer Rumble Strips realistisch durchführbar wäre. Außerdem findet eine Unterteilung der Auswertung bezugnehmend auf den Straßenabschnitt statt. D.h. es wird dahingehend klassifiziert ob das Fahrzeug auf einer Geraden oder in einer Rechts- oder Linkskurve von der Straße abgekommen ist.

In Tabelle 8 werden die Unfälle mit Pannestreifen, dem Abkommens- sowie Geschwindigkeitswinkel, der dazugehörigen Geschwindigkeit bei Abkommen von der Fahrbahn auf einer Geraden nach rechts und dem dabei zurückgelegten Weg von der ersten Reaktion des Fahrzeuglenkers bis zum Verlassen der Fahrbahn, aufgezeigt.

Tabelle 8: Abkommensunfälle auf einer Geraden nach rechts, mit Abkommenswinkel, -geschwindigkeit und dem zurückgelegten Weg

Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden		Abkommengeschwindigkeit in km/h	Weg bis zum Verlassen der Fahrbahn in m
Abkommenswinkel in °	3		
Geschwindigkeitswinkel in °	3	130	22
		110	38
		130	0
Abkommenswinkel in °	4		
Geschwindigkeitswinkel in °	4	127	15
Abkommenswinkel in °	5		
Geschwindigkeitswinkel in °	5	120	33
Abkommenswinkel in °	6		
Geschwindigkeitswinkel in °	6	106	28
Geschwindigkeitswinkel in °	7	140	84
Abkommenswinkel in °	7		
Geschwindigkeitswinkel in °	8	119	63
Abkommenswinkel in °	8		
Geschwindigkeitswinkel in °	4	88	25
Abkommenswinkel in °	10		
Geschwindigkeitswinkel in °	8	94	17
Abkommenswinkel in °	11		
Geschwindigkeitswinkel in °	7	97	28
Abkommenswinkel in °	14		
Geschwindigkeitswinkel in °	15	77	34
Abkommenswinkel in °	134		
Geschwindigkeitswinkel in °	9	88	71

Nachdem sich alleine anhand des zurückgelegten Weges wie in Tabelle 8 dargestellt, kein aussagekräftiger Hinweis auf das Potential oder auf eine Vermeidung ergibt, werden die nach den Limitationen erhaltenen Abkommensunfälle auf einer Geraden nun in Verbindung mit den angeführten verschiedenen Reaktionszeiten und den unterschiedlichen Abständen der Rumble Strips zur Fahrbahnbegrenzungslinie, untersucht. Um anhand dieser Untersuchung den noch für eine Reaktion zur Verfügung stehenden Weg heraus zu bekommen und damit die Zeit, anhand der eine Aussage darüber getroffen werden kann, ob der Unfall durch eine Installation von SRS verhindert werden hätte können oder nicht.

Reaktionsdauer

Um das Potential einer Rumble Strips Installation feststellen zu können, werden drei differente Reaktionszeiten, im Zusammenhang mit dem Abkommenswinkel, der Geschwindigkeit und dem Abstand der Rumble Strips zur Begrenzungslinie, untersucht. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben sind Reaktionszeiten abhängig von Alter, Übermüdungszustand, Lichtverhältnissen u.v.m.

Aus der dort vorliegenden Auflistung der unterschiedlich, bei Versuchen und Studien auftretenden Reaktionsdauern, werden repräsentativ für die Situationen normale Fahrt, abgelenkt oder übermüdete Fahrt und den Sekundenschlaf, drei Reaktionsdauern herausgenommen.

Zu weiteren Berechnungen wird der Wert für eine normale, typische Fahrsituation mit 1 s eingesetzt. Begründet wird dies dadurch, dass laut der in Tabelle 6 angeführten Reaktionsdauern im zentralen Gesichtsfeld, sich das 98%-Perzentil sowohl nach Burckhardt [42] als auch nach der Empfehlung des 20. Verkehrsgerichtstag [40, 1998b] zwischen 0,99 – 1,03 s befindet. Dieser Wert beinhaltet bereits sowohl die Reaktionsgrundzeit als auch die Umsetzzeit und die Ansprechzeit. Nachdem es sich bei den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen aber nicht um eine Bremsituation handelt, sondern um ein Ausweichmanöver wird anstatt der Ansprechzeit der Bremsanlage die Lenkstellzeit berücksichtigt. Beide Werte befinden sich nach Grandel J. [38, 1980] im Bereich zwischen 0,015 und 0,05 s.

Der Reaktionsdauerwert für eine Unfallsituation, in der ein Fahrzeuglenker z.B. abgelenkt wurde oder andere unterschiedliche Umstände zu Unachtsamkeit führten wurde mit 1,5 s angenommen. Basierend ist diese Annahme wiederum auf den Ergebnissen von Burckhard und der Empfehlung des 20. Verkehrsgerichtstages aus Tabelle 6. Hier wird zur Reaktionsgrundzeit, der Umsetzzeit und der Lenkstellzeit auch noch die Zeit addiert, die für eine Blickzuwendung unter 5 ° benötigt wird.

Eine Reaktionsdauer von 2 s wird schlussendlich angenommen, wenn der Fahrzeuglenker stark übermüdet am Steuersitz oder es zu einem Sekundenschlaf gekommen ist. Vergleichsweise wird hier dieser Wert herangezogen welcher sich auch bei einer Blutalkoholkonzentration von 2,5 Promille (siehe Kapitel 3.4) ergibt.

Um ein Abkommen von der Straße zu verhindern ist ein Lenkvorgang und somit ein Ausweichmanöver notwendig. Für das Ausweichen wird ebenfalls eine gewisse Zeit benötigt, die sich aus dem für ein Ausweichen notwendigen Versatz, der mittleren maximalen Beschleunigung und der Lenkverlustzeit ($\sim 0,1$ s) ergibt. Die mittlere maximale Beschleunigung ist außerdem vom Reifentyp und der maximalen Verzögerung ($\sim 10 \text{ m/s}^2$) abhängig. Wird nun ein Ausweichversatz von 1 m angenommen so kann die zum Ausweichen benötigte Zeitdauer zwischen 0,55 – 0,7 s angenommen werden. Diese wird auch als fahrphysikalische Grenze bezeichnet [64, 2009c] und beschreibt die laut Untersuchungen von Honda [57, 2005f] in Bezug auf die subjektive Bewertung von Ausweichmanövern ergibt sich für die zum Ausweichen benötigte Zeit, ein Bereich zwischen 1,6 s und 2,5 s. Verglichen kann dieses Manöver ebenfalls mit einem Spurwechsel werden, welcher laut Studien [41, 2007c] innerhalb von ca. 2,5 s vollständig abgeschlossen ist.

Anhand dieser Angaben werden für die weiteren Untersuchungen zur Unfallvermeidung und zur Auswertung der Ergebnisse aus den Realunfällen zwei unterschiedliche Fälle betrachtet. Als untere Grenze wird ein Wert von 1,6 s für ein abruptes Ausweichmanöver angenommen (Ausweichversatz 1 m) und als oberer Grenze wird für einen Spurwechselvorgang (siehe Abbildung 33) ein Wert von 2,5 s angenommen. Der hier angenommene Ausweichversatz beträgt rund 3 m.

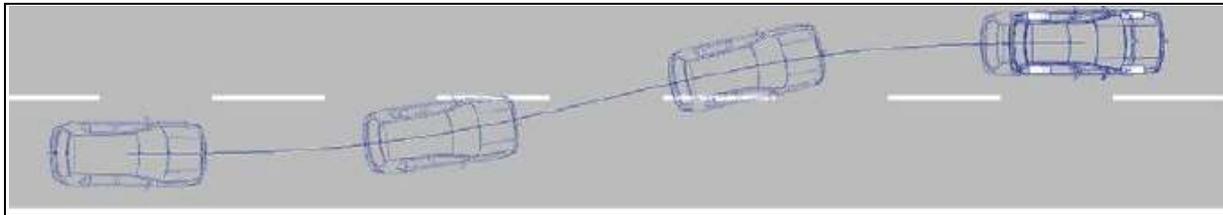


Abbildung 33: Spurwechselvorgang [41, 2007c]

Pannestreifenbreite

Um die Berechnungen zu vereinfachen wurden die unterschiedlichen Pannestreifenbreiten durch eine Durchschnittsbreite ersetzt.

Ein Pannestreifen weist auf Österreichs Autobahnen, laut Regelquerschnitt RQ 36 [34] eine Breite von 3 m auf und laut RQ 28 und RQ 33 eine Breite von 2,5 m. Durchschnittlich ergibt sich also einen Pannestreifenbreite von 2,75 m welche auch zur Analyse und Abschätzung der Unfallvermeidung herangezogen wurde. Entscheidend für die Untersuchung ist die Breite wegen dem zur Verfügung stehenden Platzangebotes eine unfallvermeidende Reaktion, folgend auf das Überfahren der Shoulder Rumble Strips zu zeigen.

Abstand der RS zur Fahrbahnbegrenzungslinie

Dabei außerdem maßgebend ist der Abstand der Rumble Strips zur Fahrbahnbegrenzungslinie. Es wurde für vier unterschiedliche Werte eine Berechnung durchgeführt. Die erste Angabe über den Abstand mit 0 m, beschreibt die Installation der Rumble Strips direkt auf der Begrenzungslinie. Der zweite Wert wird mit 0,25 m angenommen und beschreibt den Abstand ausgehend von der Begrenzungslinie Richtung Fahrbahnbankett. Bei den weiteren Abstandswerten der Rumble Strips von der Fahrbahnbegrenzungslinie handelt es sich um 0,55 m und 0,85 m.

4.2.1 Abkommensunfall nach rechts auf einer Geraden

Abbildung 34 zeigt, die für die weiteren Berechnungen zugrundeliegenden Überlegungen für Abkommensunfälle auf einer Geraden im Detail. Das heißt das Fahrzeug überfährt, dem Abkommenswinkel entsprechend, die am rechten Fahrbahnrand angebrachten SRS. Die Rumble Strips haben dabei den Abstand A von der Fahrbahnbegrenzungslinie. Danach vergehen reaktionszeitabhängig 1 s, 1,5 s oder 2 s in denen sich das Fahrzeug, mit der Abkommensgeschwindigkeit V ohne jegliche Handlung oder Reaktion, weiter Richtung Bankett bewegt und dabei einen entsprechenden Weg ZW zurück legt (blau). Ausgewertet wurde jetzt jener Weg RW (orange), der nach Ablauf der Reaktionszeit noch für eine unfallvermeidende Handlung wie zum Beispiel ein Ausweichmanöver o.Ä. zur Verfügung steht, bis es endgültig zu einem Verlassen der Fahrbahn kommt. Anschließend wurde der verbleibende Weg RW unter Berücksichtigung der Abkommensgeschwindigkeit in die noch zu verbleibende Zeit, bis zum Abkommen von der Fahrbahn umgerechnet. Diese verbleibende Zeit für eine unfallvermeidende Reaktion wird in weiterer Folge mit RZ bezeichnet. Mittels RZ kann, mit den zuvor beschriebenen Annahmen von der Dauer eines Ausweichmanövers (1. Fall: 1,6 s) oder Spurwechsels (2. Fall: 2,5 s), darauf geschlossen werden ob die Zeit für eine Unfallvermeidung gereicht hätte.

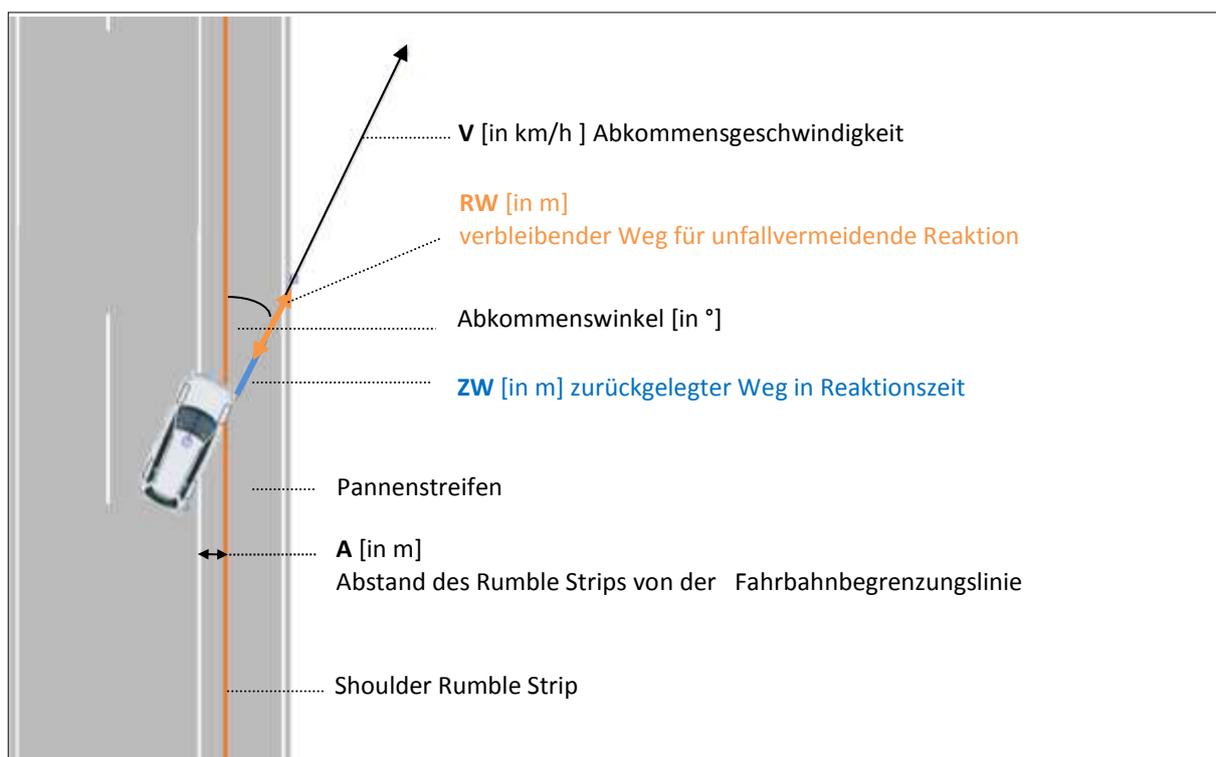


Abbildung 34: Abstandsberechnungsgrundlage der Rumble Strips für gerade Straßenstücke

4.2.2 Abkommensunfall nach rechts in einer Kurve

In Abbildung 35 ist der Sachverhalt für die Berechnung des noch verbleibenden Weges RW und der verbleibenden Zeit RZ für den Fall einer Rechtskurve und einer Linkskurve und dem Abkommen nach rechts dargestellt.

In den Berechnungen wird für den Fall einer **Rechtskurve** der Abstand A von dem vorliegenden Kurvenradius KR subtrahiert und ergibt mit dem Abkommenswinkel und der Differenz aus Kurvenradius und Pannenstreifenbreite, den gewünschten noch verbleibenden Weg RW .

Bei den notwendigen Berechnungen für die Abkommensunfälle in einer **Linkskurve** wird ausgehend von der Summe aus Kurvenradius und dem Abstand A von der Begrenzungslinie in Kombination mit dem Abkommenswinkel und der Summe aus Kurvenradius und Pannenstreifenbreite, der noch zur Verfügung stehende Weg RW der notwendig ist um einen Unfall zu vermeiden, berechnet.

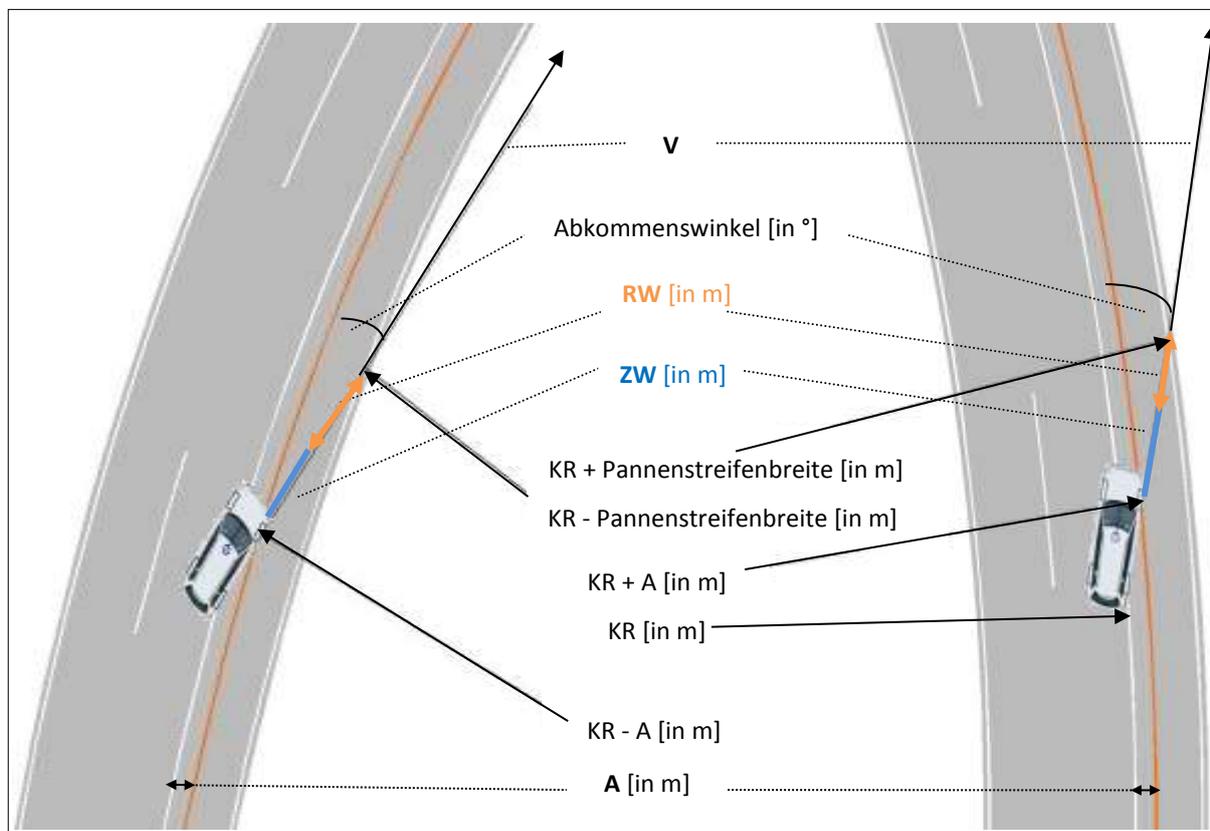


Abbildung 35: Abstandsberechnungsgrundlage der Rumble Strips für eine Rechts- und eine Linkskurve

5 MATERIAL

Die Daten aus den rekonstruierten tödlichen Verkehrsunfällen werden, wie bereits erwähnt, in die Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen (ZEDATU) eingegeben. Um die nachfolgenden Analysen und Auswertungen durchführen zu können, werden mit Hilfe der überaus detaillierten Informationen aus der Datenbank, die unfallrelevanten Parameter untersucht und verglichen. Dabei handelt es sich beispielsweise um die unterschiedlichen Abkommens- und Geschwindigkeitswinkel, die Abkommensgeschwindigkeit oder aber auch die Reaktionszeiten und der dabei zurückgelegte Weg. Die Daten und deren Verbindungen miteinander werden in Abbildung 36 gezeigt. Um die Zusammenhänge der Unfalldaten und Parameter und deren Beziehungen effektiv auszuwerten werden gewisse Einschränkungen getätigt.

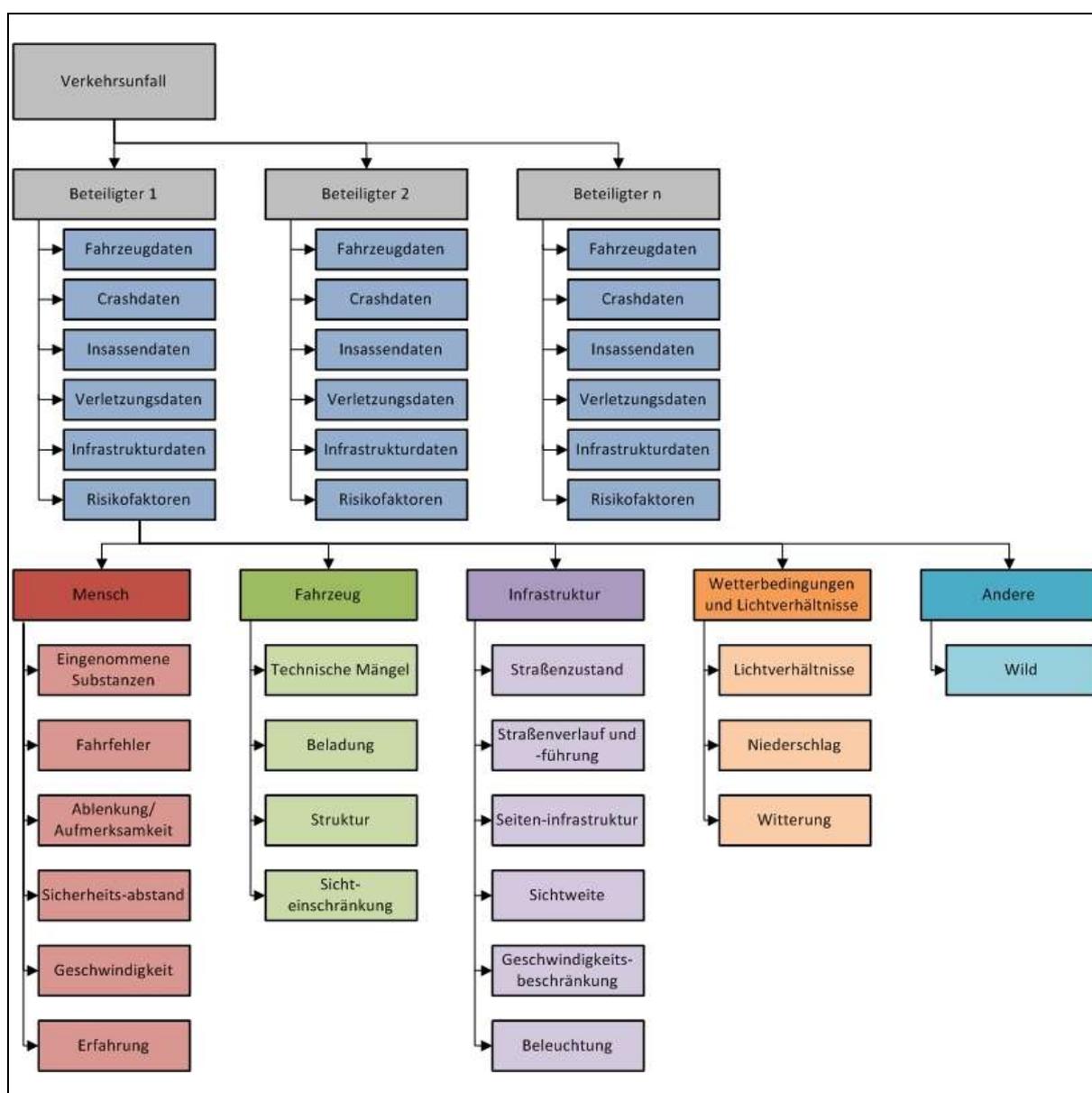


Abbildung 36: Tabellenübersicht zur detaillierten Unfallanalyse und Auswertung

6 EINSCHRÄNKUNGEN

Die ZEDATU umfasst detaillierte Daten von etwa 2630 tödlichen Verkehrsunfällen, was bedeutet dass in dieser Arbeit weder Unfälle mit schwer, noch mit leicht verletzten Fahrzeuglenkern berücksichtigt wurden. Die Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf Verkehrsunfälle mit tödlichem Ausgang. Des Weiteren werden nur jene Unfälle betrachtet, welche sich am hochrangigen Straßennetz ereigneten. Das umfasst also all diese Szenarien, die sich auf österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen ereigneten.

Bei den Auswertungen für die Potentialabschätzung von Rumble Strips werden alle sich in der Datenbank befindlichen Unfälle herangezogen, die sich durch Abkommen von der Straße ereigneten.

Zusätzliche Einschränkungen werden bezugnehmend auf die Seite des Abkommens getroffen. Es handelt sich hierbei ausschließlich um Abkommensunfälle nach rechts weshalb sich die Untersuchung auf SRS limitieren lässt.

Betrachtet werden außerdem nur jene Unfälle, bei denen ein PKW, Van oder Kleinbus involviert ist, außerdem wird lediglich die Sitzposition eins in der ersten Sitzreihe, also der Fahrer jedes Fahrzeuges in der Auswertung beleuchtet.

Ebenfalls können jene Fahrzeuge nicht berücksichtigt werden, welche infolge eines technischen Defektes die Fahrbahn verlassen haben. Der Hintergrund für diese Einschränkung ist die Faktizität, dass Rumble Strips im Falle eines technischen Gebrechens ein Abkommen von der Straße nicht verhindern könnten bzw. damit eine entsprechende Reaktion nicht sachgemäß ausgeführt werden kann und somit ein Unfall nicht vermeidbar ist.

Aus den vorherig angeführten Restriktionen ergeben sich rund 93 Unfälle, die für eine weitere Auswertung zur Verfügung stehen.

7 ANALYSE UND AUSWERTUNG

Die 93 tödlichen Verkehrsunfälle, welche aus den zuvor erwähnten Limitationen herausgehen werden im Folgenden nun hinsichtlich ihrer Startgeschwindigkeit, zulässigen Höchstgeschwindigkeit, Abkommens- und Schwimmwinkel und dergleichen untersucht. Es werden außerdem Kollisionsgeschwindigkeiten und Objekte mit denen es zu einer Kollision kam ausgewertet.

Die **Startgeschwindigkeit** ist jene Geschwindigkeit, die das Unfallfahrzeug hat, bevor es in die Konfliktsituation kommt bzw. bevor sich der Unfall ereignet.

Abbildung 37 enthält sämtliche Startgeschwindigkeiten und die, auf den Abschnitten geltenden, Höchstgeschwindigkeitsbeschränkungen aller Unfälle auf Autobahnen und Schnellstraßen, unter Berücksichtigung der oben genannten Einschränkungen. Bei einer geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h ereignen sich 18,3 % der Abkommensunfälle bei einer Startgeschwindigkeit von 130 km/h, 9,7 % bei 145 km/h und 7,5 % bei 120 km/h Startgeschwindigkeit. Insgesamt passieren 61,3 % aller 93 hier untersuchten Abkommensunfälle bei einer Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h. Bei einer geltenden Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h kommen rund 6,5 % mit 120 km/h in eine Konfliktsituation, 4,3 % mit 135 km/h und 3,2 % mit 100 km/h. Insgesamt haben 66,7 %, in Streckenabschnitten mit einer geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h, die Geschwindigkeitsbegrenzung überschritten. 2,2 % sind bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h mit 130 km/h von der Fahrbahn abgekommen.

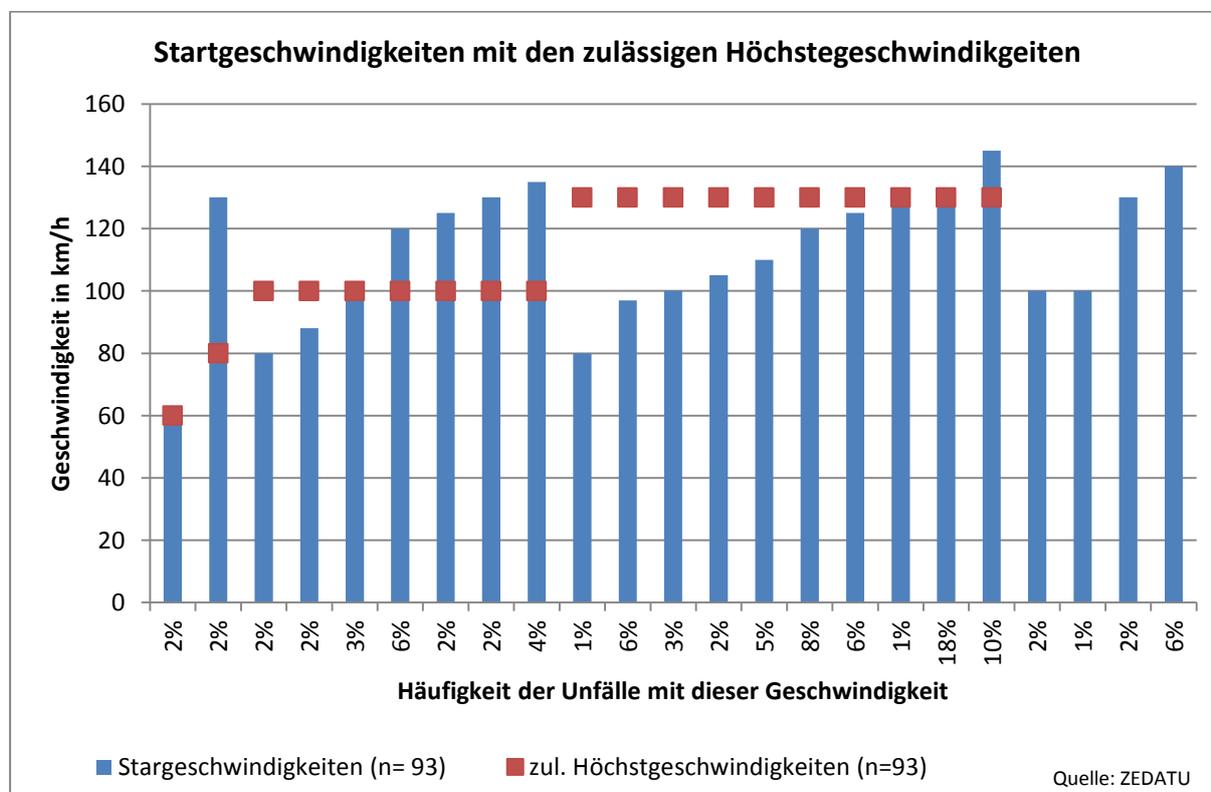


Abbildung 37: Startgeschwindigkeit mit der entsprechenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Abbildung 38 zeigt die prozentuelle Verteilung der **Abkommenswinkel** der einzelnen Unfälle. Für die Auswertung konnten nur 90 der 93 vorhandenen Abkommensunfälle herangezogen werden, da es bei den verbleibenden 3 Unfällen keine Angaben zum Abkommenswinkel gab. Der am häufigsten auftretende Abkommenswinkel mit einem Prozentanteil von 26,7 % liegt bei 3 Grad. Mit 6 Grad sind 13,3 % von der Fahrbahn abgekommen, 7,8 % haben mit 10 Grad die Fahrbahn verlassen, 6,7 % mit einem Winkel von 2 Grad und 4,4 % verließen die Fahrbahn mit 36, 48, und 1 Grad. Insgesamt wiesen 42 % einen Abkommenswinkel zwischen 1 und 5 Grad auf und 82 % sind bei einem Winkel kleiner als 12 Grad von der Fahrbahn abgekommen.

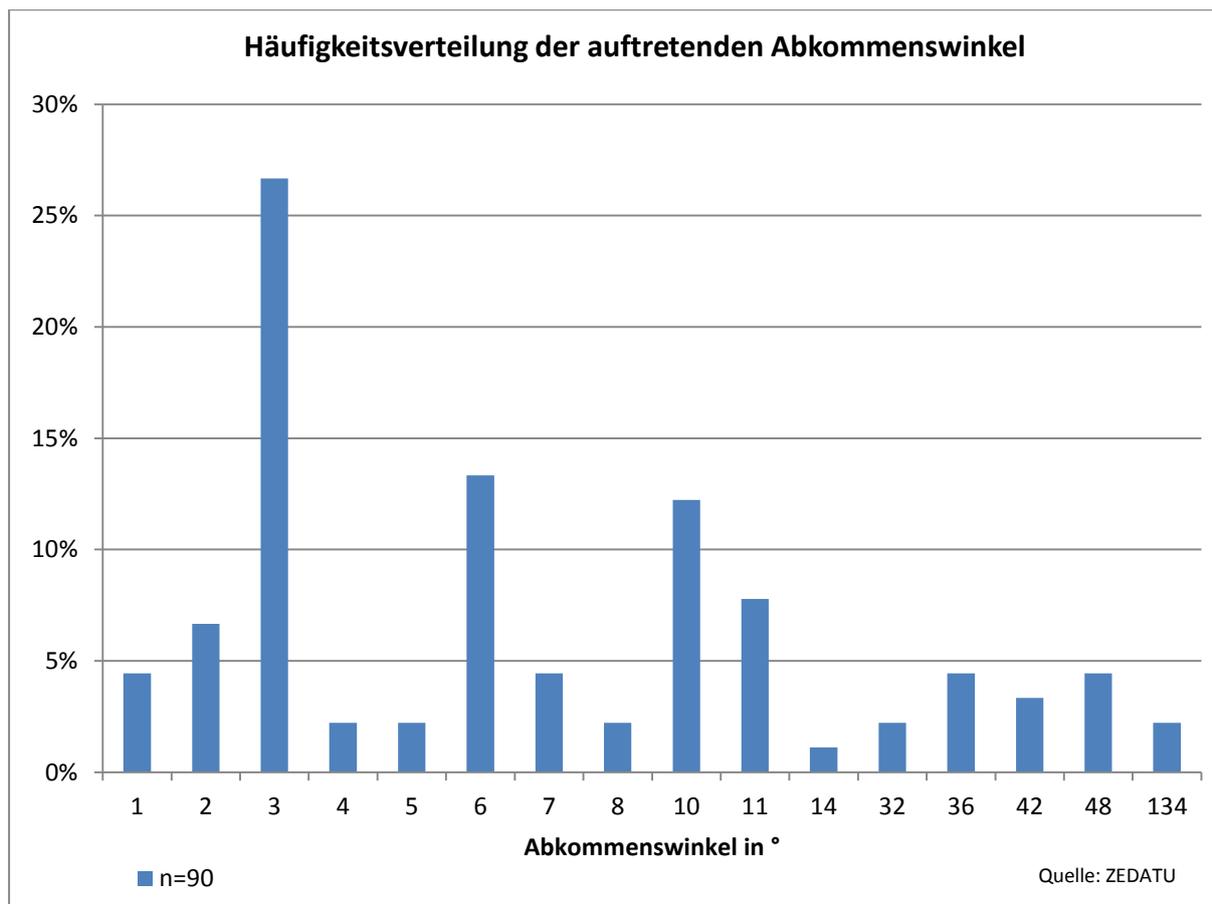


Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der auftretenden Abkommenswinkel

Der **Geschwindigkeitswinkel** und dessen Häufigkeitsverteilung über alle Abkommensunfälle wird in Abbildung 39 dargestellt.

Die bei einem Abkommen von der Straße mehrfach auftretenden Geschwindigkeitswinkel liegen mit 28 % und 19,4 % bei 3 bzw. 6 Grad. Mit einem Geschwindigkeitswinkel von 4 Grad kommen 10,8 % und mit 7 Grad 9,7 % aller 93 Verunfallten von der Fahrbahn ab. 6,5 % aller Fahrer haben einen Geschwindigkeitswinkel von 8 Grad. Mit einer Häufigkeit von 5,4 Prozent treten Winkel von 2 und 15 Grad auf. Insgesamt hatten 49,5 % einen Geschwindigkeitswinkel zwischen 1 und 5 Grad, 89,2 % verließen die Fahrbahn mit einem Geschwindigkeitswinkel zwischen 1 und 10 Grad und bei 96,8 % war der Geschwindigkeitswinkel zwischen 1 und 15 Grad.

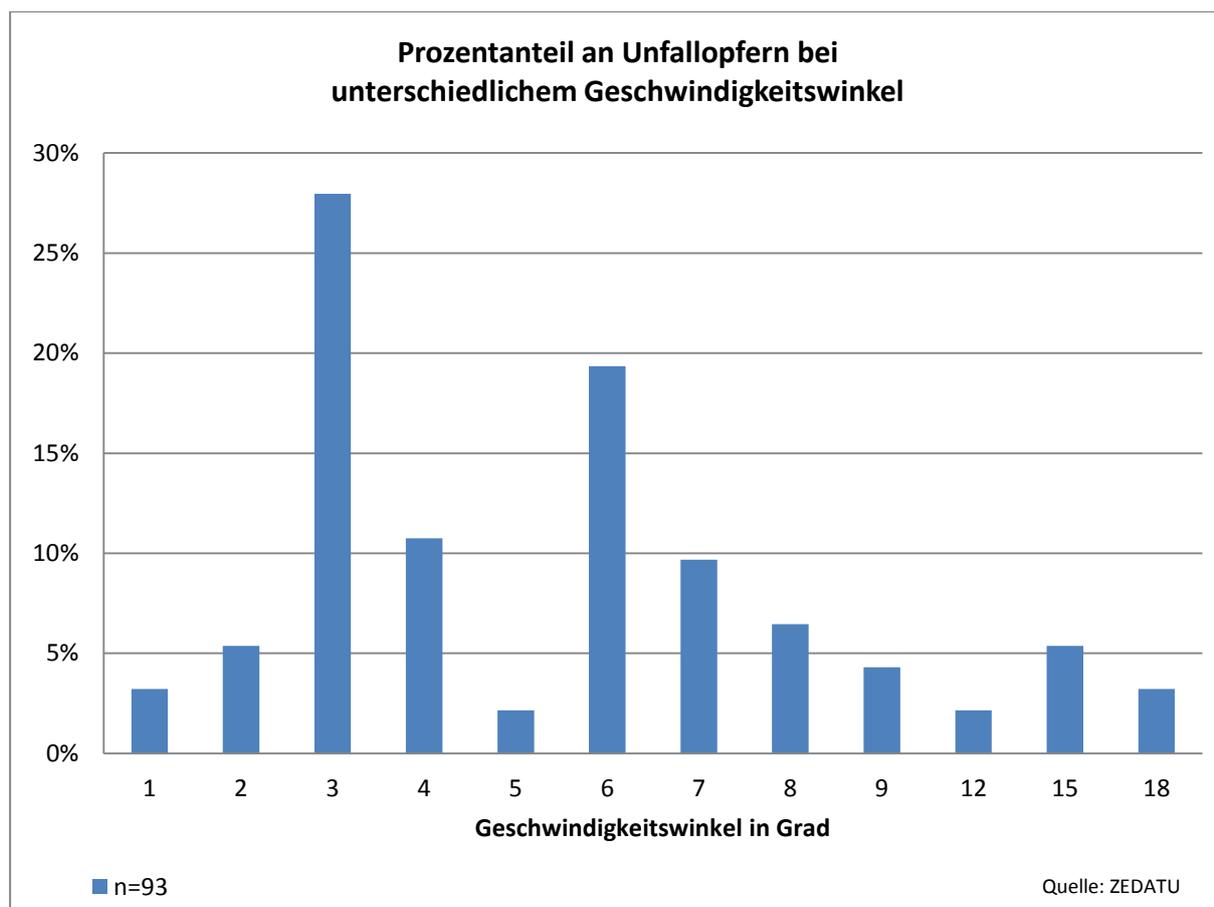


Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung von Unfallopfern bei unterschiedlichem Geschwindigkeitswinkel

In Abbildung 40 wird der, sich aus der Differenz des Abkommenswinkels und des Geschwindigkeitswinkels ergebende, **Schwimmwinkel** dargestellt.

38 von den 93 Unfällen konnten dabei für die Untersuchung herangezogen werden, da nur diese eine Information sowohl über den Abkommenswinkel als auch über den Geschwindigkeitswinkel enthielten. 39,5 % aller 38 untersuchten Unfälle wiesen einen Schwimmwinkel von 0 Grad auf, das bedeutet dass hier der Abkommenswinkel und der Geschwindigkeitswinkel einen gleich großen Wert hatten. 13,2 % hatten einen Schwimmwinkel von -1 Grad und 10,5 % einen von 4 Grad. Bei 5,3 % ergab sich ein Schwimmwinkel von 2 bzw. 33 Grad. Insgesamt war der Schwimmwinkel bei 18 % negativ, also war hier der Abkommenswinkel kleiner als der Geschwindigkeitswinkel und dies weist auf ein schleuderndes Fahrzeug hin. Das heißt von 38 untersuchten Unfällen kamen 7 schleudernd von der Straße ab. Bei 66 % ergab der Schwimmwinkel zwischen -2 und +2 Grad.

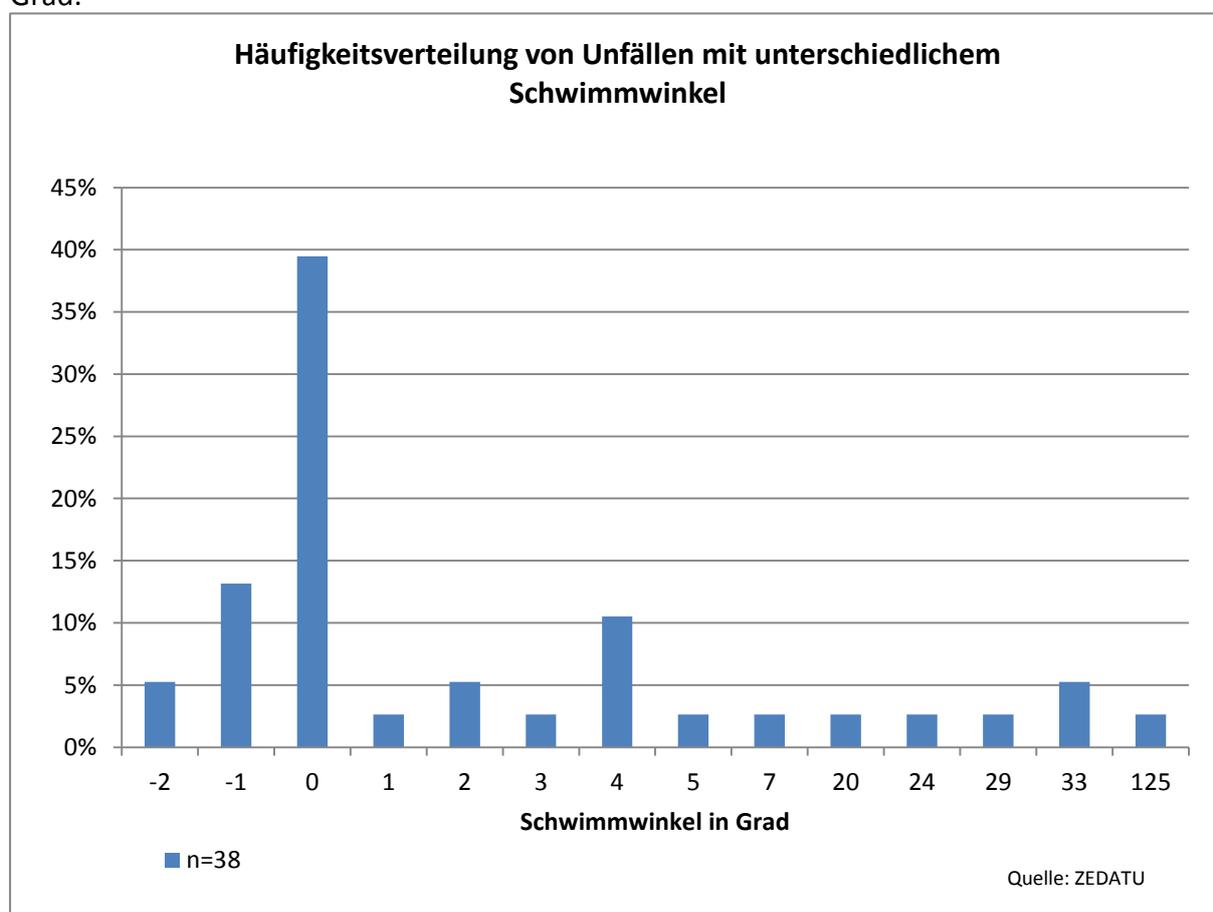


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung von Unfällen mit unterschiedlichem Schwimmwinkel

In Abbildung 41 ist der relative Anteil von 90 Abkommensszenarien und dessen **Abkommensgeschwindigkeiten** dargestellt. Die Abkommensgeschwindigkeit ist jene Geschwindigkeit, mit der das Fahrzeug die Fahrbahn verlässt. Jeweils 7,8 % der Fahrzeuge haben eine Fahrgeschwindigkeit von 130 km/h wenn sie von der Straße abkommen, rund 26,7 % fahren zu diesem Zeitpunkt zwischen 91 und 100 bzw. zwischen 121 und 130 km/h. zwischen 101 und 120 km/h fahren insgesamt 22 %. Eine Abkommensgeschwindigkeit über 131 km/h hatten 13 % aller Verunfallten.

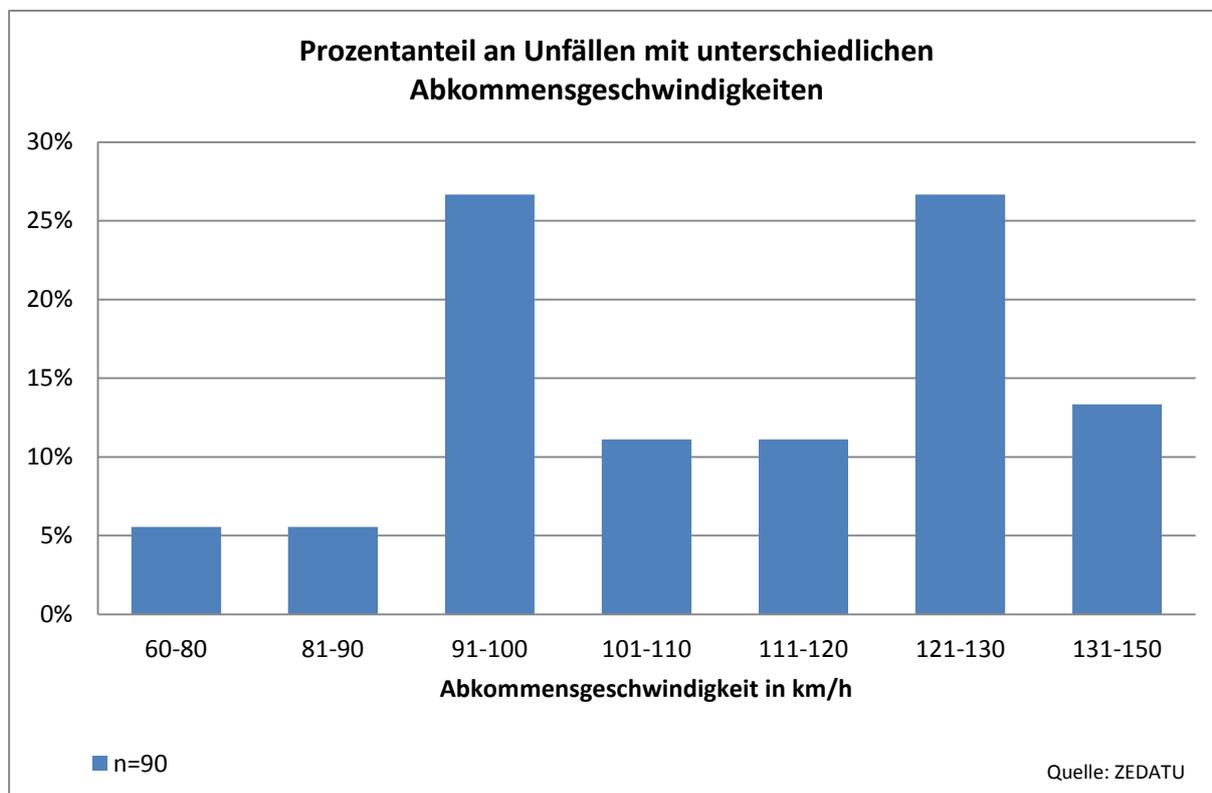


Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung von Unfällen mit unterschiedlichen Abkommensgeschwindigkeiten

Die Abkommensgeschwindigkeit in Verbindung mit der dort zulässigen Höchstgeschwindigkeit zeigt Abbildung 42. Bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 130 km/h kommen jeweils 7,3 % mit 96 und 142 km/h von der Fahrbahn ab, 6,1 % jeweils mit 105 und 130 km/h. Insgesamt haben 11 % aller 82 Fahrzeuglenker eine Abkommensgeschwindigkeit die über der zulässigen Geschwindigkeit von 130 km/h liegt. Bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h liegen rund 12,2 % über der zulässigen Geschwindigkeit. Die häufigste hier auftretende Abkommensgeschwindigkeit liegt mit fast 5 % bei 119 km/h.

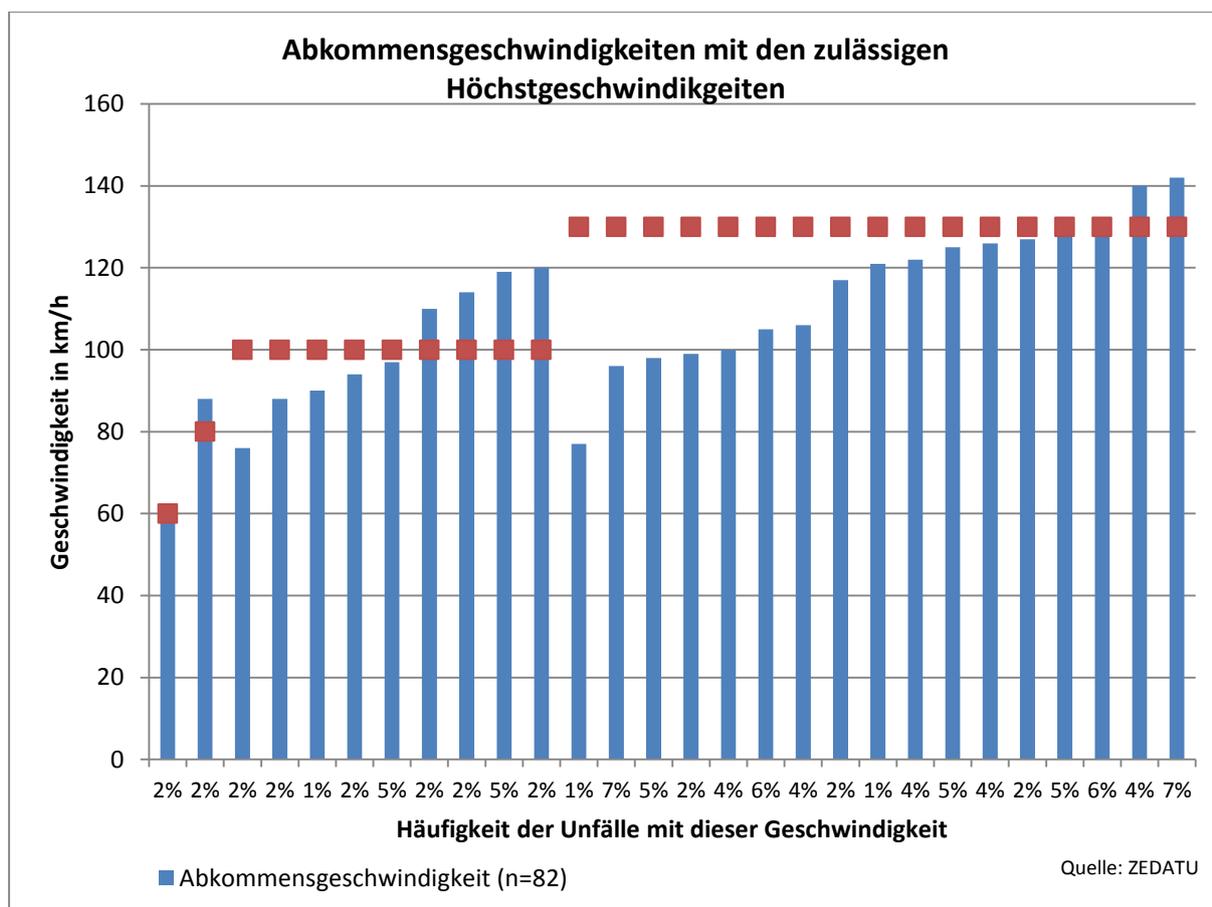


Abbildung 42: Abkommensgeschwindigkeiten mit den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten

Bei den verunglückten Unfallopfern kann angesichts der Verkehrsunfallkonstruktion darauf geschlossen werden, ob es seitens des Fahrers, zu einer **Reaktion** vor dem Abkommen von der Fahrbahn bzw. vor der Kollision kam oder nicht. (Abbildung 43). Darunter versteht man zum Beispiel das Verreißen des Kraftfahrzeuges, das Lenken oder Bremsen, was laut der vorliegenden Studie auf rund 56 Autofahrer zutrifft. Unter „keine Reaktion“ fallen zum Beispiel hierbei Fahrzeuglenker, die übermüdet waren oder wo es zu einem Sekundenschlaf gekommen war.

Der Auswertung zu Folge reagierten insgesamt 57 % aller 93 Fahrzeuglenker in irgendeiner Art und Weise auf das bevorstehende Abkommen. 37 % ließen keine Reaktion erkennen. Bei den verbleibenden 6 % konnten keine Angaben darüber gemacht werden, ob es zu einer Reaktion gekommen ist oder nicht.

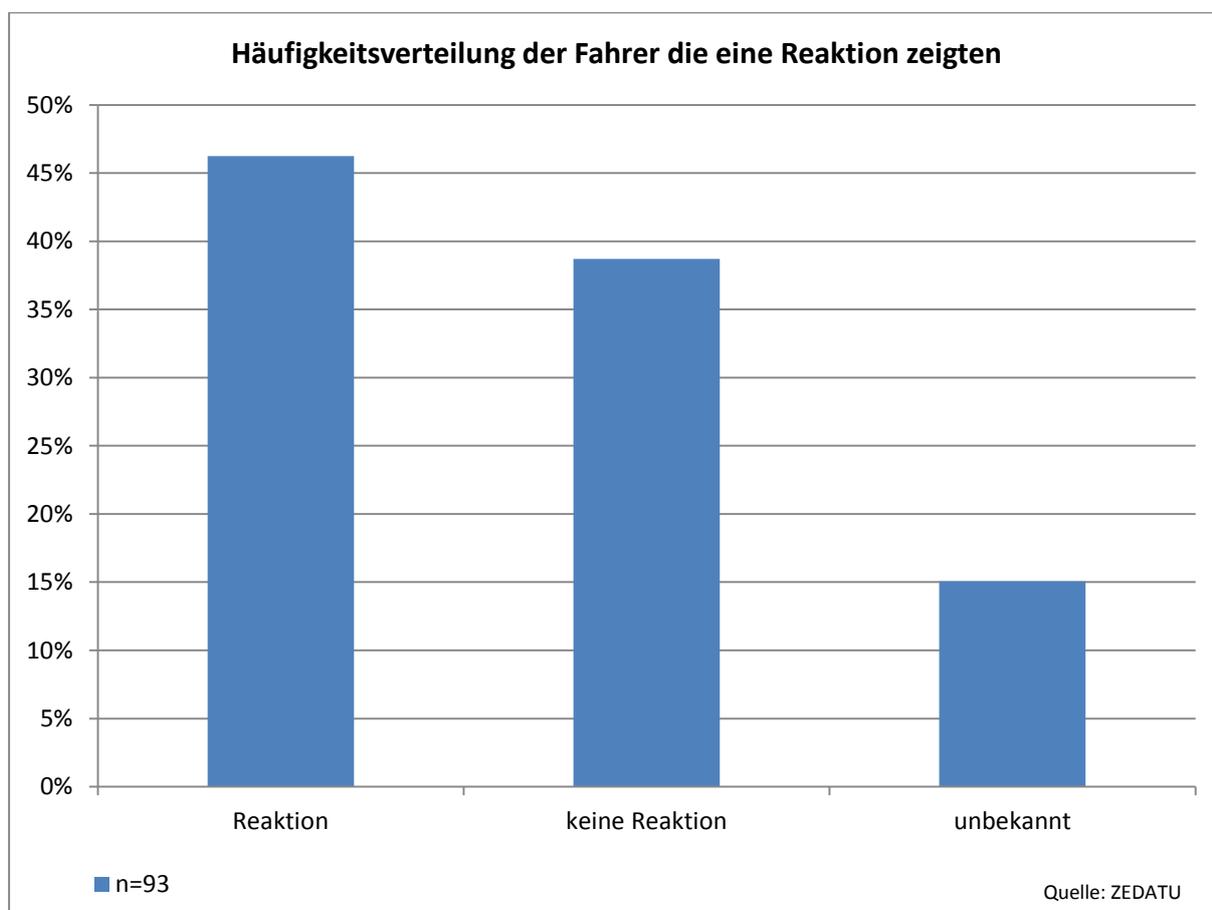


Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der Fahrer die eine Reaktion zeigten

Nach dem Abkommen von der Fahrbahn kommt es in den meisten Fällen früher oder später, mit einer gewissen Kollisionsgeschwindigkeit, zu einem Zusammenstoß mit einem am Fahrbahnrand befindlichen Gegenstand oder mit einem Kollisionsgegner, der sich in einem größeren Abstand zum Fahrbahnrand befindet.

In Abbildung 44 wird die Häufigkeitsverteilung der **Kollisionsgeschwindigkeiten** und die dazugehörigen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in den Abschnitten, in denen es zu einer Kollision gekommen ist, dargestellt. Mit einer Häufigkeit von 8 % kam es bei 65, 93, 105 und 129 km/h zu einer Kollision. Mit 114 km/h kollidierten 6,7 % aller 75 ausgewerteten Fahrzeuglenker, mit 58 und 123 km/h kollidierten jeweils 5,3 %. Insgesamt hatten die meisten Fahrzeuge (63 %) eine Geschwindigkeit zwischen 101 und 130 km/h zum Zeitpunkt der Kollision, 8 % fuhren mit einer Geschwindigkeit zwischen 81 und 100 km/h und 12 % zwischen 131 und 140 km/h. Bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h haben zum Kollisionszeitpunkt 5 % diese überschritten. 12 % der Fahrzeuglenker waren bei einer beschränkten zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h zu schnell unterwegs. Im Bereich zwischen 60 und 80 km/h kam es zu keiner Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

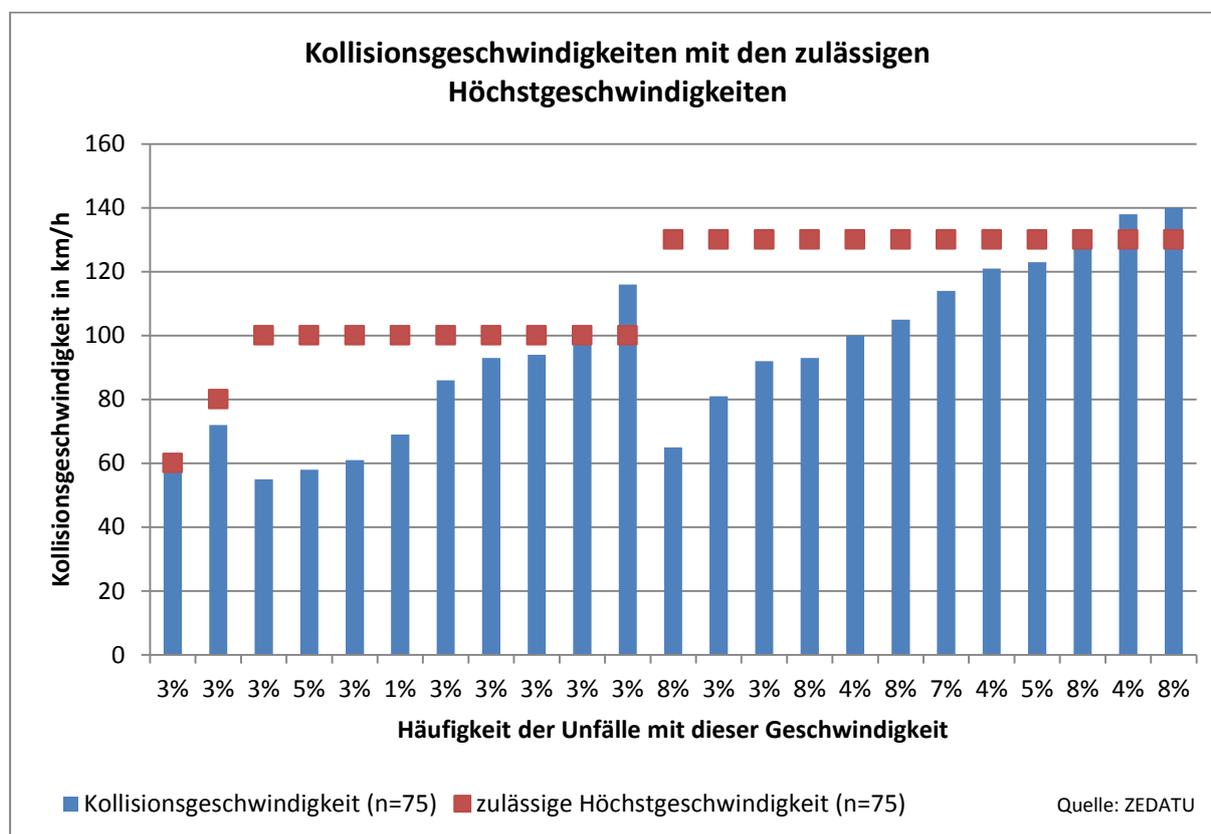


Abbildung 44: Kollisionsgeschwindigkeiten mit den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten

Die unterschiedlichen **Kollisionsgegner** bei Abkommensunfällen nach rechts werden in Abbildung 45 dargestellt. Am häufigsten kommt es nach dem Abkommen von der Straße zu einer Kollision mit einer Leiteinrichtung (Absenker), es handelt sich dabei um 29,4 % aller 85 Abkommensunfälle. Die Häufigkeit des Zusammenstoßes mit Leitschienen aus Beton beträgt 7,1 % mit Leitschienen aus Stahl 10,6 % und mit Leitschienen ohne nähere Angaben über den Werkstoff 5,9 %. Insgesamt kollidierten 23,5 % mit Leitschienenanlagen. Das nächst Häufigste Kollisionsobjekt ist der Boden mit 8,2 % gefolgt von Brückenabgrenzungen oder Tunnelportalen mit 7,1 % und der Wand mit 4,7 %.

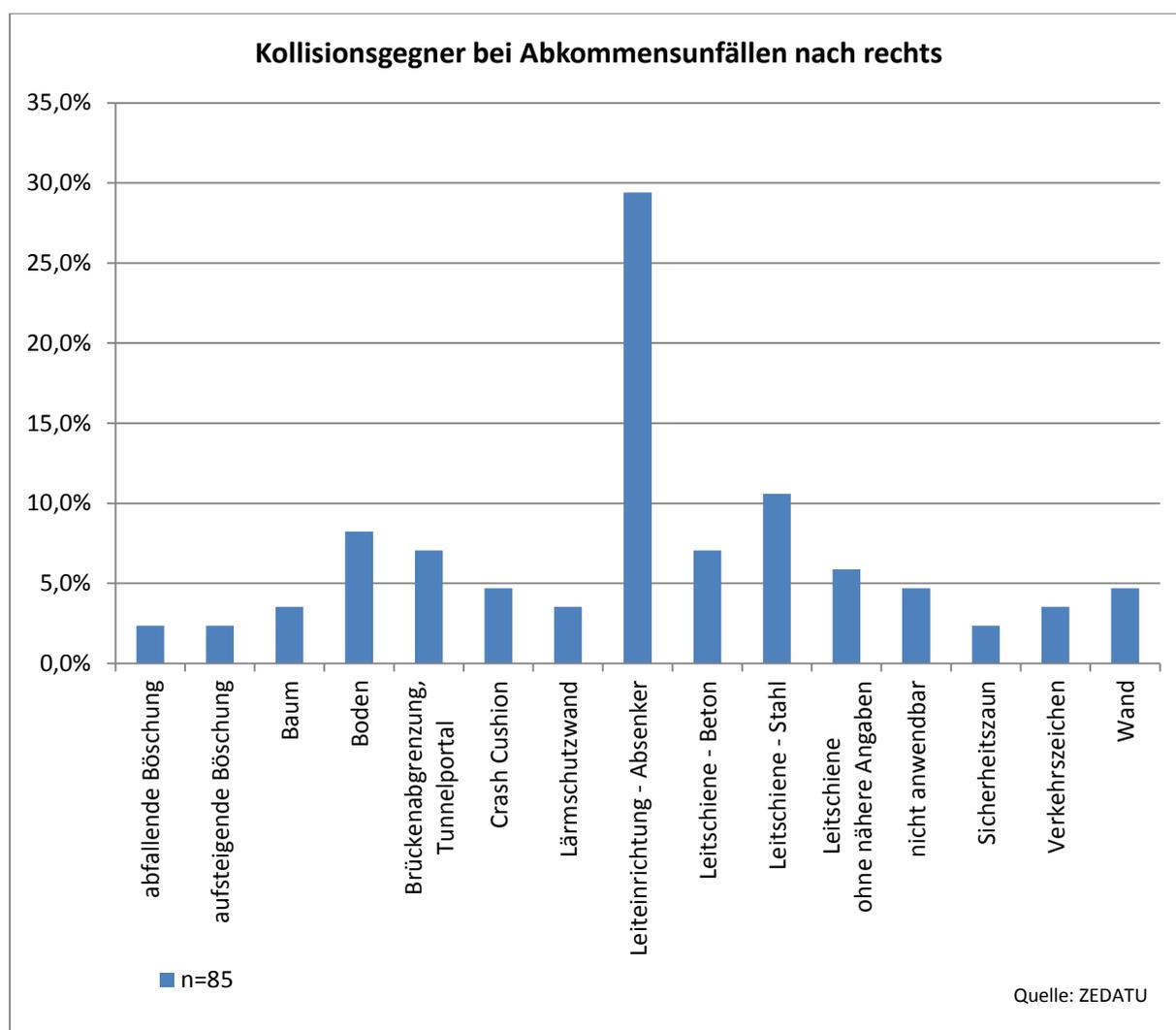


Abbildung 45: Kollisionsgegner bei Abkommensunfällen nach rechts

Um aussagekräftigere Ergebnisse, in Bezug auf die Zweckmäßigkeit von Rumble Strips und deren Vorteile zu erhalten werden wie in Abbildung 46 dargestellt, die Abkommensunfälle (n=92) dahingehend unterteilt, ob die Fahrzeuglenker bei einem geraden Straßenstück von der Fahrbahn abgekommen sind oder ob dies in einer Kurve der Fall war.

Fast 70 Prozent verlassen die Fahrbahn in einer Kurve. Weiters können Angaben darüber gemacht werden ob es am Kurvenbeginn (10 %), in der Kurvenmitte (43,5 %) oder am Kurvenende (16,3 %) zum Verlassen der Fahrbahn gekommen ist. Dabei auffallend ist, dass bei 43,5 % aller in Kurven abkommender Fahrzeuge, es in der Kurvenmitte zu einem Abkommen von der Fahrbahn kam.

Die verbleibenden 30,4 % der gesamten Fahrzeuglenker sind auf geraden Straßen von der Fahrbahn abgekommen das entspricht einer Anzahl von 28 Fahrzeuglenkern.

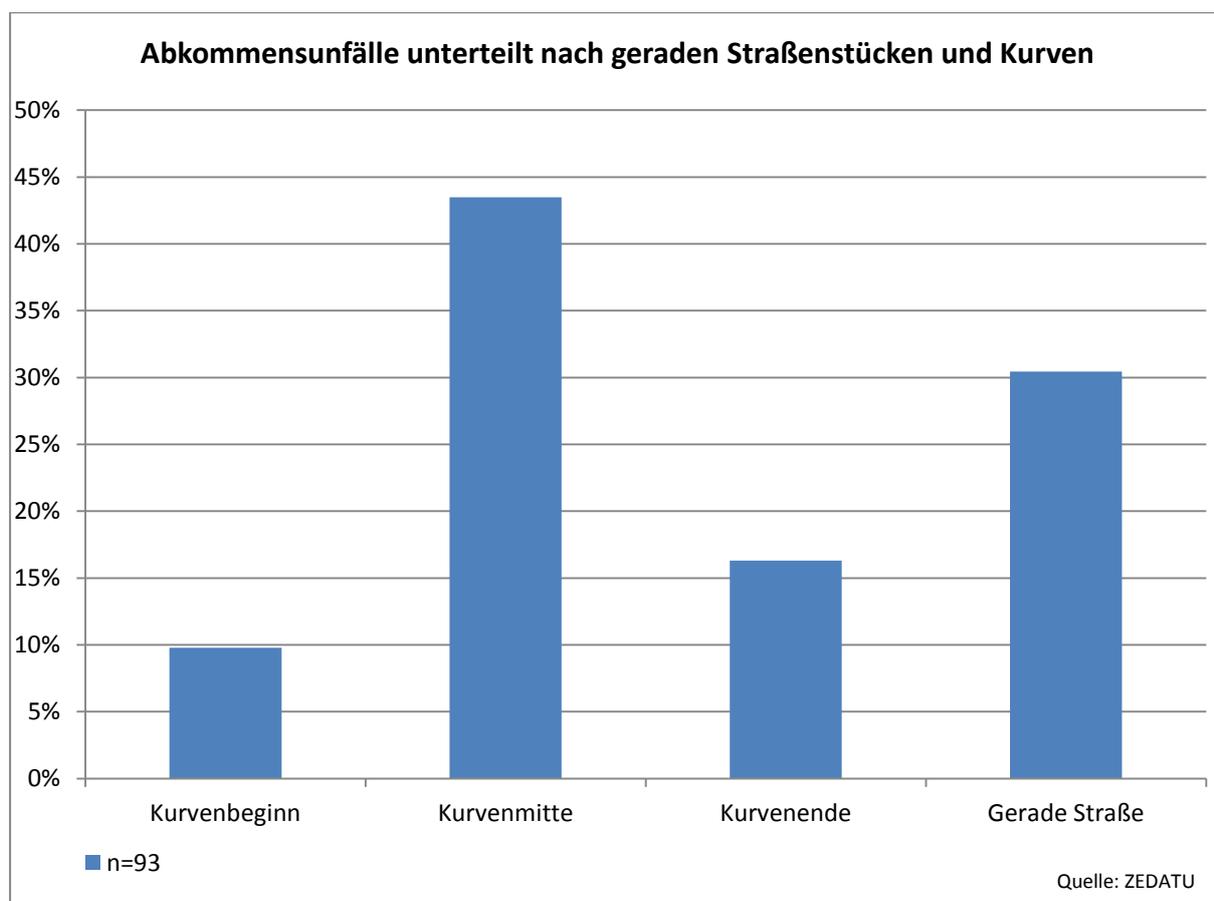


Abbildung 46: Abkommensunfälle unterteilt nach geraden Straßenstücken und Kurven

Im Vergleich dazu, weichen die Ergebnisse der nationalen Statistik (Statistik Austria) zwischen 2002 und 2010 erheblich von denen der ZEDATU ab. Hier ereigneten sich 351 Unfälle aller 379 verursachten Abkommensunfälle (92,6 %) auf Geraden und lediglich 28 (7,4 %) in Kurven. Hier würden detailliertere Informationen zum Unfallort und eine genaue Betrachtung der Unfallstrecke, im Bezug darauf, ob sich tatsächlich um ein Geradenstück handelt oder ob sich die Abkommenstelle in einer Kurve mit sehr großem Radius befindet, genauere Aufschlüsse geben.

Vor allem im Zusammenhang mit übermüdeten Fahrzeuglenkern und Unfällen durch Sekundenschlaf spielen die **Kurvenradien** eine erhebliche Rolle. Handelt es sich nämlich um einen großen Kurvenradius und der Fahrzeuglenker fährt auf einer vermeintlichen Geraden weiter gerade aus, so führt dies zu einem Abkommen von der Straße.

Bei der Unfallrekonstruktion und der folgenden Eingabe der Unfalldaten in die ZEDATU, wird der Radius der Kurve in der sich der Verkehrsunfall ereignete aufgenommen. Abbildung 47 zeigt die angegebenen Kurvenradien nach Häufigkeit ihres Auftretens bei einem Abkommensunfall nach rechts. Einen Kurvenradius zwischen 1 m und 500 m hatten 7 % der Kurven. Die meisten Abkommensunfälle nach rechts ereigneten sich in einer Kurve, mit einem Radius zwischen 501 m und 1000 m (34 %). Zwischen einem Radius von 1001 und 1500 m liegen rund 18 % und zwischen 1501 und 2000 m 15 %. Konkludierend kann gesagt werden, dass 90 % der Radien zwischen 501 und 3000 m liegen, zwischen einem Radius von 1001 und 4000 m sind es 51 %.

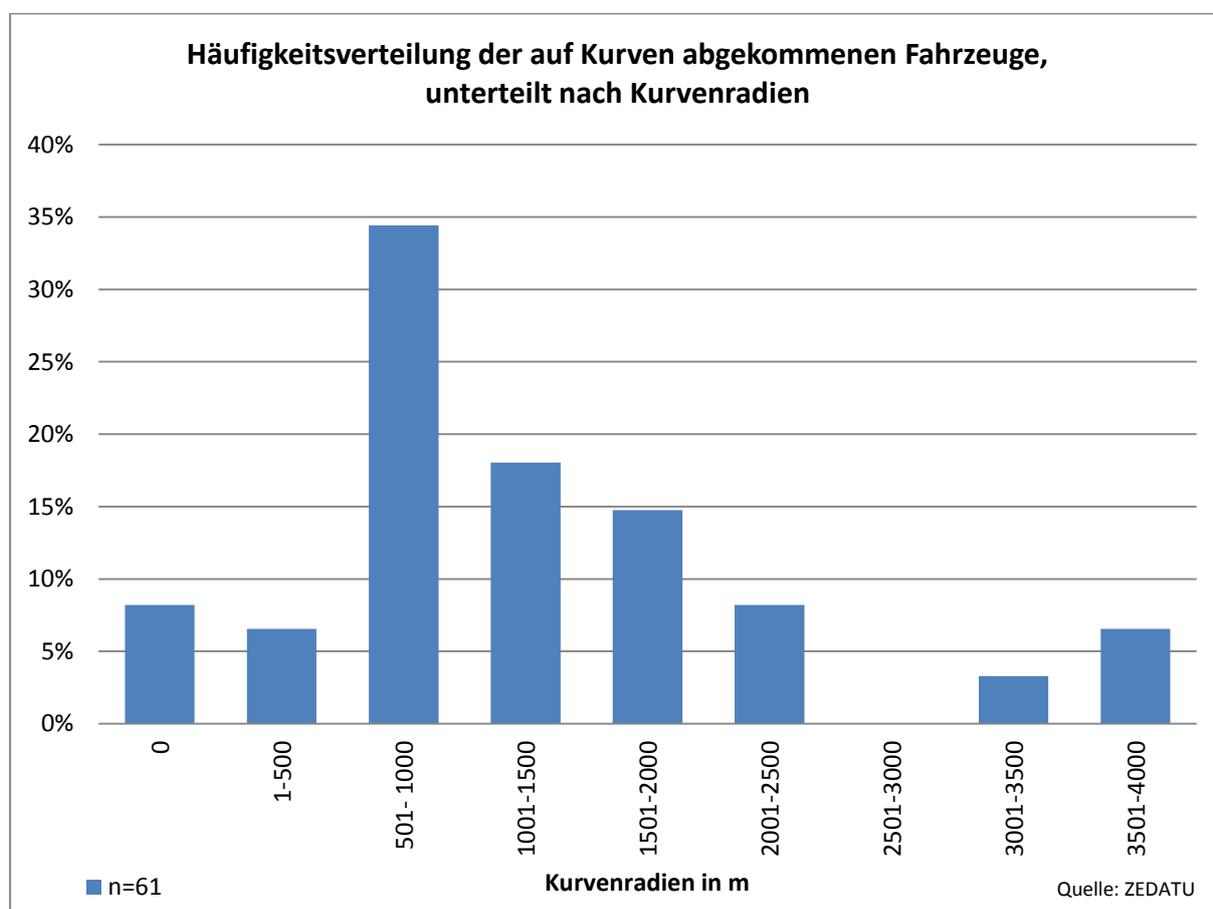


Abbildung 47: Die auf Kurven abgekommenen Fahrzeuge, unterteilt nach Kurvenradien

Abkommensunfälle nach rechts auf Geraden

Die Vorgehensweise und die Überlegungen, die den folgenden Berechnungen zugrunde liegen, wurden bereits in Kapitel 4.2.1 geschildert.

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der 11 untersuchten Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden, die sich nach allen zuvor erwähnten Einschränkungen ergaben, beschrieben.

Die sich im Anhang befindlichen Tabellen (Tabelle 20 - Tabelle 27) zeigen im Detail alle Ergebnisse der ausgewerteten Berechnungen. Zusammenfassend zeigt Tabelle 9 die wichtigsten und für eine Unfallvermeidung relevanten Weglängen RW (grün) bei den definierten Reaktionszeiten ($R1=1\text{ s}$; $R2=1,5\text{ s}$; $R3=2\text{ s}$). In Tabelle 10 werden die daraus resultierenden für eine Vermeidung notwendigen Zeiten RZ dargestellt. Bei dem mit H bezeichneten Wert in den folgenden Tabellen, handelt es sich um die Summe aus RW und RZ. H ist also der gesamte Weg der zwischen dem Überfahren der Shoulder Rumble Strips und dem Verlassen der Fahrbahn liegt. Es wurden nun alle positiven Werte für RZ (gelb) herangezogen und in weiterer Folge unter Berücksichtigung der zwei definierten Zeiten für ein Ausweichmanöver (Kapitel 4.2.1) weiter analysiert. Im Fall des abrupten Verreißen des Lenkrades wurden $1,6\text{ s}$ und im Fall des Spurwechselforganges $2,5\text{ s}$ festgelegt. Nachstehend wurde von allen für RZ, vom Vorzeichen her, positiven Werte für den Fall eins $1,6\text{ s}$ und für den Fall zwei $2,5\text{ s}$ subtrahiert. Es ergeben sich lediglich bei einer Reaktionszeit von 1 s positive Werte für den noch verbleibenden Weg RW und die dafür benötigte Zeit (RZ) bei allen vorgegebenen Abständen der RS zur Fahrbahnbegrenzungslinie. Die Werte von RZ befinden sich jedoch alle unter $0,5\text{ s}$ und nach der Subtraktion der beiden unterschiedlichen Fälle ($F1= 1,6\text{ s}$ und $F2= 2,5\text{ s}$) für ein Ausweichmanöver, ergibt sich für alle Abstände A und 1 s Reaktionszeit, dass der Unfall nicht vermieden werden hätte können. Für die 11 untersuchten Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden ergab sich daher ein Unfallvermeidendes Potential von 0% .

Die untersuchten Abkommenswinkel bei denen eine Unfallvermeidung noch möglich sein könnte, befinden sich zwischen 3° und max. 5° . Die Analyse ergab keine realen Unfälle zwischen 1° und 2° Abkommenswinkel, es wurde erst mit einem Abkommenswinkel von 3° beginnend analysiert. Aus diesem Grund wurde an Hand einer Simulation im Unfallrekonstruktionsprogramm PC Crash, ein Abkommen von der Fahrbahn auf einer Geraden nach rechts nach simuliert. Dabei wurden die Abkommenswinkel zwischen 1° und 4° variiert. Die Abkommensgeschwindigkeit des Fahrzeuges betrug dabei 130 km/h . In Abbildung 48 ist die Fahrbahnbegrenzungslinie weiß, und die SRS im Abstand von $0,25\text{ m}$ gelb, $0,55\text{ m}$ orange und $0,85\text{ m}$ rot eingezeichnet.

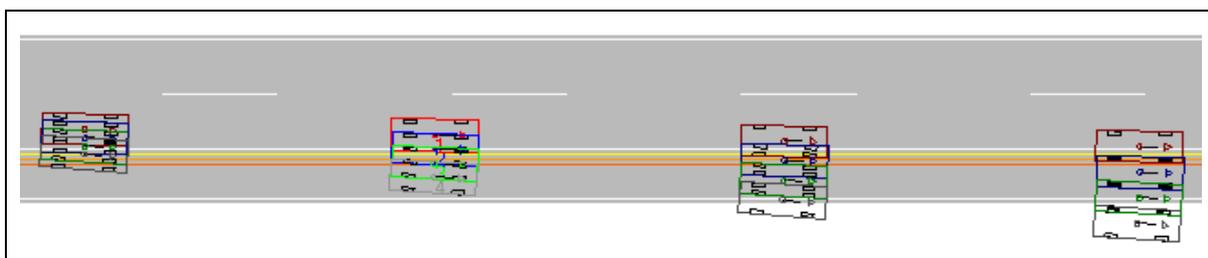


Abbildung 48: Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden in PC Crash Simulation

Das Ergebnis wird in Tabelle 11 dargestellt. Vermeidbare Unfälle sind orange hinterlegt in der Tabelle kenntlich gemacht. Aus der Auswertung geht hervor, dass es bei einem Abkommenswinkel von 1° und einem Abstand von 0; 0,25; 0,55 und 0,85 m möglich wäre einen Unfall zu vermeiden. Befindet sich die RS-Markierung genau auf der Fahrbahnbegrenzungslinie kann im Fall eins (1,6 s) bei allen drei Reaktionszeiten R1, R2 und R3 ein Unfall vermieden werden. Bei Fall zwei (2,5 s) wär dies nur bei R1 und R2 möglich, hier müsste der Fahrzeughlenker also innerhalb von 1,5 s reagieren. Bei einem Abstand von 0,25 m von der Begrenzungslinie und 1° Abkommenswinkel, ist ebenfalls bei R1, R2 und R3 und einem Ausweichmanöver das bis zu 1,6 s dauert, eine Unfallvermeidung denkbar. Bei 2,5 s Zeit um einen Spurwechsel zu tätigen, ist ein Unfall nur bei einer Reaktionszeit von 1 s vermeidbar. Bei einem Abstand von 0,55 m und 0,85 m wäre bei einer Reaktionszeit R1 von 1s ein abruptes Auslenken denkbar, bei 0,55 m auch noch bei einer Reaktionszeit bis zu 1,5 s. Ein Spurwechselvorgang (2,5 s) ist jedoch weder bei einem Abstand von 0,55 m noch bei 0,85 m möglich.

Betrachtet man die Ergebnisse für einen Abkommenswinkel von 2° ergibt sich kein unfallvermeidendes Potential. Das Gleiche gilt auch für die simulierten Unfälle bei 3° und 4° Abkommenswinkel.

Konkludierend kann also anhand der ausgewerteten Realunfälle und mit der ergänzenden Auswertung mittels der Simulation folgendes festgehalten werden. Bei einem Abkommensunfall nach rechts mit 130 km/h auf einer Geraden kann im Falle eines Abkommenswinkels von 1° ein Unfall vermieden werden, wenn der Abstand der RS sich innerhalb von 0,85 m befindet und eine Reaktionszeit von 1 s und eine für das Ausweichen benötigte Zeit von weniger als 1,6 s angenommen wird.

Ab einem Abkommenswinkel von 2° und größer, ist ein Unfall, unabhängig vom Abstand der RS mit 130 km/h nicht mehr zu vermeiden.

Tabelle 9: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden	V in km/h	H für A=0m	RW bei R1	H für A=0,25m	RW bei R1	H für A=0,55m	RW bei R1	H für A=0,85m	RW bei R1	
			1 s		1 s		1 s		1 s	
Abkommenswinkel in °	3	130	52,55	16,43	47,8	11,7	42,0	5,9	36,3	0,2
		130	52,55	16,43	47,8	11,7	42,0	5,9	36,3	0,2
Abkommenswinkel in °	4	127	39,42	4,15	35,8	0,6	31,5	-3,7	27,2	-8,0
Abkommenswinkel in °	5	120	39,42	6,09	35,8	2,5	31,5	-1,8	27,2	-6,1
		120	39,42	6,09	35,8	2,5	31,5	-1,8	27,2	-6,1

Tabelle 10: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden	V in km/h	H für A=0m	RZ bei R1	H für A=0,25m	RZ bei R1	H für A=0,55m	RZ bei R1	H für A=0,85m	RZ bei R1	
			1 s		1 s		1 s		1 s	
Abkommenswinkel in °	3	130	52,55	0,455	47,8	0,323	42,0	0,164078	36,3	0,005339
		130	52,55	0,455	47,8	0,323	42,0	0,164076	36,3	0,005339
Abkommenswinkel in °	4	127	39,42	0,117	35,8	0,016	31,5	-0,106001	27,2	-0,227910
Abkommenswinkel in °	5	120	39,42	0,183	35,8	0,075	31,5	-0,053851	27,2	-0,182871
		120	39,42	0,183	35,8	0,075	31,5	-0,053851	27,2	-0,182871

Tabelle 11: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden aus der Simulation (Abkommenswinkel 1 bis 4 °, 130 km/h)

		A= 0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	0,105	-0,395	-0,895	-1,495	-1,995	-2,495	-2,395	-2,895	-3,395
PKW 3	3	0,464	-0,036	-0,536	-1,136	-1,636	-2,136	-2,036	-2,536	-3,036
PKW 2	2	1,197	0,697	0,197	-0,403	-0,903	-1,403	-1,303	-1,803	-2,303
PKW 1	1	3,375	2,875	2,375	1,775	1,275	0,775	0,875	0,375	-0,125
		A= 0,25 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,009	-0,509	-1,009	-1,609	-2,109	-2,609	-2,509	-3,009	-3,509
PKW 3	3	0,33	-0,17	-0,67	-1,27	-1,77	-2,27	-2,17	-2,67	-3,17
PKW 2	2	0,985	0,485	-0,015	-0,615	-1,115	-1,615	-1,515	-2,015	-2,515
PKW 1	1	2,982	2,482	1,982	1,382	0,882	0,382	0,482	-0,018	-0,518
		A= 0,55 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,122	-0,622	-1,122	-1,722	-2,222	-2,722	-2,622	-3,122	-3,622
PKW 3	3	0,175	-0,325	-0,825	-1,425	-1,925	-2,425	-2,325	-2,825	-3,325
PKW 2	2	0,751	0,251	-0,249	-0,849	-1,349	-1,849	-1,749	-2,249	-2,749
PKW 1	1	2,48	1,98	1,48	0,88	0,38	-0,12	-0,02	-0,52	-1,02
		A= 0,85 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,251	-0,751	-1,251	-1,851	-2,351	-2,851	-2,751	-3,251	-3,751
PKW 3	3	0,017	-0,483	-0,983	-1,583	-2,083	-2,583	-2,483	-2,983	-3,483
PKW 2	2	0,53	0,03	-0,47	-1,07	-1,57	-2,07	-1,97	-2,47	-2,97
PKW 1	1	2,083	1,583	1,083	0,483	-0,017	-0,517	-0,417	-0,917	-1,417

Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve

Nach den Einschränkungen auf alle Abkommensunfälle in einer Rechtskurve, welche die vollständigen, für eine Berechnung benötigten Angaben aufweisen, blieben noch 5 Unfälle für eine weitere Auswertung übrig. Die zu den Berechnungen dazugehörigen Tabellen werden in ihrer Vollständigkeit ebenfalls im Anhang dargestellt. (Tabelle 28 bis Tabelle 35).

Tabelle 12 zeigt alle positiven Werte für den verbleibenden Weg RW und Tabelle 13, die Werte für die verbleibende Zeit RZ. Aus den beiden Tabellen geht hervor, dass nur der Unfall mit einem Abkommenswinkel von 3° vermieden hätte werden können. Der Abstand der SRS von der Fahrbahnbegrenzungslinie ist Null und die benötigte Reaktionszeit beträgt 1 s. Außerdem ist nur Zeit um einen abrupten Lenkvorgang durchzuführen (1,6 s), nicht aber einen Spurwechsel.

Zu den berechneten Werten, wurden im Falle der in einer Rechtskurve analysierten Unfälle auch Simulationen jedes einzelnen Unfalles durchgeführt. In diesen Simulationen wurden neben dem Abkommenswinkel und dem Radius der Kurve auch die gefahrene Geschwindigkeit und der Ort berücksichtigt, wo es zum Abkommen von der Straße gekommen ist. Im Folgenden wird KA als Kurvenanfang, KM als Kurvenmitte und KE als Kurvenende bezeichnet. Die resultierenden Ergebnisse, werden in Tabelle 14 dargestellt. Die gesamten Ergebnisse der nachsimulierten Unfallszenarien zeigt Tabelle 45 im Anhang. In Tabelle 14 werden nur jene Unfälle angeführt, die sowohl einen positiven Wert für die verbleibende Zeit RZ aufweisen, als auch einen noch positiven Wert nach der Subtraktion der Zeit, die für ein Verreißen des Lenkrades notwendig ist, beibehalten. Sprich jene Unfälle, bei denen es zu einer Unfallvermeidung durch Rumble Strips gekommen wäre.

Hieraus geht hervor, dass lediglich der Unfall mit 3° Abkommenswinkel vermieden werden hätte können, das entspricht einem Potential der Unfallvermeidung für SRS in einer Rechtskurve von 20 % im Falle der untersuchten Realunfälle. Es ergaben sich allerdings sowohl für den Abstand $A = 0$ m der SRS von der Fahrbahnbegrenzungslinie, eine mögliche Vermeidbarkeit bei einem Ausweichmanöver unter 1,6 s als auch bei einem Abstand A von 0,25 m. Dabei sei deutlich hervorgehoben, dass es sich hierbei um einen Unfall handelt, der sich am Kurvenende ereignet hat. Diese Faktizität wurde bei der Simulation berücksichtigt, dies konnte jedoch nicht bei den zuvor beschriebenen Berechnungen berücksichtigt werden. Für die Abstände von 0,55 und 0,85 m ergab sich kein Vermeidbarkeitspotential für einen Abkommenswinkel von 3° . Das Ergebnis der Simulation der Realunfälle deckt sich mit jenem aus den Berechnungen der Realunfälle.

Bei der Unfallanalyse wurden Abkommenswinkel ab 3° aufwärts betrachtet. Der Vollständigkeit halber wurde, wie es auch schon bei den Abkommensunfällen auf der Gerade der Fall war, eine Simulation durchgeführt, welche ein Unfallszenario auch mit Abkommenswinkel von 1° und 2° darstellten. Die vollständigen Ergebnisse werden im Anhang in Tabelle 47 bis Tabelle 49 aufgezeigt. Die Geschwindigkeit betrug bei allen Szenarien 130 km/h, die Abkommenswinkel variierten zwischen 1° und 4° , der Abstand der RS von der Begrenzungslinie, wie gehabt zwischen 0 und 0,85 m und der Kurvenradius wurde einmal mit 1000 m und einmal für 2000 m berücksichtigt.

Die Ergebnisse aus der Simulation der Unfälle am Kurvenanfang sind in Tabelle 15 dargestellt. Aus der Analyse der Simulation geht hervor, dass für den Fall, wo es am Kurvenanfang zum Abkommen von der Straße kam, kein Unfall verhindert werden hätte können. Weder bei einem Radius von 1000 m noch bei einem von 2000 m reicht die noch verbleibende Zeit RZ für ein Ausweichmanöver aus.

Für den Fall, eines sich in der Kurvenmitte ereignenden Unfalles, aller näher betrachteten Abkommensunfälle in einer Rechtskurve kann die Erkenntnis gezogen werden, dass es in diesem Fall bei jedem betrachteten Unfall zu einem Abkommen von der Fahrbahn nach Links gekommen wäre. Im Detail betrachtet (Abbildung 49) erkennt man, im Falle einer Rechtskurve mit einem Radius von 1000 m, dass die Fahrzeuge mit 1° und 2° Abkommenswinkel die RS-Markierung in einem Abstand von 0,25 m von der Fahrbahnbegrenzungslinie nicht überfahren hätten. Rumble Strips wären hier also ausschließlich auf der Fahrbahnbegrenzungslinie angebracht, von Nutzen gewesen. Das Fahrzeug mit 3° Abkommenswinkel hätte auch die RS-Markierung mit einem Abstand von 0,55 m erreicht und das Fahrzeug mit 4° Abkommenswinkel wäre auch über die Shoulder Rumble Strips mit einem Abstand von 0,85 m gefahren. Die Zeit, die für eine Unfallvermeidung notwendig ist, hätte in jedem Fall gereicht, da durch das Abkommen nach Links (2 mal 3 m breite Fahrbahn) die Breite der Fahrbahn, welche für ein Ausweichmanöver noch zur Verfügung steht um das rund 2,2 fache größer ist, als jene des Pannestreifens.

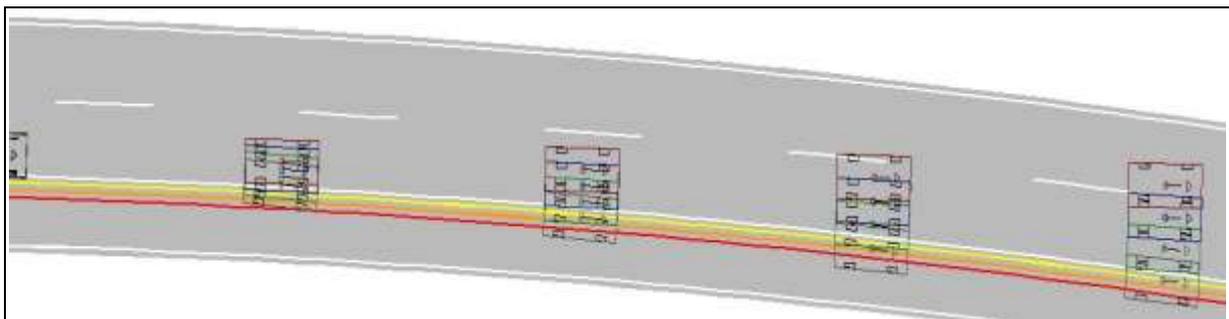


Abbildung 49: Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve in der Kurvenmitte, PC Crash Simulation

Betrachtet man eine Rechtskurve mit einem Radius von 2000 m und ein Abkommen in der Mitte der Kurve, so würde es im Falle eines Abkommenswinkels zwischen 1° und 2° ebenfalls zu einem Abkommen von der Fahrbahn nach Links kommen. Im Falle eines Abkommens ab 3° aufwärts, würde die verbleibende Zeit nicht ausreichen um einen Unfall und ein Abkommen nach rechts zu verhindern.

Tabelle 12: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve			A = 0 m			A = 0,25 m			A = 0,55 m			A=0,85 m		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Abkommenswinkel in °	V in km/h	KR	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
3	121	1700	61,2	44,4	27,6	33,9	17,1	0,3	19,8	3,0	-13,8	9,3	-7,5	-24,3
6	125	4008	-7,5	-24,9	-42,3	-12,6	-30,0	-47,3	-13,1	-30,5	-47,8	-16,1	-33,5	-50,9
10	96	530	-9,2	-22,6	-35,9	-12,7	-26,0	-39,3	-13,0	-26,3	-39,7	-15,0	-28,3	-41,7
	122	750	-17,0	-33,9	-50,9	-20,2	-37,2	-54,1	-20,6	-37,5	-54,4	-22,5	-39,4	-56,3
32	117	3039	-27,3	-43,6	-59,8	-28,3	-44,5	-60,8	-28,3	-44,6	-60,8	-28,9	-45,2	-61,4

Tabelle 13: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve			A = 0 m			A = 0,25 m			A = 0,55 m			A=0,85 m		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Abkommenswinkel in °	V in m/s	KR	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
3	33,6	1700	1,8	1,3	0,8	1,0	0,5	0,0	0,6	0,1	-0,4	0,3	-0,2	-0,7
6	34,7	4008	-0,2	-0,7	-1,2	-0,4	-0,9	-1,4	-0,4	-0,9	-1,4	-0,5	-1,0	-1,5
10	26,7	530	-0,3	-0,8	-1,3	-0,5	-1,0	-1,5	-0,5	-1,0	-1,5	-0,6	-1,1	-1,6
	33,9	750	-0,5	-1,0	-1,5	-0,6	-1,1	-1,6	-0,6	-1,1	-1,6	-0,7	-1,2	-1,7
32	32,5	3039	-0,8	-1,3	-1,8	-0,9	-1,4	-1,9	-0,9	-1,4	-1,9	-0,9	-1,4	-1,9

Tabelle 14: Ergebnisse für die analysierten Realunfälle der Abkommensunfälle in Rechtskurven, aus der Simulation mit PC Crash

Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve			A= 0 m				A = 0,25 m				
Abkommenswinkel in °	G in km/h	KR		RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	F1= 1,6 s bei R1	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	F1= 1,6 s bei R1
3	121	1700	KE	2,4	1,1	0,328	0,8	1,6	1,1	0,6	0
6	125	4008	KM	-0,021	-0,6	-1,209	-1,621	-0,1	-0,6	-1,1	-1,7
10	96	530	KM	-0,309	-0,863	-1,436	-1,909	-0,363	-0,863	-1,363	-1,963
	122	750	KM	-0,417	-0,969	-1,52	-2,017	-0,469	-0,969	-1,469	-2,069
32	117	3039	KM	-0,828	-1,348	-1,868	-2,428	-0,848	-1,348	-1,848	-2,448

Tabelle 15: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve aus der Simulation (Abkommenswinkel 1 bis 4 °,130 km/h), KA

R=1000	Kurvenanfang	A=0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,694	-1,194	-1,694	-2,294	-2,794	-3,294	-3,194	-3,694	-4,194
PKW 3	3	-0,68	-1,18	-1,68	-2,28	-2,78	-3,28	-3,18	-3,68	-4,18
PKW 2	2	-0,657	-1,157	-1,657	-2,257	-2,757	-3,257	-3,157	-3,657	-4,157
PKW 1	1	-0,623	-1,123	-1,623	-2,223	-2,723	-3,223	-3,123	-3,623	-4,123

R=2000	Kurvenanfang	A= 0,25 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,422	-0,922	-1,422	-2,022	-2,522	-3,022	-2,922	-3,422	-3,922
PKW 3	3	-0,316	-0,816	-1,316	-1,916	-2,416	-2,916	-2,816	-3,316	-3,816
PKW 2	2	-0,183	-0,683	-1,183	-1,783	-2,283	-2,783	-2,683	-3,183	-3,683
PKW 1	1	0,019	-0,481	-0,981	-1,581	-2,081	-2,581	-2,481	-2,981	-3,481

Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve

Die zu den Berechnungen dazugehörigen Tabellen für alle betrachteten Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve sind in ihrer Vollständigkeit im Anhang dargestellt. (Tabelle 28)

Dass von den einzelnen Unfälle aller 9 im Zuge der Analyse, in Linkskurven verursachten Unfälle mit Hilfe von Rumble-Strips-Installationen nur einer vermieden werden hätte können, zeigen die Tabelle 16 und Tabelle 17. Für den Reaktionsweg RW positive Werte werden nur bei Abkommenswinkel zwischen 1° und 3° erreicht (Tabelle 16). Darüber hinaus ergeben die Berechnungen des noch zur Verfügung stehenden Weges und auch die, der dazugehörigen zur Verfügung stehenden Zeit ausschließlich negative Werte. Eine Subtraktion, von den positiven Werten für RZ (Tabelle 16), von 1,6 bzw. 2,5 s würde in diesem Fall nur bei einem Abkommenswinkel von 2° , einer Geschwindigkeit von 76 km/h und am Ende der Kurve, von allen untersuchten Unfälle zu einem Ergebnis führen, dass eine Unfallvermeidung bestätigt. Es kommt nur zu keinem Unfall, wenn der Abstand der SRS Null beträgt, die Rumble Strips sich also genau auf der Fahrbahnbegrenzungslinie befinden. Außerdem darf die für ein Ausweichmanöver benötigte Zeit nicht mehr als 1,6 s betragen. Mit zunehmendem Abstand der Rumble Strips zur Begrenzungslinie, nimmt auch hier die dem Fahrzeuglenker zur Verfügung stehende Zeit um dem Unfall zu entgehen, ab. Es sei weiters darauf hingewiesen, dass es sich bei diesem dem Unfall zugeordneten Ort, um das Kurvenende einer Linkskurve handelte. Demzufolge können von den 9 untersuchten Unfällen 11,1 % vermieden werden.

Wie bei den Realunfällen der Rechtskurven bereits erklärt, wurde auch für die Linkskurven eine Simulation im Unfallrekonstruktionsprogramm PC Crash durchgeführt, um alle auftretenden Abkommenswinkel, die gefahrenen Geschwindigkeiten, die unterschiedlichen Radien und auch den Ort des Abkommens (KA, KM, KE) bei der Analyse zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Simulation aller Realunfälle in Linkskurven sind im Anhang, in Tabelle 46 dargestellt. Jedoch ergibt sich hier, kein unfallvermeidendes Potential für SRS.

Die durchgeführten Simulationen bei Abkommenswinkeln zwischen 1° und 4° , 130 km/h und den Unfallszenarien die sich am Kurvenanfang einer Linkskurve ereigneten, ergaben keine Möglichkeit solch einen Unfall zu vermeiden. Weder konnte das Abkommen nach rechts in einer Linkskurve mit einem Radius von 1000 m noch bei einem von 2000 m verhindert werden.

Die Betrachtungen in der Kurvenmitte zeigten für einen Kurvenradius von 1000 m und 2000 m ebenfalls kein Potential, einen Unfall zu vermeiden. Die detaillierten Simulationsergebnisse werden im Anhang in Tabelle 50 und in Tabelle 51 aufgezeigt.

Die Betrachtungen in der Kurvenmitte zeigten für einen Kurvenradius von 1000 m und 2000 m ebenfalls kein Potential, einen Unfall zu vermeiden.

Tabelle 16: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve			A = 0 m			A = 0,25 m			A = 0,55 m			A=0,85 m		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Abkommenswinkel in °	V in km/h	KR	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s
1	119	1000	25,7	9,2	-7,3	22,4	5,8	-10,7	18,1	1,6	-14,9	13,6	-2,9	-19,5
2	114	1000	15,4	-0,4	-16,2	12,3	-3,5	-19,3	8,4	-7,4	-23,2	4,3	-11,5	-27,4
	76	2000	35,1	24,5	14,0	31,1	20,5	10,0	26,0	15,5	4,9	20,8	10,2	-0,3
3	100	1278	12,6	-1,3	-15,2	9,6	-4,3	-18,2	5,8	-8,0	-21,9	2,0	-11,9	-25,8
	90	750	11,1	-1,4	-13,9	8,5	-4,0	-16,5	5,4	-7,1	-19,6	2,0	-10,5	-23,0
6	105	1592	-4,6	-19,2	-33,8	-6,7	-21,3	-35,9	-9,3	-23,9	-38,5	-11,9	-26,5	-41,0
7	129	1800	-14,3	-32,2	-50,1	-16,2	-34,1	-52,0	-18,5	-36,4	-54,3	-20,8	-38,7	-56,6
11	140	2003	-24,7	-44,2	-63,6	-26,0	-45,4	-64,9	-27,5	-47,0	-66,4	-29,1	-48,5	-67,9
36	97	550	-22,3	-35,8	-49,2	-22,7	-36,2	-49,7	-23,2	-36,7	-50,2	-23,7	-37,2	-50,7

Tabelle 17: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve			A = 0 m			A = 0,25 m			A = 0,55 m			A=0,85 m		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Abkommenswinkel in °	V in km/h	KR	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s	1 s	1,5 s	2 s
1	119	1000	0,78	0,28	-0,22	0,68	0,18	-0,32	0,55	0,05	-0,45	0,41	-0,09	-0,59
2	114	1000	0,49	-0,01	-0,51	0,39	-0,11	-0,61	0,27	-0,23	-0,73	0,14	-0,36	-0,86
	76	2000	1,66	1,16	0,66	1,47	0,97	0,47	1,23	0,73	0,23	0,98	0,48	-0,02
3	100	1278	0,45	-0,05	-0,55	0,35	-0,15	-0,65	0,21	-0,29	-0,79	0,07	-0,43	-0,93
	90	750	0,44	-0,06	-0,56	0,34	-0,16	-0,66	0,21	-0,29	-0,79	0,08	-0,42	-0,92
6	105	1592	-0,16	-0,66	-1,16	-0,23	-0,73	-1,23	-0,32	-0,82	-1,32	-0,41	-0,91	-1,41
7	129	1800	-0,40	-0,90	-1,40	-0,45	-0,95	-1,45	-0,52	-1,02	-1,52	-0,58	-1,08	-1,58
11	140	2003	-0,64	-1,14	-1,64	-0,67	-1,17	-1,67	-0,71	-1,21	-1,71	-0,75	-1,25	-1,75
36	97	550	-0,83	-1,33	-1,83	-0,84	-1,34	-1,84	-0,86	-1,36	-1,86	-0,88	-1,38	-1,88

Konkludierend kann anhand der effektiven Betrachtung von insgesamt 25 Verkehrsunfällen durch Abkommen von der Straße nach rechts festgehalten werden, dass eine Installation von Shoulder Rumble Strips in Rechtskurven eine positive Wirkung auf das Unfallgeschehen ergeben würde. Die Verringerung von Abkommensunfällen würde anhand der 5 betrachteten Realunfälle 20 % betragen.

Zum Vergleich der 9 untersuchten Abkommensunfällen in Linkskurven, beträgt der zu Vermeidende Prozentsatz 11,1 %.

Anhand der 11 untersuchten Realunfälle auf Geraden, konnte keine Reduzierung der Abkommensunfälle durch SRS festgestellt werden.

Insgesamt beträgt der Prozentsatz, welcher einem Unfall entgangen wäre, 8 % von 25 betrachteten Abkommensunfällen nach rechts.

Das entspricht einer Anzahl von 2 Menschenleben, von 25, die durch eine Installationen entsprechender Shoulder Rumble Strips gerettet werden hätten können.

8 DISKUSSION

Aufgrund der schon im Vorfeld dieser Diplomarbeit verfassten Bachelorarbeit von Lettmayer W. über das Thema Potentialabschätzung von Rumble Strips [48, 2011f], kann nun ein Vergleich der Ergebnisse zwischen dem realen Unfallgeschehen und den für die Bachelorarbeit simulierten Unfallszenarien, angestellt werden. In der Arbeit von Lettmayer W. konnte mittels eines Simulationstools eine Parametervariation durchgeführt werden, welche für eine Abstandsuntersuchung von Rumble Strips zum Fahrbahnrand relevante Ergebnisse lieferte.

Durch die Modifikation von Parametern wie die Startgeschwindigkeit, der Querabstand, der Lenkwinkel oder der Abkommenswinkel konnte ein Wirksamkeitsbereich der Rumble Strips festgestellt werden. Dabei beziehen sich die Prozentangaben aus dem Simulationstool auf die Unfälle, die bei den entsprechend festgelegten Parametern zu einer Unfallvermeidung geführt hätten.

Im Folgenden werden Einschränkungen von Abkommenswinkel, die aus den Simulationsergebnissen der Bachelorarbeit folgen, übernommen.

Im Falle der untersuchten Abkommenswinkel, wird der Bereich der Wirksamkeit von Shoulder Rumble Strips auf 1° bis 3° abgegrenzt. Die betrachteten und für effektiv erklärten Lenkwinkel variieren zwischen 1° und 5° . Die Querabstände der Shoulder Rumble Strips von der äußeren Fahrbahnabgrenzung liegen dabei zwischen 1 m und 2,5 -2,6 [48, 2011f]. Um einen übersichtlicheren Vergleich zu bekommen, wird der Abstand der Rumble Strips aber folgend, wie auch schon im Kapitel Analyse und Auswertung, von der Fahrbahnbegrenzungslinie aus betrachtet.

Bei den folgenden Untersuchungen und Vergleichen, wird von den zuvor durch Einschränkungen erhaltenen 28 Abkommensunfällen auf Geraden ausgegangen. Aus Tabelle 18 ist ersichtlich, dass es bei einem Abkommenswinkel zwischen 1° und 3° und bei einem möglichen Lenkwinkel zwischen 1° und 5° auf einer Geraden zu einer Verringerung der Unfälle von 25 % kommen würde. Das entspricht einer Zahl von 7 Menschenleben, die alleine durch SRS auf einer Geraden gerettet werden könnten.

Tabelle 18: Anzahl an Unfallopfern bei unfallvermeidenden Abkommenswinkeln

Abkommenswinkel in °	Anzahl an Verunglückten	Häufigkeitsverteilung bezogen auf alle 28 Abkommensunfälle
3	7	25%
4	2	2%
5	2	2%
6	6	6%
7	2	2%
8	2	2%
10	2	2%
11	2	2%
14	1	1%
134	2	2%

Die auftretenden Abkommensgeschwindigkeiten zusätzlich zu den gewählten Abkommenswinkeln werden in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Anzahl an Unfallopfern bei unfallvermeidenden Abkommenswinkel und -geschwindigkeit

		Anzahl an Verunglückten
Abkommenswinkel in °	3	7
Abkommensgeschwindigkeit in km/h	110	2
	130	5

Da sich die Abkommensgeschwindigkeiten bereits zwischen 100 km/h und 130 km/h befinden, ist keine weitere Einschränkung notwendig und eine Vergleichsmöglichkeit mit der Bachelorarbeit [48, 2011f], anstellen zu können. Mit einer Lenkwinkelvariation zwischen 1 und 5 ° können laut Lettmayer. Abkommenswinkel von 3 ° und einem Abstand der SRS von der Fahrbahnbegrenzungslinie von 0,25 m mindestens 18,7 % aller Unfälle vermieden werden. Bei einem Abstand von 0,55 m sind dies immer noch 9,4 % und bei einem Abstand von 0,85 m sind es immer noch 2,1 % mit einem Lenkwinkel von 5 ° [48, 2011f].

Summa summarum wird das Potential von Rumble Strips als durchwegs positiv eingeschätzt und könnte als Menschenleben rettende Maßnahme zur Steigerung der Sicherheit auf Österreichs Schnellstraßen und Autobahnen beitragen.

Zusätzliche Installationen von Shoulder Rumble Strips auf ausgewählten Abschnitten im hochrangigen Straßennetz kann die Zahl an Verkehrstoten in Österreich senken.

9 AUSBLICK

Im Hinblick auf die Tatsache, dass in dieser wissenschaftlichen Arbeit ausschließlich Abkommensunfälle nach rechts betrachtet wurden und folge dessen die Wirkung von Shoulder Rumble Strips (SRS), würde eine entsprechende Analyse der Abkommensunfälle nach links die Untersuchung von RS ergänzen.

Mit den Abkommensunfällen nach Links würde eine Untersuchung der Effektivität von Centerline Rumble Strips (CRS) einhergehen und auch eine Berücksichtigung der Gefährdung und des Einflusses des Gegenverkehrs sollte hierbei nicht außer Acht gelassen werden. Jedoch wird an einer Verringerung der Gegenverkehrsabschnitte auf Autobahnen bereits gearbeitet und auch Maßnahmen zur baulichen Trennung der Fahrbahnen auf Schnellstraßen sind im Gange.

Im Zuge der, vor der Auswertung getroffenen Einschränkungen wurde die Analyse auf jene Unfälle eingeschränkt, welche sich ausschließlich auf Autobahnen und Schnellstraßen ereigneten. Mit der Untersuchung von Abkommensunfällen auf Landstraßen könnte unter anderem auch aus einem größeren Kontingent an auswertbaren Unfällen geschöpft werden. Dabei nicht außer Acht zu lassen ist allerdings der Mehraufwand an finanziellen Mitteln, der bei einer Installation von Rumble Strips und dem dann noch zusätzlich notwendigen Pannens- / "Auslaufstreifen" aufgebracht werden muss. Im Zuge dessen könnte über eine zielführende Kombination von Auslaufstreifen und Fahrradwegen nachgedacht werden. Da der bauliche und finanzielle Aufwand der Radwege im Gegensatz zu deren Nutzung bis dato ohne dies in keiner vernünftigen Relation steht. Die Einschränkungen, die sich auf die in den Unfällen involvierten Fahrzeuge beziehen, wurden auf PKWs, Vans und Kleinbusse begrenzt, könnten aber auf weitere Fahrzeuggruppen ausgeweitet werden. Beispielsweise unter Berücksichtigung von Abkommensunfällen in welche Lastkraftwagen, Transporter oder Busse verwickelt waren, könnte es zu einer detaillierteren und ergänzenden Auswertung, das Potential von Rumble Strips betreffend kommen.

10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Verletzungsschwere unterschiedlicher Unfalltypen mit mind. einem beteiligten PKW [23]	3
Abbildung 2: Getötete nach Straßenart und Unfalltyp in Österreich [23]	4
Abbildung 3: Unfälle im hochrangigen Straßennetz mit mindestens einem beteiligten PKW [23]	5
Abbildung 4: Hauptunfallursache der tödlichen Verkehrsunfälle 2010 [2]	7
Abbildung 5: Abkommensunfälle mit mindestens einem beteiligten PKW [23]	8
Abbildung 6: Systeme zur Vermeidung von Abkommensunfällen	9
Abbildung 7: Leitschiene [13], Betonleitwand [6]	11
Abbildung 8: Stahlseilsicherung auf schwedischen Landesstraßen [57]	11
Abbildung 9: Shoulder Rumble Strip [14], Edge Line Rumble Strip [8]	12
Abbildung 10: Centerline Rumble Strip [7], Midlane Rumble Strip [25, 2009a]	13
Abbildung 11: Transverse Rumble Strips [17]	13
Abbildung 12: Einfräsen von Rumble Strips [10], [11]	14
Abbildung 13: Eingewalzte Rumble Strips [12]	15
Abbildung 14: Einformen von Rumble Strips [9]	15
Abbildung 15: Transportable Rumble Strips [16], [15]	16
Abbildung 16: Unterteilung des Ablaufes eines Anhaltevorgangs [40, 2007b]	28
Abbildung 17: Verteilung der Fixationsstellen beim Befahren einer geraden Straße mit 90 km/h [40, 2007b] ..	31
Abbildung 18: Verlauf der Kontaktkraft für verschiedene Stoßarten [40, 2007b]	35
Abbildung 19: Realunfall	36
Abbildung 20: Straßenstück [27, 2010a]	36
Abbildung 21: 3D-Straßenmodell [27, 2010a]	37
Abbildung 22: Böschungsprofil, Einstellungen 3D- Straßenmodell [27, 2010a]	37
Abbildung 23: Fahrzeugdatenbank [27, 2010a]	38
Abbildung 24: Fahrzeugdaten [27, 2010a]	38
Abbildung 25: Reifenmodell, Luftwiderstand [27, 2010a]	39
Abbildung 26: Sequenzen, Teilbremsfaktoren, Beschleunigungen [27, 2010a]	40
Abbildung 27: Sequenzen, Teilbremsfaktoren, Beschleunigungen [27, 2010a]	40
Abbildung 28: Grundeinstellungen, Simulationsparameter, Stoß [27, 2010a]	41
Abbildung 29: Reibungskoeffizient [27, 2010a]	42
Abbildung 30: Abkommenswinkel, Geschwindigkeitswinkel [27, 2010a]	43
Abbildung 31: Geschwindigkeitswinkel, Abkommenswinkel links negativ, rechts positiv [27, 2010a]	44
Abbildung 32: Zeit und Weg die zwischen dem Erkennen einer Gefahr und der Kollision vergehen	44
Abbildung 33: Spurwechselvorgang [40, 2007b]	47
Abbildung 34: Abstandsberechnungsgrundlage der Rumble Strips für gerade Straßenstücke	48
Abbildung 35: Abstandsberechnungsgrundlage der Rumble Strips für eine Rechts- und eine Linkskurve	49
Abbildung 36: Tabellenübersicht zur detaillierten Unfallanalyse und Auswertung	50
Abbildung 37: Startgeschwindigkeit mit der entsprechenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit	52
Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der auftretenden Abkommenswinkel	53
Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung von Unfallopfern bei unterschiedlichem Geschwindigkeitswinkel	54
Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung von Unfällen mit unterschiedlichem Schwimmwinkel	55
Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung von Unfällen mit unterschiedlichen Abkommensgeschwindigkeiten	56
Abbildung 42: Abkommensgeschwindigkeiten mit den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten	57
Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der Fahrer die eine Reaktion zeigten	58
Abbildung 44: Kollisionsgeschwindigkeiten mit den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten	59
Abbildung 45: Kollisionsgegner bei Abkommensunfällen nach rechts	60
Abbildung 46: Abkommensunfälle unterteilt nach geraden Straßenstücken und Kurven	61
Abbildung 47: Die auf Kurven abgekommenen Fahrzeuge, unterteilt nach Kurvenradien	62
Abbildung 48: Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden in PC Crash Simulation	63
Abbildung 49: Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve in der Kurvenmitte, PC Crash Simulation .	68

11 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Verkehrsunfälle Österreich unterteilt nach Unfalltyp [23].....	2
Tabelle 2: Rumble Strips Installationen mit Seitlicher Variation des Abstandes zur Fahrbahnbegrenzungslinie in den USA und Deutschland.....	24
Tabelle 3: Standardinstallationen in den USA und Deutschland.....	25
Tabelle 4: Reaktionszeiten nach Nöcker (1976) infolge unterschiedlicher Signale[36, 1998a]	26
Tabelle 5: Reaktionszeit nach Grandel J. (1980) ; [37, 1980]	27
Tabelle 6: Reaktionszeiten abhängig von unterschiedlichen Einflussparametern [40, 2007b],[41], [39, 1998b],	29
Tabelle 7: Reibungskoeffizienten der unterschiedlichsten Fahrbahnuntergründe[40, 2007b]	42
Tabelle 8: Abkommensunfälle auf einer Geraden nach rechts, mit Abkommenswinkel, -geschwindigkeit und dem zurückgelegten Weg.....	45
Tabelle 9: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	65
Tabelle 10: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	65
Tabelle 11: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden aus der Simulation (Abkommenswinkel 1 bis 4 °, 130 km/h).....	66
Tabelle 12: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	69
Tabelle 13: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	69
Tabelle 14: Ergebnisse für die analysierten Realunfälle der Abkommensunfälle in Rechtskurven, aus der Simulation mit PC Crash	70
Tabelle 15: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve aus der Simulation (Abkommenswinkel 1 bis 4 °,130 km/h), KA	70
Tabelle 16: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve für RW bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	72
Tabelle 17: Ergebnisse für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve für RZ bei 0-0,85 m Abstand der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	72
Tabelle 19: Anzahl an Unfallopfern bei unfallvermeidenden Abkommens- und Lenkwinkel	74
Tabelle 20: Anzahl an Unfallopfern bei unfallvermeidenden Abkommens- und Lenkwinkel unter	75
Tabelle 21: Anzahl an Unfallopfern bei unfallvermeidenden Abkommens- und Lenkwinkel unter Berücksichti- Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 22: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	87
Tabelle 23: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	87
Tabelle 24: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	88
Tabelle 25: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	88
Tabelle 26: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	89
Tabelle 27: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	89
Tabelle 28: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	90
Tabelle 29: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	90
Tabelle 30: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	91

Tabelle 31: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	91
Tabelle 32: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	91
Tabelle 33: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	92
Tabelle 34: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	92
Tabelle 35: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	92
Tabelle 36: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	93
Tabelle 37: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie	93
Tabelle 38: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	94
Tabelle 39: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	94
Tabelle 40: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	95
Tabelle 41: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	95
Tabelle 42: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	96
Tabelle 43: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	96
Tabelle 44: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	97
Tabelle 45: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie.....	97
Tabelle 46: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h	98
Tabelle 47: Ergebnisse für die Realunfälle bei Abkommensunfällen nach rechts in einer Rechtskurve aus der Simulation mit PC Crash	99
Tabelle 48: Ergebnisse für die Realunfälle bei Abkommensunfällen nach rechts in einer Linkskurve aus der Simulation mit PC Crash	100
Tabelle 49: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenanfang;.....	103
Tabelle 50: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=1000 m	104
Tabelle 51: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=2000 m	105
Tabelle 52: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenanfang;	106
Tabelle 53: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=1000 m	107
Tabelle 54: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=2000 m	107

12 LITERATURVERZEICHNIS

1. Euro NCAP; www.euroncap.com
2. Basic Fact Sheets der österreichischen Beobachtungsstelle für die Straßenverkehrssicherheit 2010; [https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik Austria 2010/BFS2010_Allgemein.pdf](https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik_Austria_2010/BFS2010_Allgemein.pdf) access to website: (2011b)
3. Basic Fact Sheets der österreichischen Beobachtungsstelle für die Straßenverkehrssicherheit 2010; [https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik Austria 2010/BFS2010_Allgemein.pdf](https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik_Austria_2010/BFS2010_Allgemein.pdf) access to website: (2011c)
4. Basic Fact Sheets der österreichischen Beobachtungsstelle für die Straßenverkehrssicherheit 2010; [https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik Austria 2010/BFS2010_Allgemein.pdf](https://verso3.at/fileadmin/verso/strassenverkehr/Beobachtungsstelle/Statistik_Austria_2010/BFS2010_Allgemein.pdf) access to website: (2011d)
5. Fahrerassistenzsysteme werden stark an Verbreitung gewinnen; <http://www.auto-gebrauchtwagen.de/fahrerassistenzsysteme-werden-stark-an-verbreitung-gewinnen-92158788> access to website: (2011e)
6. Betonleitwand; <http://www.dizwo.de/Loesungen/Betonleitwaende.html> access to website: (2012f)
7. Centerline Rumble Strip; http://safety.fhwa.dot.gov/geometric/pubs/mitigationstrategies/chapter4/4_lane3s_howidth.htm access to website: (2012g)
8. Edge Line Rumble Strip; <http://safety.fhwa.dot.gov/fas/guidebook.cfm> access to website: (2012h)
9. Einformen von Rüttelstreifen; <http://www.contrafedpublishing.co.nz/Contractor/The+hidden+persuaders.html> access to website: (2012i)
10. Einfräsen von Rüttelstreifen; <http://www.autobild.de/artikel/keine-zulassung-fuer-ruettelstreifen-946669.html?bild=bild1> access to website: (2012j)
11. Eingefräste Rumpelmakrierungen; http://www.trafficlinesinc.com/rumble_strip_process.htm access to website: (2012k)

12. Eingewalzte Rüttelstreifen;
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/03sep/06.cfm> access to website: (2012l)
13. Leitschiene; <http://www.avon-barrier.co.uk/Safety-Crash-Barrier-Systems> access to website: (2012m)
14. Shoulder Rumble Strip; <http://www.rd.com/slideshows/10-new-ideas-for-better-roads/?v=print> access to website: (2012n)
15. Transportabel rumple strips; <http://www.zjeastsea.com/en/protable-speed-bump.html> access to website: (2012o)
16. Transportable Rüttelstreifen; <http://www.plasticsafety.com/road-quake-construction-rumble-strips> access to website: (2012p)
17. Transverse Rumble Strip; http://www.trafficlinesinc.com/rumble_strip_process.htm access to website: (2012q)
18. Unfallaufnahme; <http://www.unfallaufnahme.info/typische-unfallablaeufer/pkw-alleinunfall/index.html> access to website: (2012r)
19. ADAC. ADAC Information aus der Fahrzeugtechnik Test Nachtsichtsysteme; ADAC Informationen aus der Fahrzeugtechnik, 2011a,
20. ADAC, Prof.Dr.Jürgen ZulleDr.Roland PoppJohanna SchwarzDr.Peter GeislerProf.Dr.Göran HajakSchlafmedizinisches ZentrumPsychiatrische Klinik der Universität Regensburg. Müdigkeit im Straßenverkehr; ADAC Mobilität, 2008a,
21. Andreas Seifert. Gefährlichkeitseinschätzung von Autofahrern, Motorradfahrern und Radfahrern; Publisher: LIT Verlag Dr.W.Hopf; 2007a
22. Bahar G and Parkhill M: Synthesis of Practices for the Implementation of Centreline Rumble Strips; Proceedings of Annual Transport Association of Canada; Calgary, Alberta, 2005a;
23. Bäumler H. Reaktionszeit im Straßenverkehr Teil 1; Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 2007b,
24. Bundesanstalt Statistik Österreich: Statistik Austria; <http://www.statistik.at> access to website: (2012s)
25. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Österreichisches Verkehrssicherheitsprogramm 2011-2020; 2011b, (Report);
26. D.J.Torbic, J.M.Hutton, C.D.Bokenkroger, K.M.Bauer, D.W.Harwood, D.K.Gilmore, J.M.Dunn, J.J.Ronchetto, and IIP.Garvey: NCHRP Synthesis 641 - Guidance for the

- Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips; Report no: Report 641 Project 17-32, 2009a, (Report);
27. Dettmeyer, Verhoff, H.Schütz. Rechtsmedizin; Publisher: Springer Medizin Verlag; 2011c
 28. DSD: PC Crash Bedienungshandbuch; (9.1). 2010a. Linz, DSD2012a
 29. Eilebrecht, Wartzek, Lem, Vogt, Leonhardt. Kapazitives Elektrokardiogramm-Messsystem im Autositz; ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, Volume: Nr.: 2011-03, 2011d,
 30. EUGENE R.RUSSELL and MARGARET J.RYS: NCHRP Synthesis 339- Cenerline Rumbel Strips - A Synthesis of Highway Practice; Report no: Project 20-5 FY 2002 (Topic 34-01), 2005b, (Report);
 31. EUGENE R.RUSSELL and MARGARET J.RYS: Reducing crossover accidents on kansas highways using milled centerline rumble strips; 2006a, (Report);
 32. Federal Highway Administration: Rumble Strips and Stripes; http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/ access to website: (25-6-2009t)
 33. Federal Highway Administration: T 5040.35 - Roadway Shoulder Rumble Strips; http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/t504035.cfm access to website: (17-6-2010u)
 34. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA; 2008v
 35. Gary S.Spring: Rumble Strips in Missouri; 2003a, (Report);
 36. Geni Bahar, P. Eng. Vice-President: Synthesis of Practices for the Implementation of Centreline Rumble Strips; Proceedings of Traffic Operations and Management Initiatives Session; 2005c;
 37. Gerd Thienes: Motorische Schnelligkeit bei zyklischen Bewegungsabläufen; (Band 6). 1998a. LIT Verlag, MünsterSport Spektrum. 19-1-2012a
 38. Grandel J.: Über den Vergleich verschiedener Raktionsmessungen und den Einfluss der Reaktionszeit auf die Berechnung der Vermeidbarkeit von Verkehrsunfällen; 7/8(18). 1980. Information VerlagVerkehrsunfall.
 39. Gugler J and Steffan H: ROLLOVER - Improvement of Rollover Safety for Passenger Vehicles; Report no: Final Report, 2005d, (Report);

40. Hans Derichs: Vergleich statistischer Auswerteverfahren der experimentell ermittelten Reaktionszeiten von PKW- Fahrern im Straßenverkehr;Thesis/Dissertation 1998b;
41. Heinz Burg, Andreas Moser. Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion; 1.Auflage. Edition; Publisher: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag; GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007; 2007c
42. Henrik Zöller and Wolfgang Hugemann: Zur Problematik der Bremsreaktionszeit im Straßenverkehr; www.hugemann.de/pdf/bdp_1998_german.pdf access to website: (1998w)
43. Hommel Bernhard, Dieter Nattekemper. Handlungspsychologie. Planung und Kontrolle Intentionalen Handelns; Publisher: Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York; 2011e
44. Humboldt-Universität zu Berlin and Institut für Psychologie: Veränderungen im Alter: Der Prozess des Alterns; http://www3.psychologie.hu-berlin.de/ingpsy/alte%20Verzeichnisse%20-%20Arb1/Lehrveranst/seminar/psych_technik/alte_am_automaten/ver%C3%A4nderungen%20in%20alter%20sch%C3%B6n.htm
45. John L.Campbell, Christian M.Richard, James L.Brown, Monica G.Lichty, Jerry Graham, and Mitchell O´Laughlin: NCHRP - Report 600C; Report no: Projekt 17-41, 2010b, (Report);
46. Jürgen Weineck. Sportbiologie; Publisher: Spitta Verlag & Co. KG; 2004a
47. Lerner M and Hegewald A: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24; Verkehrstechnik: Report no: 177, 2009b, (Report);
48. Lettmayer W.: Potentialabschätzung von Rumble Strips am hochrangigen Straßennetz; 2011f, (Report);
49. Lorenzo T.D´Angelo, Lüth. Integrierte Systeme zur ablenkungsfreien Vitalparametermessung in Fahrzeugen; ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, Volume: Ausgabe Nr.: 2011-11, 2011g,
50. Madea, Brinkmann. Handbuch Gerichtlich Medizin; Band 2; Publisher: Springer Verlag; 2003b
51. Mario Cavegn, Esther Walter, Gianantonio Scaramuzza, Steffen Niemann, Roland Allenbach, and Regula Stöcklin: Beeinträchtigte Fahrfähigkeit von Motorfahrzeuglenkenden; 2008b, (Report);

52. Markus Winninghoff, Klaus Schmedding, and Karl Heinz Schimmelpfenning: Die Reaktionszeitverlängerung bei Dunkelheit unter Alkohol- und Blendungseinflüssen- Ergebnisse aus Laborversuchen; Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 2001,
53. Ministry for Transport Innovation and Technology: Austrian Road Safety Programme 2002 - 2010 - Strategies for Improving Road Safety, Edition 2004; 2004b, (Report);
54. Prof.Dr.Theo Mulder. Das adaptive Gehirn, In: AnonymousGeorg Thieme Verlag KG, Stuttgart 2007, 2005e
55. Raimund Weible: Wachrüttler können Leben retten; Bundesanstalt für Straßenwesen testet aufgeraute Seitenstreifen;
<http://www.swp.de/ulm/nachrichten/suedwestumschau/Wachruettler-koennen-Leben-retten;art4319,709097> access to website: (2010y)
56. RISER: Final Report - Roadside Infrastructure for Safer European Roads; Report no: Final Report, 14-7-2006b, (Report);
57. Schmidt C., Oechsle F., and Branz W.: Untersuchungen zu letztmöglichen Ausweichmanövern für stehende und bewegte Hindernisse: Walting; 2005f
58. Spiegel Online: EU-Initiative Vision Zero: Weiter Weg zur Nullnummer;
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/eu-initiative-vision-zero-weiter-weg-zur-nullnummer-a-717372.html> access to website: (2010z)
59. Thomas P, Morris A, Tomasch E, and Vallet G: PENDANT - Pan-European Co-ordinated Accident and Injury Databases; Report no: Final Report, 2006c, (Report);
60. Tomasch E: Entwicklung und systematische Verwertung einer In-depth Datenbank tödlicher Verkehrsunfälle; TU Graz - Institut für Fahrzeugsicherheit, Graz; Thesis/Dissertation 9-11-2007d;
61. Uwe Henrik Peters. Lexikon Psychiatrie, Psychotherapie, Medizinische Psychologie; Publisher: Urban & Fischer Verlag/ Elsevier GmbH; 2007e
62. Vallet G, Laumon B, Martin JL, Lejeune P, Thomas P, Ross R, Kossmann I, Otte D, and Sextion B: STAIRS - Standardisation of Accident and Injury Registration Systems; Report no: Final Report, 1999, (Report);
63. Washington State Department of Transportation: Rumble Strips Washington;
<http://www.wsdot.wa.gov/Design/Policy/RumbleStrips.htm> access to website: (2012{)
64. Winner H., Hakuli S., Wolf G. Handbuch Fahrerassistenzsysteme; Publisher: Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GnbH; 2009c

13 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Abstand der Rumble Strips von der Fahrbahnbegrenzungslinie
AFIL	Alert de FranchissementInvolontaire de Ligne
ATP	Audio Tactile Roadmarkings
BM.I	Bundesministerium für Inneres
Caltrans	California Department of Transportation
CLRS	Centerline Rumble Strips
ConnDOT	Connecticut Department of Transportation
DOT	Department of Transportation
EES	Energy equivalent speed
HTRIS	Highway Traffic Records Inventory System
KA	Kurvenanfang
KE	Kurvenende
KM	Kurvenmitte
KDOT	Kansas Department of Transportation
KSU	Kansas State University
LDW	Lane Departure Warning System
LKW	Lane Keeping Support System
MnDOT	Minnesota Department of Transportation
MoDOT	Missouri Department of Transportation
MVMT	Million vehicle miles traveled
NCHRP	National Cooperative Highway Research Programm
NYSDOT	New York State Department of Transportation
ROR	Run- of-the-road
RS	Rumble Strips
RW	Verbleibender Weg für unfallvermeidende Reaktion
RZ	Verbleibende Zeit für unfallvermeidende Reaktion
SNAP	Sonic Nap Alert Pattern
SRS	Shoulder Rumble Strips
SVROR	Single vehicle run-off-road
TDOT	Tennessee Department of Transportation

V	Abkommensgeschwindigkeit
WSDOT	Washington Department of Transportation
ZW	Zurückgelegter Weg in Reaktionszeit

14 ANHANG

Tabelle 20: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden		V in km/h	V in m/s	A = 0 m	H für A=0m	RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
				0		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,75	52,55	16,43	-1,6	-19,7
		130	36,1	2,75	52,55	16,43	-1,6	-19,7
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,75	39,42	4,15	-13,5	-31,1
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,75	39,42	6,09	-10,6	-27,2
		120	33,3	2,75	39,42	6,09	-10,6	-27,2
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,75	26,31	-3,14	-17,9	-32,6
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,75	22,57	-10,49	-27,0	-43,5
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,75	19,76	-4,68	-16,9	-29,1
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,75	15,84	-10,27	-23,3	-36,4
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,75	14,41	-12,53	-26,0	-39,5
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,75	11,37	-10,02	-20,7	-31,4
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,75	3,82	-20,62	-32,8	-45,1

Tabelle 21: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden		V in km/h	V in m/s	A = 0 m	H für A=0m	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
				0		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,75	52,55	0,455	-0,045	-0,545
		130	36,1	2,75	52,55	0,455	-0,045	-0,545
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,75	39,42	0,117	-0,383	-0,883
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,75	39,42	0,183	-0,317	-0,817
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,75	26,31	-0,106	-0,606	-1,106
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,75	22,57	-0,317	-0,817	-1,317
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,75	19,76	-0,192	-0,692	-1,192
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,75	15,84	-0,393	-0,893	-1,393
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,75	14,41	-0,465	-0,965	-1,465
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,75	11,37	-0,469	-0,969	-1,469
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,75	3,82	-0,844	-1,344	-1,844

Tabelle 22: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A= 0,25 m	H für A=0,25m	RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,25		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,5	47,8	11,7	-6,4	-24,5
		130	36,1	2,5	47,8	11,7	-6,4	-24,5
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,5	35,8	0,6	-17,1	-34,7
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,5	35,8	2,5	-14,2	-30,8
		120	33,3	2,5	35,8	2,5	-14,2	-30,8
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,5	23,9	-5,5	-20,2	-35,0
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,5	20,5	-12,5	-29,1	-45,6
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,5	18,0	-6,5	-18,7	-30,9
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,5	14,4	-11,7	-24,8	-37,8
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,5	13,1	-13,8	-27,3	-40,8
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,5	10,3	-11,1	-21,7	-32,4
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,5	3,5	-21,0	-33,2	-45,4

Tabelle 23: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A= 0,25 m	H für A=0,25m	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,25		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,5	47,8	0,323	-0,177185	-0,677185
		130	36,1	2,5	47,8	0,323	-0,177185	-0,677185
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,5	35,8	0,016	-0,484092	-0,984092
		120	33,3	2,5	35,8	0,075	-0,424830	-0,924830
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,5	35,8	0,075	-0,424830	-0,924830
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,5	23,9	-0,187726	-0,687726	-1,187726
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,5	20,5	-0,379415	-0,879415	-1,379415
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,5	18,0	-0,265140	-0,765140	-1,265140
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,5	14,4	-0,448628	-0,948628	-1,448628
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,5	13,1	-0,513736	-1,013736	-1,513736
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,5	10,3	-0,516855	-1,016855	-1,516855
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,5	3,5	-0,857824	-1,357824	-1,857824

Tabelle 24: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A = 0,55 m	H für A=0,55m	RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,55		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,2	42,0	5,9	-12,1	-30,2
		130	36,1	2,2	42,0	5,9	-12,1	-30,2
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,2	31,5	-3,7	-21,4	-39,0
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,2	31,5	-1,8	-18,5	-35,1
		120	33,3	2,2	31,5	-1,8	-18,5	-35,1
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,2	21,0	-8,4	-23,1	-37,8
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,2	18,1	-15,0	-31,5	-48,1
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,2	15,8	-8,6	-20,9	-33,1
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,2	12,7	-13,4	-26,5	-39,6
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,2	11,5	-15,4	-28,9	-42,4
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,2	9,1	-12,3	-23,0	-33,7
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,2	3,1	-21,4	-33,6	-45,8

Tabelle 25: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A = 0,55 m	H für A=0,55m	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,55		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	2,2	42,0	0,164076	-0,335923	-0,835923
		130	36,1	2,2	42,0	0,164076	-0,335923	-0,835923
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	2,2	31,5	-0,106001	-0,606001	-1,106001
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	2,2	31,5	-0,053851	-0,553851	-1,053851
		120	33,3	2,2	31,5	-0,053851	-0,553851	-1,053851
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	2,2	21,0	-0,285199	-0,785199	-1,285199
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	2,2	18,1	-0,453885	-0,953885	-1,453885
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	2,2	15,8	-0,353323	-0,853323	-1,353323
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	2,2	12,7	-0,514792	-1,014792	-1,514792
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	2,2	11,5	-0,572087	-1,072087	-1,572087
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	2,2	9,1	-0,574833	-1,074833	-1,574833
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	2,2	3,1	-0,874885	-1,374885	-1,874885

Tabelle 26: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A=0,85 m	H für A=0,85m	RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,85		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	1,9	36,3	0,2	-17,9	-35,9
		130	36,1	1,9	36,3	0,2	-17,9	-35,9
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	1,9	27,2	-8,0	-25,7	-43,3
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	1,9	27,2	-6,1	-22,8	-39,4
		120	33,3	1,9	27,2	-6,1	-22,8	-39,4
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	1,9	18,2	-11,3	-26,0	-40,7
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	1,9	15,6	-17,5	-34,0	-50,5
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	1,9	13,7	-10,8	-23,0	-35,2
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	1,9	10,9	-15,2	-28,2	-41,3
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	1,9	10,0	-17,0	-30,5	-43,9
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	1,9	7,9	-13,5	-24,2	-34,9
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	1,9	2,6	-21,8	-34,0	-46,2

Tabelle 27: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden mit einem Abstand A=0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts auf einer Geraden				A=0,85 m	H für A=0,85m	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	0,85		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	130	36,1	1,9	36,3	0,005339	-0,494660	-0,994660
		130	36,1	1,9	36,3	0,005339	-0,494660	-0,994660
Abkommenswinkel in °	4	127	35,3	1,9	27,2	-0,227910	-0,727910	-1,227910
Abkommenswinkel in °	5	120	33,3	1,9	27,2	-0,182871	-0,682871	-1,182871
		120	33,3	1,9	27,2	-0,182871	-0,682871	-1,182871
Abkommenswinkel in °	6	106	29,4	1,9	18,2	-0,382672	-0,882672	-1,382672
Abkommenswinkel in °	7	119	33,1	1,9	15,6	-0,528355	-1,028355	-1,528355
Abkommenswinkel in °	8	88	24,4	1,9	13,7	-0,441506	-0,941506	-1,441506
Abkommenswinkel in °	10	94	26,1	1,9	10,9	-0,580957	-1,080957	-1,580957
Abkommenswinkel in °	11	97	26,9	1,9	10,0	-0,630439	-1,130439	-1,630439
Abkommenswinkel in °	14	77	21,4	1,9	7,9	-0,632810	-1,132810	-1,632810
Abkommenswinkel in °	134	88	24,4	1,9	2,6	-0,891946	-1,391946	-1,891946

Tabelle 28: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A = 0 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0	KR-2,75	α	γ	β	H		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700	2,75	1697,3	-3,2	89,9	93,3	94,8		61,2	44,4	27,6
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008	2,75	4005,3	-0,4	84,4	96,0	27,2		-7,5	-24,9	-42,3
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530	2,75	527,3	-1,9	81,9	100,0	17,4		-9,2	-22,6	-35,9
		122	33,9	750	2,75	747,3	-1,3	81,3	100,0	16,9		-17,0	-33,9	-50,9
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,75	3036,3	-0,1	58,1	122,0	5,2		-27,3	-43,6	-59,8

Tabelle 29: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A = 0 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0	KR-2,75	α	γ	β	H		1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	2,75	1697,3	86,6	89,0	4,4	129,5		1,8	1,3	0,8
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	2,75	4005,3	84,0	84,4	11,6	810,7		-0,2	-0,7	-1,2
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	2,75	527,3	80,0	81,9	18,1	166,6		-0,3	-0,8	-1,3
		122	33,9	750,0	2,75	747,3	80,0	81,3	18,7	243,6		-0,5	-1,0	-1,5
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,75	3036,3	58,0	58,1	63,9	3215,7		-0,8	-1,3	-1,8

Tabelle 30: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A= 0,25 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,25	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	2,5	1699,8	1697,3	-2,3	89,0	93,3	67,5	33,9	17,1	0,3
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	2,5	4007,8	4005,5	-0,3	84,3	96,0	22,1	-12,6	-30,0	-47,3
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	2,5	529,8	527,5	-1,5	81,5	100,0	14,0	-12,7	-26,0	-39,3
		122	33,9	750,0	2,5	749,8	747,5	-1,0	81,0	100,0	13,7	-20,2	-37,2	-54,1
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,5	3038,8	3036,5	-0,1	58,1	122,0	4,2	-28,3	-44,5	-60,8

Tabelle 31: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A= 0,25 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,25	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	2,5	1699,8	1697,5	86,6	88,3	5,1	151,0	1,0	0,5	0,0
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	2,5	4007,8	4005,5	84,0	84,3	11,7	815,7	-0,4	-0,9	-1,4
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	2,5	529,8	527,5	80,0	81,5	18,5	170,0	-0,5	-1,0	-1,5
		122	33,9	750,0	2,5	749,8	747,5	80,0	81,0	19,0	246,7	-0,6	-1,1	-1,6
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,5	3038,8	3036,5	58,0	58,1	63,9	3216,3	-0,9	-1,4	-1,9

Tabelle 32: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A = 0,55 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,55	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700	2,2	1699,5	1697,3	-1,8	88,5	93,3	53,4	19,8	3,0	-13,8
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008	2,2	4007,5	4005,3	-0,3	84,3	96,0	21,6	-13,1	-30,5	-47,8
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530	2,2	529,5	527,3	-1,5	81,5	100,0	13,7	-13,0	-26,3	-39,7
		122	33,9	750	2,2	749,5	747,3	-1,0	81,0	100,0	13,3	-20,6	-37,5	-54,4
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,2	3038,5	3036,3	-0,1	58,1	122,0	4,2	-28,3	-44,6	-60,8

Tabelle 33: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A = 0,55 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,55	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	2,2	1699,5	1697,3	86,6	88,3	5,1	152,6	0,6	0,1	-0,4
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	2,2	4007,5	4005,3	84,0	84,3	11,7	816,2	-0,4	-0,9	-1,4
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	2,2	529,5	527,3	80,0	81,5	18,5	170,2	-0,5	-1,0	-1,5
		122	33,9	750,0	2,2	749,5	747,3	80,0	81,0	19,0	246,9	-0,6	-1,1	-1,6
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	2,2	3038,5	3036,3	58,0	58,1	63,9	3216,1	-0,9	-1,4	-1,9

Tabelle 34: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A=0,85 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,85	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	1,9	1699,2	1697,3	-1,4	88,2	93,3	42,9	9,3	-7,5	-24,3
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	1,9	4007,2	4005,3	-0,3	84,3	96,0	18,6	-16,1	-33,5	-50,9
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	1,9	529,2	527,3	-1,2	81,2	100,0	11,7	-15,0	-28,3	-41,7
		122	33,9	750,0	1,9	749,2	747,3	-0,9	80,9	100,0	11,4	-22,5	-39,4	-56,3
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	1,9	3038,2	3036,3	-0,1	58,1	122,0	3,6	-28,9	-45,2	-61,4

Tabelle 35: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Rechtskurve				A=0,85 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,85	KR-A	KR-2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	3	121	33,6	1700,0	1,9	1699,2	1697,3	86,6	87,9	5,5	161,6	0,3	-0,2	-0,7
Abkommenswinkel in °	6	125	34,7	4008,0	1,9	4007,2	4005,3	84,0	84,3	11,7	819,1	-0,5	-1,0	-1,5
Abkommenswinkel in °	10	96	26,7	530,0	1,9	529,2	527,3	80,0	81,2	18,8	172,1	-0,6	-1,1	-1,6
		122	33,9	750,0	1,9	749,2	747,3	80,0	80,9	19,1	248,7	-0,7	-1,2	-1,7
Abkommenswinkel in °	32	117	32,5	3039	1,9	3038,2	3036,3	58,0	58,1	63,9	3216,4	-0,9	-1,4	-1,9

Tabelle 36: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A = 0 m						RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0	KR+2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	1	119	33,1	1000	2,75	1002,8	3,4	85,6	91,0	58,8	25,7	9,2	-7,3
Abkommenswinkel in °	2	114	31,7	1000	2,75	1002,8	2,7	85,3	92,0	47,1	15,4	-0,4	-16,2
		76	21,1	2000	2,75	2002,8	1,6	86,4	92,0	56,2	35,1	24,5	14,0
Abkommenswinkel in °	3	100	27,8	1278	2,75	1280,8	1,8	85,2	93,0	40,4	12,6	-1,3	-15,2
		90	25,0	750	2,75	752,8	2,7	84,3	93,0	36,1	11,1	-1,4	-13,9
Abkommenswinkel in °	6	105	29,2	1592	2,75	1594,8	0,9	83,1	96,0	24,5	-4,6	-19,2	-33,8
Abkommenswinkel in °	7	129	35,8	1800	2,75	1802,8	0,7	82,3	97,0	21,5	-14,3	-32,2	-50,1
Abkommenswinkel in °	11	140	38,9	2003	2,75	2005,8	0,4	78,6	101,0	14,2	-24,7	-44,2	-63,6
Abkommenswinkel in °	36	97	26,9	550	2,75	552,8	0,4	53,6	126,0	4,7	-22,3	-35,8	-49,2

Tabelle 37: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A = 0 m						RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,00	KR+2,75	α	γ	β	H	1,00	1,50	2,00
Abkommenswinkel in °	1	119	33,06	1000	2,75	1002,75	3,36	85,64	91,00	58,79	0,78	0,28	-0,22
Abkommenswinkel in °	2	114	31,67	1000	2,75	1002,75	2,69	85,31	92,00	47,11	0,49	-0,01	-0,51
		76	21,11	2000	2,75	2002,75	1,61	86,39	92,00	56,21	1,66	1,16	0,66
Abkommenswinkel in °	3	100	27,78	1278	2,75	1280,75	1,81	85,19	93,00	40,40	0,45	-0,05	-0,55
		90	25,00	750	2,75	752,75	2,74	84,26	93,00	36,07	0,44	-0,06	-0,56
Abkommenswinkel in °	6	105	29,17	1592	2,75	1594,75	0,88	83,12	96,00	24,52	-0,16	-0,66	-1,16
Abkommenswinkel in °	7	129	35,83	1800	2,75	1802,75	0,68	82,32	97,00	21,53	-0,40	-0,90	-1,40
Abkommenswinkel in °	11	140	38,89	2003	2,75	2005,75	0,40	78,60	101,00	14,16	-0,64	-1,14	-1,64
Abkommenswinkel in °	36	97	26,94	550	2,75	552,75	0,39	53,61	126,00	4,66	-0,83	-1,33	-1,83

Tabelle 38: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A= 0,25 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,25	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2	
Abkommenswinkel in °	1	119	33,1	1000	2,5	1000,3	1002,8	3,2	85,8	91,0	55,4	22,4	5,8	-10,7	
Abkommenswinkel in °	2	114	31,7	1000	2,5	1000,3	1002,8	2,5	85,5	92,0	44,0	12,3	-3,5	-19,3	
		76	21,1	2000	2,5	2000,3	2002,8	1,5	86,5	92,0	52,2	31,1	20,5	10,0	
Abkommenswinkel in °	3	100	27,8	1278	2,5	1278,3	1280,8	1,7	85,3	93,0	37,4	9,6	-4,3	-18,2	
		90	25,0	750	2,5	750,3	752,8	2,5	84,5	93,0	33,5	8,5	-4,0	-16,5	
Abkommenswinkel in °	6	105	29,2	1592	2,5	1592,3	1594,8	0,8	83,2	96,0	22,4	-6,7	-21,3	-35,9	
Abkommenswinkel in °	7	129	35,8	1800	2,5	1800,3	1802,8	0,6	82,4	97,0	19,6	-16,2	-34,1	-52,0	
Abkommenswinkel in °	11	140	38,9	2003	2,5	2003,3	2005,8	0,4	78,6	101,0	12,9	-26,0	-45,4	-64,9	
Abkommenswinkel in °	36	97	26,9	550	2,5	550,3	552,8	0,4	53,6	126,0	4,2	-22,7	-36,2	-49,7	

Tabelle 39: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,25 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A= 0,25 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,25	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1,00	1,50	2,00	
Abkommenswinkel in °	1	119,00	33,06	1000,00	2,50	1000,25	1002,75	3,17	85,83	91,00	55,43	0,68	0,18	-0,32	
Abkommenswinkel in °	2	114,00	31,67	1000,00	2,50	1000,25	1002,75	2,51	85,49	92,00	44,00	0,39	-0,11	-0,61	
		76,00	21,11	2000,00	2,50	2000,25	2002,75	1,49	86,51	92,00	52,18	1,47	0,97	0,47	
Abkommenswinkel in °	3	100,00	27,78	1278,00	2,50	1278,25	1280,75	1,67	85,33	93,00	37,37	0,35	-0,15	-0,65	
		90,00	25,00	750,00	2,50	750,25	752,75	2,55	84,45	93,00	33,53	0,34	-0,16	-0,66	
Abkommenswinkel in °	6	105,00	29,17	1592,00	2,50	1592,25	1594,75	0,80	83,20	96,00	22,42	-0,23	-0,73	-1,23	
Abkommenswinkel in °	7	129,00	35,83	1800,00	2,50	1800,25	1802,75	0,62	82,38	97,00	19,65	-0,45	-0,95	-1,45	
Abkommenswinkel in °	11	140,00	38,89	2003,00	2,50	2003,25	2005,75	0,36	78,64	101,00	12,89	-0,67	-1,17	-1,67	
Abkommenswinkel in °	36	97,00	26,94	550,00	2,50	550,25	552,75	0,36	53,64	126,00	4,24	-0,84	-1,34	-1,84	

Tabelle 40: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A = 0,55 m							RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,55	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	1	119	33,1	1000	2,2	1000,6	1002,8	2,9	86,1	91,0	51,2	18,1	1,6	-14,9
Abkommenswinkel in °	2	114	31,7	1000	2,2	1000,6	1002,8	2,3	85,7	92,0	40,1	8,4	-7,4	-23,2
		76	21,1	2000		2000,6	2002,8	1,3	86,7	92,0	47,2	26,0	15,5	4,9
Abkommenswinkel in °	3	100	27,8	1278	2,2	1278,6	1280,8	1,5	85,5	93,0	33,6	5,8	-8,0	-21,9
		90	25,0	750	2,2	750,6	752,8	2,3	84,7	93,0	30,4	5,4	-7,1	-19,6
Abkommenswinkel in °	6	105	29,2	1592	2,2	1592,6	1594,8	0,7	83,3	96,0	19,9	-9,3	-23,9	-38,5
Abkommenswinkel in °	7	129	35,8	1800	2,2	1800,6	1802,8	0,5	82,5	97,0	17,4	-18,5	-36,4	-54,3
Abkommenswinkel in °	11	140	38,9	2003	2,2	2003,6	2005,8	0,3	78,7	101,0	11,4	-27,5	-47,0	-66,4
Abkommenswinkel in °	36	97	26,9	550	2,2	550,6	552,8	0,3	53,7	126,0	3,7	-23,2	-36,7	-50,2

Tabelle 41: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,55 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve					A = 0,55 m							RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,55	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1,00	1,50	2,00
Abkommenswinkel in °	1	119,00	33,06	1000,00	2,20	1000,55	1002,75	2,93	86,07	91,00	51,18	0,55	0,05	-0,45
Abkommenswinkel in °	2	114,00	31,67	1000,00	2,20	1000,55	1002,75	2,29	85,71	92,00	40,09	0,27	-0,23	-0,73
		76,00	21,11	2000,00		2000,55	2002,75	1,35	86,65	92,00	47,15	1,23	0,73	0,23
Abkommenswinkel in °	3	100,00	27,78	1278,00	2,20	1278,55	1280,75	1,50	85,50	93,00	33,62	0,21	-0,29	-0,79
		90,00	25,00	750,00	2,20	750,55	752,75	2,31	84,69	93,00	30,36	0,21	-0,29	-0,79
Abkommenswinkel in °	6	105,00	29,17	1592,00	2,20	1592,55	1594,75	0,71	83,29	96,00	19,87	-0,32	-0,82	-1,32
Abkommenswinkel in °	7	129,00	35,83	1800,00	2,20	1800,55	1802,75	0,55	82,45	97,00	17,38	-0,52	-1,02	-1,52
Abkommenswinkel in °	11	140,00	38,89	2003,00	2,20	2003,55	2005,75	0,32	78,68	101,00	11,37	-0,71	-1,21	-1,71
Abkommenswinkel in °	36	97,00	26,94	550,00	2,20	550,55	552,75	0,31	53,69	126,00	3,73	-0,86	-1,36	-1,86

Tabelle 42: Ergebnisse für RW für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve				A=0,85 m								RW bei R1	RW bei R2	RW bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,85	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1	1,5	2
Abkommenswinkel in °	1	119	33,1	1000	1,9	1000,9	1002,8	2,7	86,3	91,0	46,7	13,6	-2,9	-19,5
Abkommenswinkel in °	2	114	31,7	1000	1,9	1000,9	1002,8	2,1	85,9	92,0	36,0	4,3	-11,5	-27,4
		76	21,1	2000	1,9	2000,9	2002,8	1,2	86,8	92,0	41,9	20,8	10,2	-0,3
Abkommenswinkel in °	3	100	27,8	1278	1,9	1278,9	1280,8	1,3	85,7	93,0	29,7	2,0	-11,9	-25,8
		90	25,0	750	1,9	750,9	752,8	2,1	84,9	93,0	27,0	2,0	-10,5	-23,0
Abkommenswinkel in °	6	105	29,2	1592	1,9	1592,9	1594,8	0,6	83,4	96,0	17,3	-11,9	-26,5	-41,0
Abkommenswinkel in °	7	129	35,8	1800	1,9	1800,9	1802,8	0,5	82,5	97,0	15,1	-20,8	-38,7	-56,6
Abkommenswinkel in °	11	140	38,9	2003	1,9	2003,9	2005,8	0,3	78,7	101,0	9,8	-29,1	-48,5	-67,9
Abkommenswinkel in °	36	97	26,9	550	1,9	550,9	552,8	0,3	53,7	126,0	3,2	-23,7	-37,2	-50,7

Tabelle 43: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve mit einem Abstand A= 0,85 m der Rumble Strips von der Begrenzungslinie

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve				A=0,85 m								RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3
		V in km/h	V in m/s	KR	0,85	KR+A	KR+2,75	α	γ	β	H	1,00	1,50	2,00
Abkommenswinkel in °	1	119,00	33,06	1000,00	1,90	1000,85	1002,75	2,67	86,33	91,00	46,7	0,41	-0,09	-0,59
Abkommenswinkel in °	2	114,00	31,67	1000,00	1,90	1000,85	1002,75	2,05	85,95	92,00	36,0	0,14	-0,36	-0,86
		76,00	21,11	2000,00	1,90	2000,85	2002,75	1,20	86,80	92,00	41,9	0,98	0,48	-0,02
Abkommenswinkel in °	3	100,00	27,78	1278,00	1,90	1278,85	1280,75	1,33	85,67	93,00	29,7	0,07	-0,43	-0,93
		90,00	25,00	750,00	1,90	750,85	752,75	2,06	84,94	93,00	27,0	0,08	-0,42	-0,92
Abkommenswinkel in °	6	105,00	29,17	1592,00	1,90	1592,85	1594,75	0,62	83,38	96,00	17,3	-0,41	-0,91	-1,41
Abkommenswinkel in °	7	129,00	35,83	1800,00	1,90	1800,85	1802,75	0,48	82,52	97,00	15,1	-0,58	-1,08	-1,58
Abkommenswinkel in °	11	140,00	38,89	2003,00	1,90	2003,85	2005,75	0,28	78,72	101,00	9,8	-0,75	-1,25	-1,75
Abkommenswinkel in °	36	97,00	26,94	550,00	1,90	550,85	552,75	0,27	53,73	126,00	3,2	-0,88	-1,38	-1,88

Tabelle 44: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts auf einer Geraden, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h

	Gerade	A= 0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	0,105	-0,395	-0,895	-1,495	-1,995	-2,495	-2,395	-2,895	-3,395
PKW 3	3	0,464	-0,036	-0,536	-1,136	-1,636	-2,136	-2,036	-2,536	-3,036
PKW 2	2	1,197	0,697	0,197	-0,403	-0,903	-1,403	-1,303	-1,803	-2,303
PKW 1	1	3,375	2,875	2,375	1,775	1,275	0,775	0,875	0,375	-0,125

	Gerade	A= 0,25 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,009	-0,509	-1,009	-1,609	-2,109	-2,609	-2,509	-3,009	-3,509
PKW 3	3	0,33	-0,17	-0,67	-1,27	-1,77	-2,27	-2,17	-2,67	-3,17
PKW 2	2	0,985	0,485	-0,015	-0,615	-1,115	-1,615	-1,515	-2,015	-2,515
PKW 1	1	2,982	2,482	1,982	1,382	0,882	0,382	0,482	-0,018	-0,518

	Gerade	A= 0,55 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,122	-0,622	-1,122	-1,722	-2,222	-2,722	-2,622	-3,122	-3,622
PKW 3	3	0,175	-0,325	-0,825	-1,425	-1,925	-2,425	-2,325	-2,825	-3,325
PKW 2	2	0,751	0,251	-0,249	-0,849	-1,349	-1,849	-1,749	-2,249	-2,749
PKW 1	1	2,48	1,98	1,48	0,88	0,38	-0,12	-0,02	-0,52	-1,02

	Gerade	A= 0,85 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel in °	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,251	-0,751	-1,251	-1,851	-2,351	-2,851	-2,751	-3,251	-3,751
PKW 3	3	0,017	-0,483	-0,983	-1,583	-2,083	-2,583	-2,483	-2,983	-3,483
PKW 2	2	0,53	0,03	-0,47	-1,07	-1,57	-2,07	-1,97	-2,47	-2,97
PKW 1	1	2,083	1,583	1,083	0,483	-0,017	-0,517	-0,417	-0,917	-1,417

Tabelle 45: Ergebnisse für die Realunfälle bei Abkommensunfällen nach rechts in einer Rechtskurve aus der Simulation mit PC Crash

Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve				A=0 m						F1=1,6 s			F2=2,5 s			
Abkommenswinkel in °	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s	2 s	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
3	121	33,6	1700,0	KE	1	2,3	3,072	2,4	1,1	0,328	0,8	-0,5	-1,272	-0,1	-1,4	-2,172
6	125	34,7	4008,0	KM	1,685	2,264	2,873	-0,021	-0,6	-1,209	-1,621	-2,2	-2,809	-2,521	-3,1	-3,709
10	96	26,7	530,0	KM	1,71	2,264	2,837	-0,309	-0,863	-1,436	-1,909	-2,463	-3,036	-2,809	-3,363	-3,936
	122	33,9	750,0	KM	1,719	2,271	2,822	-0,417	-0,969	-1,52	-2,017	-2,569	-3,12	-2,917	-3,469	-4,02
32	117	32,5	3039	KM	1,63	2,15	2,67	-0,828	-1,348	-1,868	-2,428	-2,948	-3,468	-3,328	-3,848	-4,368

Rechtskurve				A= 0,25 m						F1=1,6 s			F2=2,5 s			
Abkommenswinkel in °	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s	2 s	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
3	121	33,6	1700,0	KE	1,8	2,3	2,8	1,6	1,1	0,6	0	-0,5	-1	-0,9	-1,4	-1,9
6	125	34,7	4008,0	KM	1,764	2,264	2,764	-0,1	-0,6	-1,1	-1,7	-2,2	-2,7	-2,6	-3,1	-3,6
10	96	26,7	530,0	KM	1,764	2,264	2,764	-0,363	-0,863	-1,363	-1,963	-2,463	-2,963	-2,863	-3,363	-3,863
	122	33,9	750,0	KM	1,771	2,271	2,771	-0,469	-0,969	-1,469	-2,069	-2,569	-3,069	-2,969	-3,469	-3,969
32	117	32,5	3039	KM	1,65	2,15	2,65	-0,848	-1,348	-1,848	-2,448	-2,948	-3,448	-3,348	-3,848	-4,348

Rechtskurve				A=0,55 m						F1=1,6 s			F2=2,5 s			
Abkommenswinkel in °	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s	2 s	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
3	121	33,6	1700,0	KE	2,072	2,572	3,072	1,328	0,828	0,328	-0,272	-0,772	-1,272	-1,172	-1,672	-2,172
6	125	34,7	4008,0	KM	1,873	2,373	2,873	-0,209	-0,709	-1,209	-1,809	-2,309	-2,809	-2,709	-3,209	-3,709
10	96	26,7	530,0	KM	1,837	2,337	2,837	-0,436	-0,936	-1,436	-2,036	-2,536	-3,036	-2,936	-3,436	-3,936
	122	33,9	750,0	KM	1,822	2,322	2,822	-0,52	-1,02	-1,52	-2,12	-2,62	-3,12	-3,02	-3,52	-4,02
32	117	32,5	3039	KM	1,67	2,17	2,67	-0,868	-1,368	-1,868	-2,468	-2,968	-3,468	-3,368	-3,868	-4,368

Rechtskurve				A=0,85 m							F1=1,6 s			F2=2,5 s		
Abkommenswinkel in °	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s	2 s	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
3	121	33,6	1700,0	KE	2,5	3	3,5	0,9	0,4	-0,1	-0,7	-1,2	-1,7	-1,6	-2,1	-2,6
6	125	34,7	4008,0	KM	1,955	2,455	2,955	-0,291	-0,791	-1,291	-1,891	-2,391	-2,891	-2,791	-3,291	-3,791
10	96	26,7	530,0	KM	1,909	2,409	2,909	-0,508	-1,008	-1,508	-2,108	-2,608	-3,108	-3,008	-3,508	-4,008
	122	33,9	750,0	KM	1,891	2,391	2,891	-0,589	-1,089	-1,589	-2,189	-2,689	-3,189	-3,089	-3,589	-4,089
32	117	32,5	3039	KM	1,69	2,19	2,69	-0,888	-1,388	-1,888	-2,488	-2,988	-3,488	-3,388	-3,888	-4,388

Tabelle 46: Ergebnisse für die Realunfälle bei Abkommensunfällen nach rechts in einer Linkskurve aus der Simulation mit PC Crash

Abkommen nach rechts in einer Linkskurve				A=0m							F1=1,6 s			F2=2,5 s		
Abkommenswinkel in °	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s	2 s	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
1	119	33,06	1000,00	KB	1,641	2,141	2,641	0,303	-0,197	-0,697	-1,297	-1,797	-2,297	-2,197	-2,697	-3,197
2	114	31,67	1000,00	KM	1,348	1,848	2,348	0,238	-0,262	-0,762	-1,362	-1,862	-2,362	-2,262	-2,762	-3,262
	76	21,11	2000,00	KE	1	1,5	2	1,353	0,853	0,353	-0,247	-0,747	-1,247	-1,147	-1,647	-2,147
3	100	27,78	1278,00	KM	1,269	1,769	2,269	0,24	-0,26	-0,76	-1,36	-1,86	-2,36	-2,26	-2,76	-3,26
	90	25,00	750,00	KE	1	1,5	2	0,687	0,187	-0,313	-0,913	-1,413	-1,913	-1,813	-2,313	-2,813
6	105	29,17	1592,00	KE	1	1,5	2	-0,178	-0,678	-1,178	-1,778	-2,278	-2,778	-2,678	-3,178	-3,678
7	129	35,83	1800,00	KM	1,186	1,686	2,186	-0,442	-0,942	-1,442	-2,042	-2,542	-3,042	-2,942	-3,442	-3,942
11	140	38,89	2003,00	KM	1,1	1,6	2,1	-0,649	-1,149	-1,649	-2,249	-2,749	-3,249	-3,149	-3,649	-4,149
36	97	26,94	550,00	KM	1	1,5	2	-0,815	-1,315	-1,815	-2,415	-2,915	-3,415	-3,315	-3,815	-4,315

Abkommenswinkel in °	Linkskurve			A=0,25 m			RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	F1=1,6 s			F2=2,5 s			
	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s				2 s	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
1	119	33,06	1000,00	KB	1,833	2,333	2,833	0,111	-0,389	-0,889	-1,489	-1,989	-2,489	-2,389	-2,889	-3,389
2	114	31,67	1000,00	KM	1,513	2,013	2,513	0,073	-0,427	-0,927	-1,527	-2,027	-2,527	-2,427	-2,927	-3,427
	76	21,11	2000,00	KE	1,405	1,905	2,405	0,948	0,448	-0,052	-0,652	-1,152	-1,652	-1,552	-2,052	-2,552
3	100	27,78	1278,00	KM	1,393	1,893	2,393	0,116	-0,384	-0,884	-1,484	-1,984	-2,484	-2,384	-2,884	-3,384
	90	25,00	750,00	KE	1,24	1,74	2,24	0,447	-0,053	-0,553	-1,153	-1,653	-2,153	-2,053	-2,553	-3,053
6	105	29,17	1592,00	KE	1,05	1,55	2,05	-0,228	-0,728	-1,228	-1,828	-2,328	-2,828	-2,728	-3,228	-3,728
7	129	35,83	1800,00	KM	1,227	1,727	2,227	-0,483	-0,983	-1,483	-2,083	-2,583	-3,083	-2,983	-3,483	-3,983
11	140	38,89	2003,00	KM	1,125	1,625	2,125	-0,674	-1,174	-1,674	-2,274	-2,774	-3,274	-3,174	-3,674	-4,174
36	97	26,94	550,00	KM	1,028	1,5	2,028	-0,843	-1,315	-1,843	-2,443	-2,915	-3,443	-3,343	-3,815	-4,343

Abkommenswinkel in °	Linkskurve			A=0,55 m			RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	F1=1,6 s			F2=2,5 s			
	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s				2 s	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
1	119	33,06	1000,00	KB	2,004	2,504	3,004	-0,06	-0,56	-1,06	-1,66	-2,16	-2,66	-2,56	-3,06	-3,56
2	114	31,67	1000,00	KM	1,663	2,163	2,663	-0,077	-0,577	-1,077	-1,677	-2,177	-2,677	-2,577	-3,077	-3,577
	76	21,11	2000,00	KE	1,75	2,25	2,75	0,603	0,103	-0,397	-0,997	-1,497	-1,997	-1,897	-2,397	-2,897
3	100	27,78	1278,00	KM	1,579	2,079	2,579	-0,07	-0,57	-1,07	-1,67	-2,17	-2,67	-2,57	-3,07	-3,57
	90	25,00	750,00	KE	1,413	1,913	2,413	0,274	-0,226	-0,726	-1,326	-1,826	-2,326	-2,226	-2,726	-3,226
6	105	29,17	1592,00	KE	1,185	1,685	2,185	-0,363	-0,863	-1,363	-1,963	-2,463	-2,963	-2,863	-3,363	-3,863
7	129	35,83	1800,00	KM	1,289	1,789	2,289	-0,545	-1,045	-1,545	-2,145	-2,645	-3,145	-3,045	-3,545	-4,045
11	140	38,89	2003,00	KM	1,163	1,663	2,163	-0,712	-1,212	-1,712	-2,312	-2,812	-3,312	-3,212	-3,712	-4,212
36	97	26,94	550,00	KM	1,045	1,545	2,045	-0,86	-1,36	-1,86	-2,46	-2,96	-3,46	-3,36	-3,86	-4,36

Abkommenswinkel in °	Linkskurve			A=0,85 m			RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	F1=1,6 s			F2=2,5 s			
	V in km/h	V in m/s	KR		1 s	1,5 s				2 s	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
1	119	33,06	1000,00	KB	2,185	2,685	3,185	-0,241	-0,741	-1,241	-1,841	-2,341	-2,841	-2,741	-3,241	-3,741
2	114	31,67	1000,00	KM	1,813	2,313	2,813	-0,227	-0,727	-1,227	-1,827	-2,327	-2,827	-2,727	-3,227	-3,727
	76	21,11	2000,00	KE	2,065	2,565	3,065	0,288	-0,212	-0,712	-1,312	-1,812	-2,312	-2,212	-2,712	-3,212
3	100	27,78	1278,00	KM	1,723	2,223	2,723	-0,214	-0,714	-1,214	-1,814	-2,314	-2,814	-2,714	-3,214	-3,714
	90	25,00	750,00	KE	1,595	2,095	2,595	0,092	-0,408	-0,908	-1,508	-2,008	-2,508	-2,408	-2,908	-3,408
6	105	29,17	1592,00	KE	1,267	1,767	2,267	-0,445	-0,945	-1,445	-2,045	-2,545	-3,045	-2,945	-3,445	-3,945
7	129	35,83	1800,00	KM	1,351	1,851	2,351	-0,607	-1,107	-1,607	-2,207	-2,707	-3,207	-3,107	-3,607	-4,107
11	140	38,89	2003,00	KM	1,231	1,731	2,231	-0,78	-1,28	-1,78	-2,38	-2,88	-3,38	-3,28	-3,78	-4,28
36	97	26,94	550,00	KM	1,066	1,566	2,066	-0,881	-1,381	-1,881	-2,481	-2,981	-3,481	-3,381	-3,881	-4,381

Tabelle 47: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenanfang;
R=1000 m und R=2000 m;

R=1000	Kurvenanfang	A=0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,694	-1,194	-1,694	-2,294	-2,794	-3,294	-3,194	-3,694	-4,194
PKW 3	3	-0,68	-1,18	-1,68	-2,28	-2,78	-3,28	-3,18	-3,68	-4,18
PKW 2	2	-0,657	-1,157	-1,657	-2,257	-2,757	-3,257	-3,157	-3,657	-4,157
PKW 1	1	-0,623	-1,123	-1,623	-2,223	-2,723	-3,223	-3,123	-3,623	-4,123

R=2000	Kurvenanfang	A=0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,422	-0,922	-1,422	-2,022	-2,522	-3,022	-2,922	-3,422	-3,922
PKW 3	3	-0,316	-0,816	-1,316	-1,916	-2,416	-2,916	-2,816	-3,316	-3,816
PKW 2	2	-0,183	-0,683	-1,183	-1,783	-2,283	-2,783	-2,683	-3,183	-3,683
PKW 1	1	0,019	-0,481	-0,981	-1,581	-2,081	-2,581	-2,481	-2,981	-3,481

Tabelle 48: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=1000 m

R=1000 m	Kurvemitte		A= 0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	
PKW 4	4	3,981	3,481	2,981	2,381	1,881	1,381	1,481	0,981	0,481	
PKW 3	3	3,278	2,778	2,278	1,678	1,178	0,678	0,778	0,278	-0,222	
PKW 2	2	2,698	2,198	1,698	1,098	0,598	0,098	0,198	-0,302	-0,802	
PKW 1	1	2,585	2,085	1,585	0,985	0,485	-0,015	0,085	-0,415	-0,915	

Abkommen nach LINKS

R=1000 m	Kurvemitte		A=0,25 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	
PKW 4	4	3,182	2,682	2,182	1,582	1,082	0,582	0,682	0,182	-0,318	
PKW 3	3	2,338	1,838	1,338	0,738	0,238	-0,262	-0,162	-0,662	-1,162	
PKW 2	2										
PKW 1	1										

Abkommen nach LINKS

R=1000 m	Kurvemitte		A=0,55 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	
PKW 4	4	2,975	2,475	1,975	1,375	0,875	0,375	0,475	-0,025	-0,525	
PKW 3	3	1,727	1,227	0,727	0,127	-0,373	-0,873	-0,773	-1,273	-1,773	
PKW 2	2										
PKW 1	1										

Abkommen nach LINKS

R=1000 m	Kurvemitte		A=0,85 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	
PKW 4	4	2,717	2,217	1,717	1,117	0,617	0,117	0,217	-0,283	-0,783	
PKW 3	3										
PKW 2	2										
PKW 1	1										

Abkommen nach LINKS

Tabelle 49: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Rechtskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=2000 m

R=2000 m	Kurvemitte	A=0 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,043	-0,543	-1,043	-1,643	-2,143	-2,643	-2,543	-3,043	-3,543
PKW 3	3	0,282	-0,218	-0,718	-1,318	-1,818	-3,218	-2,218	-2,718	-3,218
PKW 2	2	6,449	5,949	5,449	4,849	4,349	2,949	3,949	3,449	2,949
PKW 1	1	4,702	4,202	3,702	3,102	2,602	1,202	2,202	1,702	1,202

Abkommen nach LINKS

R=2000 m	Kurvemitte	A=0,25 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,134	-0,634	-1,134	-1,734	-2,234	-2,734	-2,634	-3,134	-3,634
PKW 3	3	0,211	-0,289	-0,789	-1,389	-1,889	-3,289	-2,289	-2,789	-3,289
PKW 2	2	6,325	5,825	5,325	4,725	4,225	2,825	3,825	3,325	2,825
PKW 1	1	4,476	3,976	3,476	2,876	2,376	0,976	1,976	1,476	0,976

Abkommen nach LINKS

R=2000 m	Kurvemitte	A=0,55 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,235	-0,735	-1,235	-1,835	-2,335	-2,835	-2,735	-3,235	-3,735
PKW 3	3	0,083	-0,417	-0,917	-1,517	-2,017	-3,417	-2,417	-2,917	-3,417
PKW 2	2	6,128	5,628	5,128	4,528	4,028	2,628	3,628	3,128	2,628
PKW 1	1	4,091	3,591	3,091	2,491	1,991	0,591	1,591	1,091	0,591

Abkommen nach LINKS

R=2000 m	Kurvemitte	A=0,85 m			F1=1,6 s			F2 =2,5 s		
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,333	-0,833	-1,333	-1,933	-2,433	-2,933	-2,833	-3,333	-3,833
PKW 3	3	-0,04	-0,54	-1,04	-1,64	-2,14	-3,54	-2,54	-3,04	-3,54
PKW 2	2	5,958	5,458	4,958	4,358	3,858	2,458	3,458	2,958	2,458
PKW 1	1	3,572	3,072	2,572	1,972	1,472	0,072	1,072	0,572	0,072

Tabelle 50: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenanfang;
R=1000 m und R=2000 m;

R=1000m	Kurvenanfang	A=0 m								
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,197	-0,697	-1,197	-1,797	-2,297	-2,797	-2,697	-3,197	-3,697
PKW 3	3	-0,073	-0,573	-1,073	-1,673	-2,173	-2,673	-2,573	-3,073	-3,573
PKW 2	2	0,05	-0,45	-0,95	-1,55	-2,05	-2,55	-2,45	-2,95	-3,45
PKW 1	1	0,187	-0,313	-0,813	-1,413	-1,913	-2,413	-2,313	-2,813	-3,313
R=1000m	Kurvenanfang	A=0,25 m								
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,291	-0,791	-1,291	-1,891	-2,391	-2,891	-2,791	-3,291	-3,791
PKW 3	3	-0,194	-0,694	-1,194	-1,794	-2,294	-2,794	-2,694	-3,194	-3,694
PKW 2	2	-0,074	-0,574	-1,074	-1,674	-2,174	-2,674	-2,574	-3,074	-3,574
PKW 1	1	0,042	-0,458	-0,958	-1,558	-2,058	-2,558	-2,458	-2,958	-3,458
R=2000 m	Kurvenanfang	A=0 m								
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,099	-0,599	-1,099	-1,699	-2,199	-2,699	-2,599	-3,099	-3,599
PKW 3	3	0,086	-0,414	-0,914	-1,514	-2,014	-2,514	-2,414	-2,914	-3,414
PKW 2	2	0,364	-0,136	-0,636	-1,236	-1,736	-2,236	-2,136	-2,636	-3,136
PKW 1	1	0,638	0,138	-0,362	-0,962	-1,462	-1,962	-1,862	-2,362	-2,862
R=2000 m	Kurvenanfang	A=0,25 m								
	Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2	bei R3
PKW 4	4	-0,189	-0,689	-1,189	-1,789	-2,289	-2,789	-2,689	-3,189	-3,689
PKW 3	3	-0,026	-0,526	-1,026	-1,626	-2,126	-2,626	-2,526	-3,026	-3,526
PKW 2	2	0,201	-0,299	-0,799	-1,399	-1,899	-2,399	-2,299	-2,799	-3,299
PKW 1	1	0,408	-0,092	-0,592	-1,192	-1,692	-2,192	-2,092	-2,592	-3,092

Tabelle 51: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=1000 m

R=1000m	Kurvenmitte	A=0 m								
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,178	-0,678	-1,178	-1,778	-2,278	-2,778	-2,678	-3,178	-3,678
PKW 3	3	-0,036	-0,536	-1,036	-1,636	-2,136	-2,636	-2,536	-3,036	-3,536
PKW 2	2	0,111	-0,389	-0,889	-1,489	-1,989	-2,489	-2,389	-2,889	-3,389
PKW 1	1	0,275	-0,225	-0,725	-1,325	-1,825	-2,325	-2,225	-2,725	-3,225

R=1000m	Kurvenmitte	A=0,25 m								
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,259	-0,759	-1,259	-1,859	-2,359	-2,859	-2,759	-3,259	-3,759
PKW 3	3	-0,147	-0,647	-1,147	-1,747	-2,247	-2,747	-2,647	-3,147	-3,647
PKW 2	2	-0,025	-0,525	-1,025	-1,625	-2,125	-2,625	-2,525	-3,025	-3,525
PKW 1	1	0,094	-0,406	-0,906	-1,506	-2,006	-2,506	-2,406	-2,906	-3,406

Tabelle 52: Ergebnisse für RZ für die Abkommensunfälle nach rechts in einer Linkskurve, Abkommenswinkel 1-4°, Geschwindigkeit 130 km/h; Kurvenmitte; R=2000 m

R=2000m	Kurvenmitte	A= 0 m								
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,139	-0,639	-1,139	-1,739	-2,239	-2,739	-2,639	-3,139	-3,639
PKW 3	3	0,032	-0,468	-0,968	-1,568	-2,068	-2,568	-2,468	-2,968	-3,468
PKW 2	2	0,252	-0,248	-0,748	-1,348	-1,848	-2,348	-2,248	-2,748	-3,248
PKW 1	1	0,499	-0,001	-0,501	-1,101	-1,601	-2,101	-2,001	-2,501	-3,001

R=2000m	Kurvenmitte	A=0,25 m								
		Abkommenswinkel	RZ bei R1	RZ bei R2	RZ bei R3	bei R1	bei R2	bei R3	bei R1	bei R2
PKW 4	4	-0,222	-0,722	-1,222	-1,822	-2,322	-2,822	-2,722	-3,222	-3,722
PKW 3	3	-0,079	-0,579	-1,079	-1,679	-2,179	-2,679	-2,579	-3,079	-3,579
PKW 2	2	0,119	-0,381	-0,881	-1,481	-1,981	-2,481	-2,381	-2,881	-3,381
PKW 1	1	0,301	-0,199	-0,699	-1,299	-1,799	-2,299	-2,199	-2,699	-3,199

