



Ingo Crillovich-Cocoglia

Entwicklung eines Prototypen für eine Versuchsanlage zur Absicherung von automatischen Bremsassistenzsystemen

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur

Studienrichtung:

Maschinenbau - Verkehrstechnik

Technische Universität Graz

Fachrichtung: Maschinenbau

Institut für Fahrzeugtechnik

Member of FSI

Institutsvorstand: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Fischer

Betreuer : Univ.-Doz. Dipl. -Ing. Dr.techn. Arno Eichberger

Institut für Fahrzeugtechnik

DI Daniel Lindvai-Soos

MAGNA STEYR Engineering

Graz, April 2013

Danksagung

Die hier vorliegende Diplomarbeit entstand im Zuge des Kooperationsprojektes VDC-DAS (Vehicle Dynamics Control - Driver Assistance Systems). Als Projektpartner waren das MAGNA Projecthouse Europe und das Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Graz involviert.

Meinen besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle meinem Betreuer an der TU Graz, Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Univ.-Doz Arno Eichberger für die intensive und kompetente Unterstützung bei der Erstellung dieser Diplomarbeit aussprechen.

Des Weiteren möchte ich mich hiermit recht herzlich bei meinem Betreuer der MAGNA STEYR Engineering AG & Co KG, Herrn Dipl.-Ing. Daniel Lindvai-Soos, sowie allen anderen Mitarbeiter/Innen der Firma MAGNA STEYR Engineering für die Unterstützung und gute Zusammenarbeit bedanken.

Abschließend möchte ich mich auch bei Frau Mag.phil Vera Tichy für das gewissenhafte Korrekturlesen dieser Diplomarbeit bedanken.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am

(Unterschrift)

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 used sources.

.....

(Date)

(Signature)

Abstract

Inattention of a driver, not enough distance and misjudgment of the relative velocity between two vehicles, are the leading accident causes in road traffic as results of several accident research show. Therefore the avoidance of these accidents has a high capability to improve the road safety. This is why autonomous emergency brake systems (AEBS) have been developed, which are able to detect dangerous situations by continuously measuring the distance between two vehicles. These autonomous emergency brake systems are able to initiate an emergency stop, if the driver does not react on the collision warning. Because of these systems it is possible to prevent collisions or at least to reduce the accident severity.

During the next years the equipment of vehicles with autonomous emergency brake systems will get mandatory for several vehicle classes. Independent institutions like Euro-NCAP for example will include tests for autonomous emergency brake systems to their ratings as well.

This is why vehicle manufacturer as well as suppliers are developing and implementation of these systems into their vehicles at the moment. To be able to develop and test these AEBS, vehicle manufacturers and suppliers need to have experimental plants to test their systems.

The goal of this diploma thesis is the development of a prototype of such an experimental plant. After a research of projects like ADAC, Thatcham, eValue and others more which deal with this topic and a maneuver research the range of collision speeds is calculated. Subsequently a research on existing experimental plants, and the development of new concepts for such an experimental plant will follow.

The collision forces during the crash are simulated for the range of calculated collision speeds with a mathematical model of the new concepts and the results of these simulations are then compared. For the final decision of a concept to design a cost-benefit analysis will be made.

Subsequently a CAD-model of the experimental plant will be created followed by an simplified FEM-Analysis and the arrangement of the manufacturing process.

Kurzfassung

Unaufmerksamkeit des Fahrers eines Kraftfahrzeuges, zu geringer Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug bzw. die Fehleinschätzung der Annäherungsgeschwindigkeit an einen anderen Verkehrsteilnehmer sind, wie Ergebnisse verschiedener Unfallforschungen zeigen, Hauptunfallursachen im Straßenverkehr. Da die Vermeidung dieser Unfälle großes Potential besitzt die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, wurden sogenannte Notbremsassistentensysteme entwickelt, die durch ständige Abstandsmessung zwischen zwei Fahrzeugen selbständig Gefahrensituationen erkennen und im Falle trotz vorheriger Warnung des Lenkers, ausbleibender Fahrerreaktion autonom eine Notbremsung einleiten können. Dadurch ist es möglich Kollisionen zweier Fahrzeuge zu verhindern, bzw. die Unfallschwere erheblich zu reduzieren.

In den kommenden Jahren soll die Ausrüstung neuer Fahrzeuge, die gewissen Fahrzeugklassen angehören, mit Notbremsassistentensystemen vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden. Unabhängige Institute wie beispielsweise Euro-NCAP sind ebenfalls dabei die Bewertung von Notbremsassistentensystemen in ihr Programm aufnehmen.

Daher sind Fahrzeughersteller, wie auch Zulieferer der Fahrzeugindustrie damit beschäftigt, Notbremsassistentensysteme zu entwickeln und in ihre Fahrzeuge zu implementieren. Zu diesem Zweck werden Versuchsanlagen benötigt mit denen es möglich ist die Funktion dieser Systeme zu testen.

In dieser Diplomarbeit wird die Entwicklung eines Prototypen zur Erprobung von den eingangs beschriebenen Notbremsassistentensystem beschrieben. Dazu wird nach erfolgter Recherche von Projekten, die sich mit diesem Thema beschäftigen (ADAC, Thatcham, eValue, uam.) sowie deren Manöverkatalogen, durch rechnerische Simulation der Manöverabläufe, ein Geschwindigkeitsbereich der Kollisionsgeschwindigkeiten erstellt. Im Anschluss folgt eine Recherche bestehender Anlagen und die Entwicklung neuer Konzepte einer Versuchsanlage.

Unter Verwendung eines selbst entwickelten Simulinkmodells werden durch rechnerische Abschätzungen unbekannter Größen die Kraftverläufe der entwickelten Konzepte während der Kollision für den zuvor abgeschätzten Kollisionsgeschwindigkeitsbereich berechnet. Mit diesen Ergebnissen und Erkenntnissen aus einer Nutzwertanalyse bestehender Anlagen und der entwickelten Konzepte wird die Entscheidung für ein konstruktiv umzusetzendes Konzept gefällt.

Es folgt nach gefällter Konzeptentscheidung die konstruktive Umsetzung und die Erstellung eines CAD-Modells. Am Ende der Konstruktion wird eine vereinfachte Festigkeitsüberprüfung durchgeführt sowie die Fertigung des ersten Prototyps organisiert.

Inhalt

Danksagung	i
Eidesstattliche Erklärung.....	ii
Abstract	iii
Kurzfassung	iv
Inhalt.....	v
1. Einführung.....	8
1.1 Geschichte des Bremssystems.....	8
1.2 Motivation, Nutzen von Notbremsassistenten.....	14
1.3 Aufgabenstellung	15
1.4 Ziele der Diplomarbeit.....	15
2 Grundlagen	16
2.1 Begriffsdefinitionen	16
2.1.1 Forward collision warning -Systeme (FCW)	16
2.1.2 Bremsassistent (BA)	16
2.1.3 Notbremsassistentensysteme (AEB)	16
2.1.4 Geschwindigkeitsbegrenzer (Speed Limitation Device)	17
2.1.5 Intelligente Geschwindigkeitsbegrenzer (Intelligent Speed Adaption).....	17
2.1.6 Speed Assistance Systems	17
2.1.7 TTC.....	17
2.1.8 Kraftwagen:.....	17
2.1.9 Ego- und Target-Fahrzeug	18
2.2 Definition der Fahrzeugklassen	19
2.3 Rechtliche Situation	24
2.3.1 Völkerrecht:.....	24
2.3.2 Gesetze:	27
2.3.3 Standards:	31
2.4 Zukünftige Entwicklung des EURO-NCAP bis 2016 (24).....	33
2.5 Vorhandene Tests und Fahrmanöver	44
2.5.1 ADAC.....	44
2.5.2 Thatcham.....	51
2.5.3 Euro - NCAP	57
2.5.4 ASSESS	61

2.5.5	eVALUE	69
2.5.6	US NCAP	73
2.5.7	EU-Verordnung 347	76
2.6	Am Markt vorhandene Versuchsanlagen	80
2.6.1	ADAC	81
2.6.2	AB Dynamics	83
2.6.3	ASSESS/ASSESSOR	85
2.6.4	BASt	87
2.6.5	Bertrand	88
2.6.6	Dynamic Research Inc.	90
2.6.7	TU Darmstadt/Evita	92
2.6.8	Hanging target simulator	95
2.6.9	Ballooncar	97
2.6.10	DSD/"UFO"	98
2.7	Berechnungsgrundlagen	100
2.7.1	Die beschleunigte Bewegung	100
2.7.2	Die konstante Beschleunigung	101
2.7.3	Die ungleichmäßige Beschleunigung	104
2.7.4	Der elastische Stoß	107
3	Auswahl des Konzepts	110
3.1	Die Konzepte	111
3.1.1	Konzept 1	111
3.1.2	Konzept 2	112
3.1.3	Konzept 3	113
3.2	Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten	114
3.2.1	Modellbildung für die Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten	114
3.2.2	Annahmen für die Berechnungen	117
3.2.3	Validierung der Berechnung	118
3.2.4	Berechnungsergebnisse	119
3.2.5	Schlussfolgerung aus der Kollisionsuntersuchung	122
3.3	Abschätzung der auftretenden Kräfte zwischen Versuchsanlage und Ego-Fahrzeug 123	
3.3.1	Modellierung der ADAC-Fahrzeugattrappe	124
3.3.2	Bewegungsgleichungen für die Berechnung	129
3.3.3	Annahmen für die Berechnungen	136
3.3.4	Berechnungsergebnisse	138
3.3.5	Validierung der Simulationsergebnisse	141

3.4	Nutzwertanalyse der Konzepte	143
3.5	Anforderungen an die Versuchsanlage.....	145
3.6	Konzeptauswahl.....	145
4	Konstruktive Umsetzung des Konzeptes	146
4.1	Beschreibung der Versuchsanlage	146
4.2	Berechnung der Versuchsanlage.....	149
4.2.1	Beschreibung der Einspannung für die FE-Rechnung	150
4.2.2	Ergebnisse der FE-Rechnung	152
4.2.3	Ergebnisse der Schweißnahtüberprüfung	154
5	Zusammenfassung und Ausblick	155
	Abbildungsverzeichnis.....	I
	Tabellenverzeichnis.....	IV
	Literaturverzeichnis	VI
A.	Anhang.....	XII
A.1	Übersicht der Manövervariationen	XII
A.2	Nutzwertanalyse	XXIV

1. Einführung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Versuchsanlage für das Abprüfen der Funktionen von Notbremsassistenzsystemen. Dazu soll zu Beginn ein kurzer Überblick über die Geschichte des Bremssystems gegeben werden.

1.1 Geschichte des Bremssystems

Zu Beginn des Automobilbaus, am Ende des 19. Jahrhunderts, fristete die Bremse noch ein Schattendasein, da zu dieser Zeit die erreichbaren Geschwindigkeiten noch sehr gering waren und die Reibung im Antriebsstrang noch so hoch war, dass sich das Fahrzeug auch ohne Bremse ausreichend verzögern ließ. Die Bremsen wurden zu dieser Zeit von dem Fahrer per Hand, über Kurbeln, Hebel, Gestänge und/oder Seile betätigt und als Band-, Klotz oder Keilbremsen, wie damals bei den Kutschen üblich, ausgeführt und wirkten auf die angetriebene, starre Hinterachse. (Seiten 1 bis 8 in [1])

1902 erfand F. W. Lanchester die Scheibenbremse. Zur selben Zeit wurde mit Louis Renaults Innenbackenbremse und Wilhelm Maybachs Außenbandbremse auch die Trommelbremse erfunden worden. Es dauerte jedoch noch rund 50 Jahre, bis die Scheibenbremse als hydraulisch betätigte Teilbelagscheibenbremse als Serienausstattung in Fahrzeugen verbaut werden sollte. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Im Jahr 1917 ließ sich der Bergbauingenieur Malcom Loughead (später Lockheed) einen hydraulisch betätigten Radbremszylinder für Autos patentieren. Der von M. Loughead patentierte Radbremszylinder, in Kombination mit dem ebenfalls von Loughead 1920 patentierten Hauptbremszylinder, bilden die Kernbestandteile einer hydraulisch betätigten Bremse, wie sie auch heute noch im Einsatz ist. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Mit steigender Motorleistung, Geschwindigkeit und Gewicht der Fahrzeuge kam der Bremse eine immer höhere Bedeutung zu, so dass Hinterachs- und Getriebep Bremsen nicht mehr ausreichten und bereits 1920 erste Fahrzeuge mit Vierradbremmen auf den Markt gebracht wurden. 1924 wurde erstmalig, Weltweit eine "hydraulische Bremse" im Chrysler 70 als Serienausstattung angeboten. (Seiten 1 bis 8 in [1])

In der Zeit zwischen 1924 und 1950 löste die Innenbackenbremse langsam die bis dahin verwendete Aussenbandbremse, da diese wegen ihrer ungeschützten Verbausituation mit Verschmutzungsproblemen zwischen Bremsstrommel und Bremsbändern zu kämpfen hatte. Die mechanisch betätigten Innenbackenbremsen, drückten mittels eines Spreizhebels, die innenliegenden Bremsbacken an die mit dem Rad verbundene Bremsstrommel an. Dieses System wird im Prinzip bei den hydraulisch betätigten Innenbackenbremsen noch heute verwendet, wobei der Spreizhebel durch einen hydraulischen Zylinder ersetzt wurde. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Diese Bauweise wird heute als Simplexbremse bezeichnet, wurde um 1936 weiterentwickelt und durch Verwendung eines zweiten Radbremszylinders zur heute bekannten Duplex-

Trommelbremse. Durch die Verwendung eines zweiten Radbremszylinders, wurden voneinander unabhängig wirkende Bremskrafteinleitungen erreicht und zwei auflaufende Bremsbacken in eine Drehrichtung ermöglicht, wodurch eine bessere Bremswirkung gewährleistet werden konnte. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Karl Wessel beschäftigte sich bereits 1928 mit einem trägheitsmassengesteuerten, mechanisch-hydraulischen Regler, der das Blockieren der Räder verhindern sollte. Diesen Regler, der als erstes Antiblockiersystem für Kraftfahrzeuge angesehen werden kann, ließ sich Karl Wessel bereits 1928 patentieren. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Bereits in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde von den Gesetzgebern die Aufteilung des Bremssystems in zwei voneinander getrennte Betriebs-Bremskreise gefordert, damit bei Ausfall eines Kreises zumindest noch 2 Radbremsen funktionsfähig bleiben. Dabei setzten sich zwei Layouts durch,

- die schwarzweiß-Aufteilung, in Vorder- und Hinterachskreis (s. Abbildung 1.1)
- die diagonale Aufteilung (X-Split), die jeweils ein Vorderrad und ein Hinterrad kreuzweise verbindet. (s. Abbildung 1.1)

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden die Fahrzeuge immer schneller und schwerer, und gleichzeitig stiegen die Betätigungskräfte der mechanischen Bremse weiter an. Dies war der Grund warum die Entwickler versuchten, die vom Fahrer erzeugte Bremskraft im hydraulischen System zu verstärken. Es wurden Generatoren entwickelt, die auf pneumatischem, oder hydraulischem Wege Überdruck erzeugten, den der Fahrer durch Betätigung des Bremspedals dosiert in das Bremssystem einleiten konnte. (Seiten 1 bis 8 in [1])

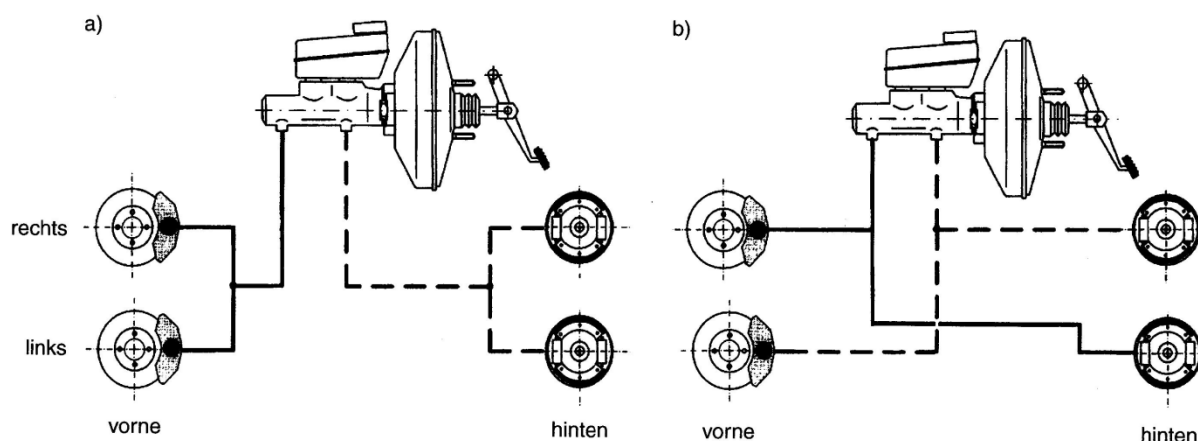


Abbildung 1.1: Zweikreisbremse mit Schwarzweiß-Aufteilung a.) und diagonaler Aufteilung b.) (1)

Im Jahr 1950 gelang dem Vakuum-Bremskraftverstärker, welcher auch heute noch im Pkw-Bereich Anwendung findet, durch ein von der Firma Bendix entwickeltes System der Durchbruch. Der Vakuum-Bremskraftverstärker nutzt den vom Motor, im Ansaugtrakt erzeugten Unterdruck als Verstärkungsmedium, das über ein vom Bremspedal angesteuertes Ventil dosiert wird und über eine Rollmembran die Hilfskraft erzeugt. (Seiten 1 bis 8 in [1])

1953 erreichte Jaguar mit dem D-Type Rennwagen beim 24-Stunden-Rennen von Le Mans einen Eindrucksvollen Doppelsieg. Einen großen Anteil an diesem Erfolg hatten die von Dunlop entwickelten Scheibenbremsen, die ein späteres Anbremsen der Kurven ermöglichten.

Vier Jahre später, im Jahre 1957 stellte Dunlop in Frankfurt auf der Internationalen Automobilausstellung "IAA" einen serienreifen Entwicklungsstand dieser Scheibenbremsen aus. (Seiten 1 bis 8 in [1])

In den folgenden 60er Jahren setzte sich die Scheibenbremse langsam an der Vorderachse durch, und ersetzte die Trommelbremse. An der thermisch weniger belasteten Hinterachse konnte sich die Trommelbremse jedoch noch viele Jahre behaupten. Die Fahrzeuge Lancia Flavia, Fiat 2300 sowie Mercedes-Benz 300SE und SEL waren 1961 mit Scheibenbremsen an allen vier Rädern ihrer Zeit ein Stück voraus. (Seiten 1 bis 8 in [1])

1965 kam das erste serienmäßig in einem Personenkraftwagen mit Vierrad-Scheibenbremsen verbaute Einkanal-ABS, das Dunlop Maxaret Anti-Skid, im Englischen Jensen Typ C-V8 FF, auf den Markt. (Seiten 1 bis 8 in [1])

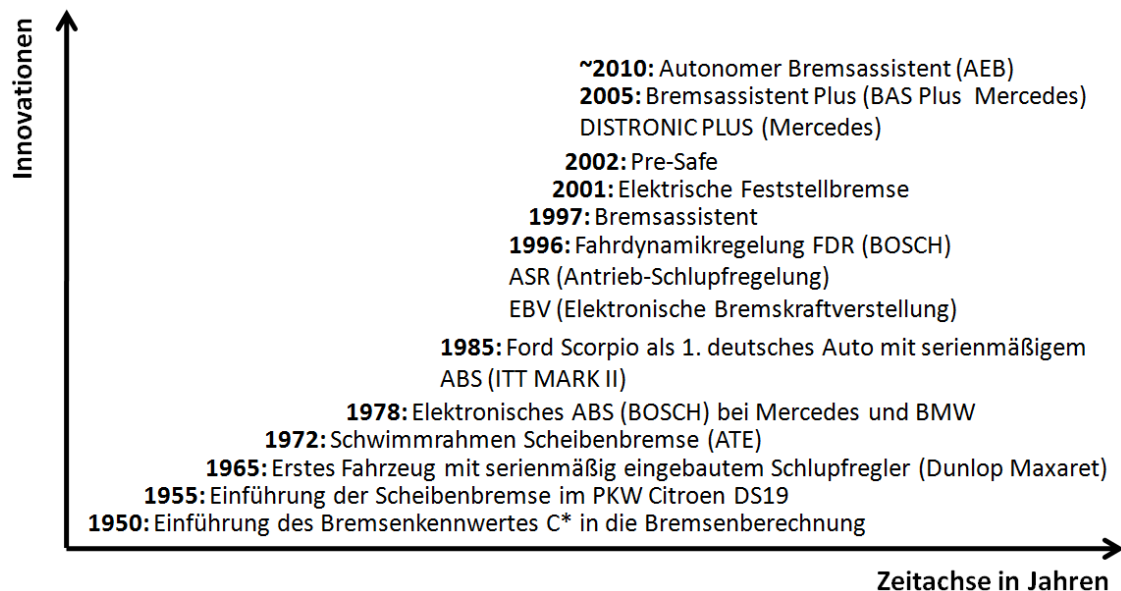


Abbildung 1.2: Geschichtlicher Verlauf der Bremsenentwicklung [2]

1978 stellte Mercedes-Benz in der S-Klasse der Baureihe W116 erstmals das mit Bosch gemeinsam entwickelte Anti-Blockier-System (ABS) vor, welches mit Hilfe von Raddrehzahlsensoren das Blockieren der Räder verhindern, und so trotz einer Vollbremsung die Lenkfähigkeit des Fahrzeuges sicherstellen sollte. Dieses System wurde seit 1992 in allen Modellen von Mercedes-Benz serienmäßig verbaut. [3]

Das elektronische Stabilitätsprogramm ESP wurde im Jahr 1995 auf den Markt gebracht, und erhöhte durch gezielte Bremseneingriffe die Fahrzeugstabilität in kritischen Situationen. (Seiten 1 bis 8 in [1])

Im Jahr 1996 wurden zwei neue Systeme auf dem Automobilmarkt vorgestellt. Zum einen die sogenannte ASR (Antrieb-Schlupfregelung), dass durch gezielte Bremseneingriffe, bzw. Eingriffe in das Motormanagement, das Durchdrehen der Räder verhindert und sowohl software- als auch hardwaremäßig auf dem ABS basiert, zum anderen die EBV (elektronische Bremskraftverteilung), bei welcher es sich um einen Softwarealgorithmus

handelt, der den hydraulischen Bremskraftverteiler ersetzt, und durch gezieltes Schließen und Öffnen von Ventilen des ABS, das Überbremsen der Hinterräder verhindert. [4]

Der Bremsassistent, der aufgrund der Geschwindigkeit mit der das Bremspedal betätigt wird eine Gefahrensituation erkennt und um einen möglichst kurzen Bremsweg zu erhalten den Bremsdruck auf den Maximalwert verstärkt, wurde im Jahr 1997 eingeführt. [4]

"Pre-Safe", ein Insassenschutzsystem von Mercedes-Benz, wurde 2002 in der S-Klasse der Baureihe W220 eingeführt und fand in den Jahren danach auch in anderen Fahrzeugtypen dieser Marke Einzug. [3]

Wenn "Pre-Safe" eine Gefahrensituation erkennt, indem eine Vollbremsung eingeleitet wird, oder ESP bzw. BAS instabile Fahrsituationen, wie Schleudern und starkes Über- bzw. Untersteuern detektieren, werden die mechanischen Gurtstraffer mittels Elektromotoren gestrafft, die Sitze und die Lehnen in eine crashoptimierte Position gebracht, die Stützkissen in den Sitzkissen der beiden Vordersitze aufgeblasen, die hinteren Kopfstützen aufgestellt, und, falls vorhanden, das Schiebedach sowie die Seitenfenster, zum Schutz der Insassen vor eindringenden Gegenständen in den Innenraum, geschlossen. [3] (s. Abbildung 1.3)

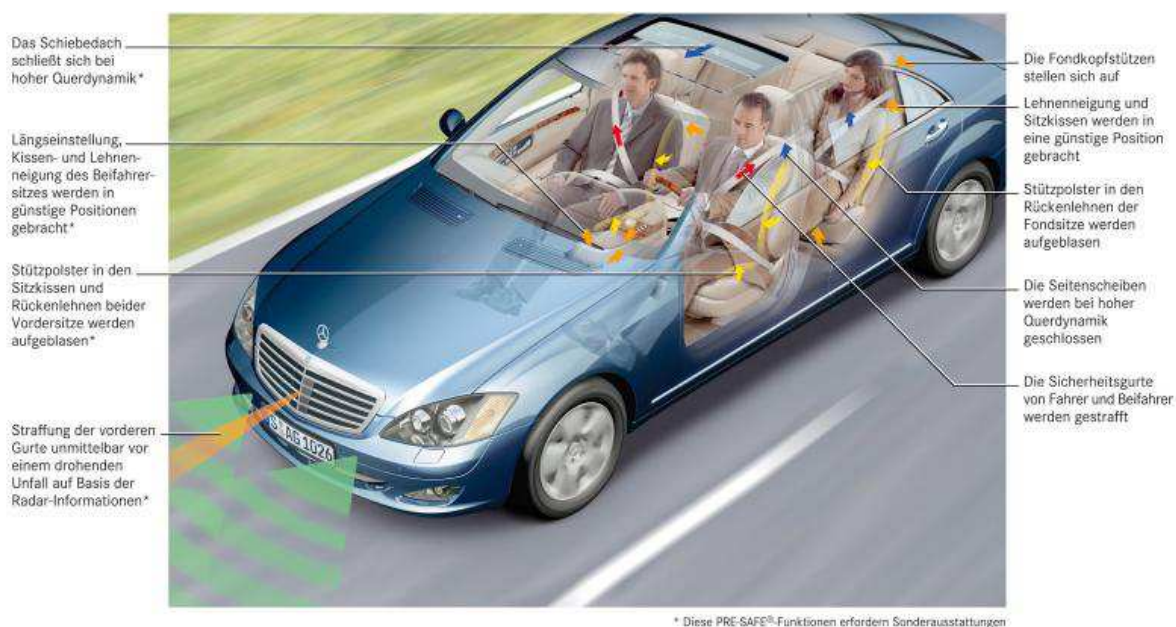


Abbildung 1.3: Pre-Safe Funktionen [3]

In Kombination mit dem BAS Plus, das vor zu geringem Abstand zum Vorfahrerzeug warnt, wurde 2005 die Sicherheit der Insassen weiter erhöht. Der BAS PLUS arbeitet mit 2 Radarsystemen. Das eine Radarsystem ist ein Fernradar, das sich hinter dem Kühlergrill befindet und bis ins Jahr 2009 eine Reichweite von 150m, ab 2009 eine Reichweite von 200m aufweist und bei einem Öffnungswinkel von 18° bis zu 3 Fahrstreifen abtasten kann. Ab dem Jahr 2009 bot ein neuer Sensor hinter dem Kühlergrill einen zusätzlichen Erkennungsbereich mit einem Öffnungswinkel von 60° und einer Reichweite von 60m. Das zweite Radarsystem befindet sich hinter dem Frontstoßfänger und besteht aus zwei Nahbereichssensoren mit einem Öffnungswinkel von 80° und einer Reichweite von 30m. [3]

Im Jahr 2010 bekommt Pre-Safe eine weitere Funktion hinzu, welche autonom eine Teilbremsung bzw., falls notwendig, sogar eine Vollbremsung einleiten kann. Für diese Funktion arbeiteten die Systeme Pre-Safe, BAS Plus und der

Abstandsregeltempomat DISTRONIC PLUS in einem Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 200km/h zusammen. Nähert sich das, mit diesem System ausgestattete, Fahrzeug einem vorausfahrenden Fahrzeug von hinten, wird der Fahrer ca. 2,6 Sekunden vor dem Unfall durch eine optische und akustische Warnung aufmerksam gemacht. (s. Abbildung 1.4) Zirka 1,6 Sekunden vor dem Unfall, nach dreimaliger akustischer Warnung, unterstützt der BAS PLUS den Fahrer bei einer Bremsung situationsgerecht, womit ein Unfall in der Regel noch verhindert werden kann. Sollte der Fahrer jedoch die Bremse nicht betätigen, so leitet Pre-Safe autonom eine Teilbremsung mit 40% der maximalen Bremskraft ein, wobei zeitgleich auch die Pre-Safe Maßnahmen für den Insassenschutz ergriffen werden. Sollte der Fahrer 0,6 Sekunden vor dem Unfall noch keine Reaktion gezeigt haben, kann die Pre-Safe Bremse eine autonome Vollbremsung einleiten und so die Unfallschwere und das Verletzungsrisiko der Insassen erheblich reduzieren, jedoch die Kollision mit dem Vorausfahrzeug nicht mehr verhindern. [3]

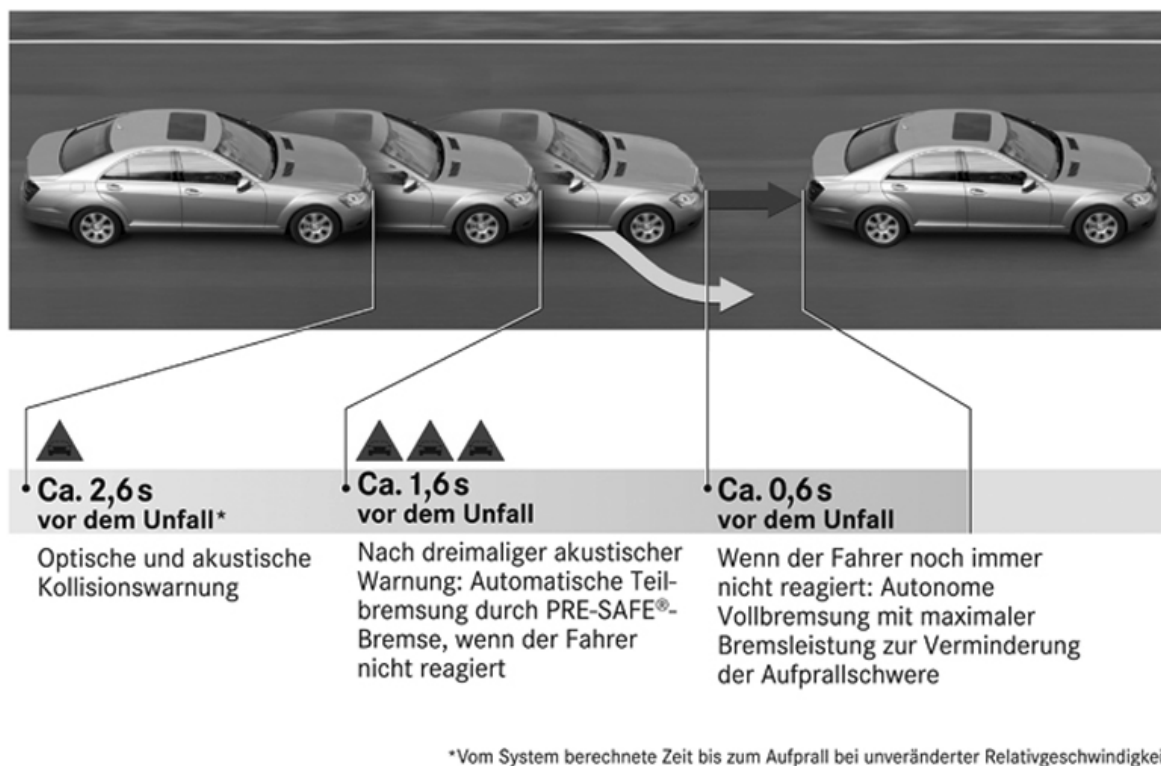


Abbildung 1.4: Warnkaskade der Pre-Safe Bremse von Mercedes-Benz [3]

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass nicht nur Mercedes-Benz, sondern auch andere Hersteller bereits über Notbremsassistentensysteme verfügen, die ähnliche Schritte in ihrer Entwicklung durchlaufen haben. Abbildung 1.5 zeigt ein weiteres Beispiel einer Warnkaskade am Beispiel eines Notbremsassistentensystem der Firma Audi.

In einem durch den ADAC durchgeführten Vergleichstest von Notbremsassistentensystemen der Fahrzeuge Audi A7, BMW 5er, Mercedes CLS, Infiniti M, Volvo V60 und VW Passat wurden die effektiven Warnkaskaden durch auffahren eines mit 100 km/h fahrenden Fahrzeuges auf ein langsamerer mit 60 km/h bewegendes Fahrzeug ermittelt. Tabelle 1.1 stellt die ermittelten TTC-Werte der einzelnen Warnzeitpunkte der untersuchten Testfahrzeuge dar. [5]

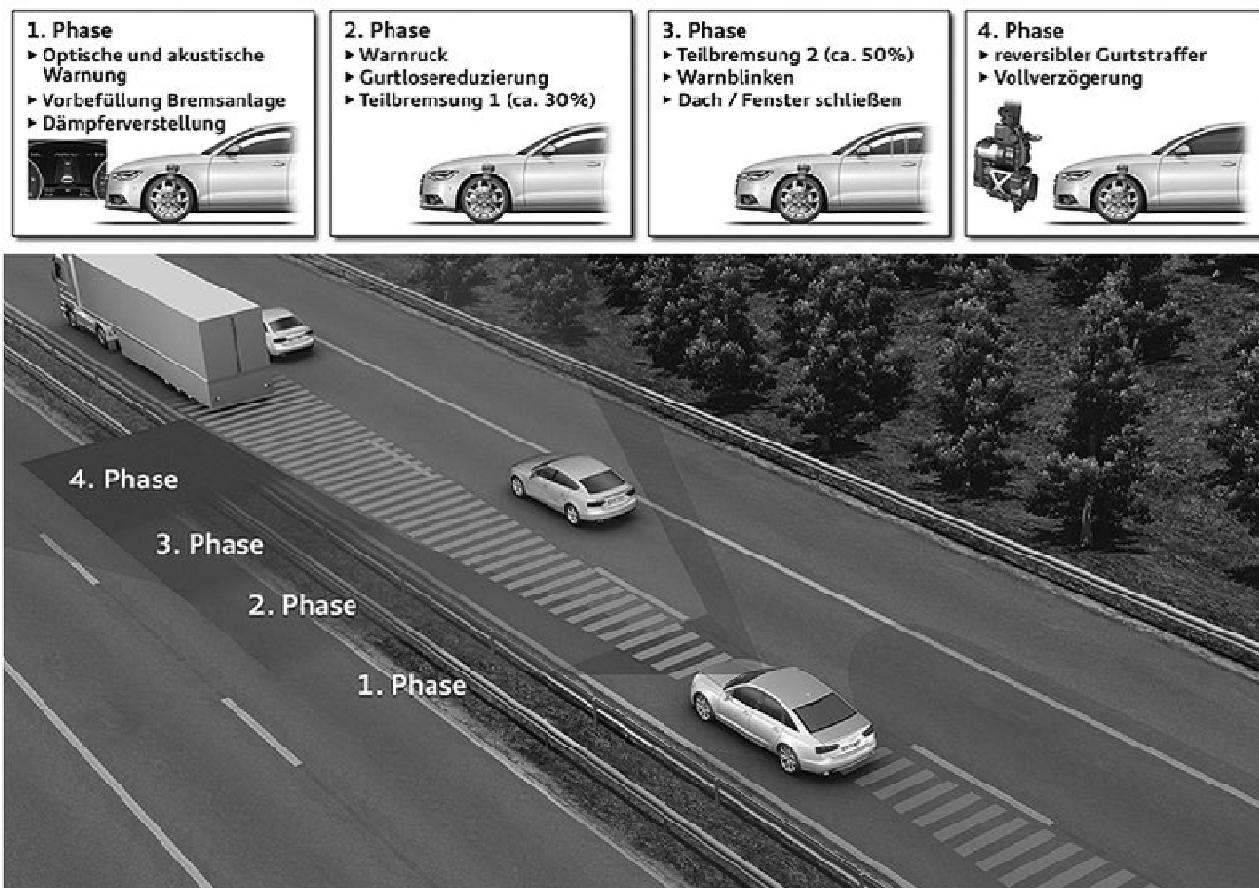


Abbildung 1.5: Warnkaskade am Beispiel eines AEB-Systems der Firma Audi [57]

Fahrzeug	Optische Warnung	Akustische Warnung	Bremsruck	Teilbremsung 1	Teilbremsung 2	Vollverzögerung
Audi A7	2,1	2,1	1,9	1,7	1,1	0,1
BMW 5er	3,4	1,7	-	1,7	-	-
Mercedes CLS	2,7	2,7	-	1,5	-	0,6
Infiniti M	4	4	-	0,7	-	-
Volvo V60	2,3	2,3	-	-	-	0,9
VW Passat	2,8	2,8	2,2	1,9	1,3	-

Tabelle 1.1: Gemessene Warnkaskaden verschiedener Fahrzeuge, bei Auffahren mit 100 km/h auf ein sich mit 60 km/h bewegendes Fahrzeug [5]

1.2 Motivation, Nutzen von Notbremsassistenten

Die Gesellschaft ist daran interessiert die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, um die Anzahl der Unfälle und getöteter Menschen im Straßenverkehr zu minimieren. Zu diesem Zweck werden international Unfälle dokumentiert und in Datenbanken abgespeichert, deren Daten im Anschluss in der Unfallforschung sowie der Erstellung von Unfallstatistiken Verwendung finden. Ergebnisse aus diesen Unfallstatistiken wie zum Beispiel die hier angegebenen Ergebnisse aus der "case by case"-Studie des ADAC, haben gezeigt das eine der häufigsten Unfallursachen das Auffahren auf ein vorausfahrendes Fahrzeug auf Grund zu geringen Abstandes, bzw. Fehleinschätzung der eigenen Annäherungsgeschwindigkeit oder Unaufmerksamkeit des Fahrers während der Fahrt, darstellt. (s. Abbildung 1.5) [6]

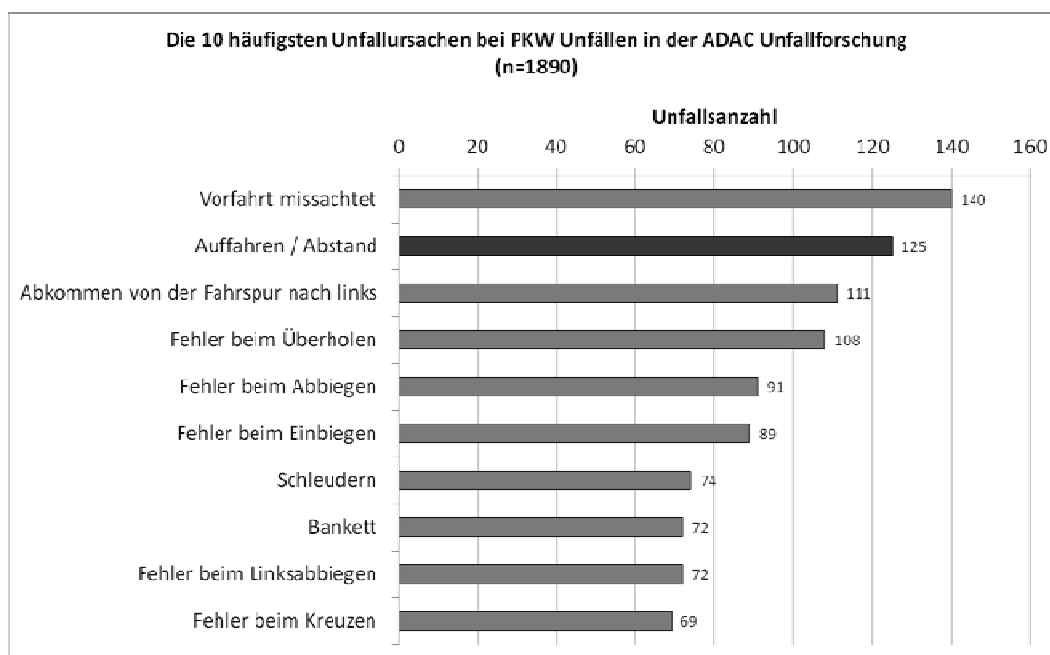


Abbildung 1.6: Die 10 häufigsten Unfallursachen bei PKW Unfällen in der ADAC-Unfallforschung [6]

Damit haben diese Studien gezeigt das in der Vermeidung von Unfällen dieser Art großes Potential zur Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr steckt.

Die Ergebnisse der Unfallforschung haben zur Entwicklung von Notbremsassistentensystemen die Auffahrunfälle zweier Fahrzeuge verhindern bzw. deren Unfallschwere reduzieren sollen geführt, die in Zukunft in die Tests des Euro-NCAP und die Zulassungsbestimmungen gewisser Fahrzeugklassen aufgenommen werden.

Für die Entwicklung, Integration sowie die Durchführung von Funktionstest dieser Systeme werden Versuchsanlagen benötigt, die selbst bei Versagen des Systems und einer auftretenden Kollision zwischen Versuchsfahrzeug und Versuchsanlage die Sicherheit für den Fahrzeugführer und das Versuchsfahrzeug gewährleisten.

1.3 Aufgabenstellung

Nach dem Studium verschiedener Manöverkataloge, die sich mit dem Thema Notbremsassistentensysteme beschäftigen, sollen mit Hilfe von vereinfachten Berechnungen die Anforderungen an eine Versuchsanlage, hinsichtlich Manövertauglichkeit und auf die Prototypanlage wirkende Belastungen abgeschätzt werden.

Auf Grund dieser Abschätzungen und Anforderungen sollen erarbeitete Konzepte mit bestehenden Anlagen in einer Nutzwertanalyse bewertet, ein mögliches Konzept ausgewählt und dieses im Anschluss konstruktiv ausgeführt werden.

1.4 Ziele der Diplomarbeit

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung eines Prototypen einer Versuchsanlage, zum Zwecke von Vorabtests in der Integrations- bzw. Entwicklungsphase von Notbremsassistentensystemen, bevor das Fahrzeug für finale Freigabeuntersuchungen an zertifizierte Institute versendet wird.

Da die Tests des Euro NCAP und des ADAC von großem Interesse für die Endverbraucher sind und deren Kaufverhalten beeinflussen, sind diese Tests auch für die Fahrzeughersteller sehr wichtig. Aus diesem Grund soll die in dieser Diplomarbeit entwickelte Versuchsanlage vorrangig für die Durchführung der von diesen Instituten definierten Tests Verwendung finden.

Des Weiteren wird großer Wert darauf gelegt, dass weder das Versuchsfahrzeug, noch die Versuchsanlage bei der Durchführung der Vorabtests beschädigt werden, wodurch hohe Reparaturkosten an einem Prototypfahrzeug, bzw. der Versuchsanlage zu vermieden werden sollen.

2 Grundlagen

Zum besseren Verständnis werden in den folgenden Kapiteln Begriffe und Definitionen die im Laufe dieser Diplomarbeit immer wieder zur Anwendung kommen erläutert. Weiterführend werden die rechtliche Situation, vorhandene Manöver und Versuchsanlagen beschrieben, sowie einige für die späteren Berechnungen benötigte Grundlagen wiederholt.

2.1 Begriffsdefinitionen

2.1.1 Forward collision warning -Systeme (FCW)

Diese Systeme dienen zur vorausschauenden Kollisionswarnung, und messen die Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug mittels Radar-, Kamera- bzw. anderer zur Bestimmung des Abstandes zwischen eines Hindernisses und des betreffenden Fahrzeugs geeigneter Systeme. Stellt dabei die Annäherungsgeschwindigkeit das Risiko eines Unfalls dar, kann der Fahrer beispielsweise durch akustische und visuelle Signale, wie ein Vibrieren in Lenkrad oder Fahrersitz, ein Anziehen des Sicherheitsgurtes oder aber einem Bremsruck auf eine drohende Gefahr aufmerksam gemacht werden. [7]

Durch diese vorzeitigen Warnungen können Kollisionen vermieden, oder zumindest die Folgen stark abgeschwächt werden.

2.1.2 Bremsassistent (BA)

Der Bremsassistent erkennt aufgrund der Geschwindigkeit mit der das Bremspedal betätigt wird eine Gefahrensituation und verstärkt in Bruchteilen einer Sekunde die Bremskraft auf ihr Maximum. [8]

2.1.3 Notbremsassistentensysteme (AEB)

Diese Systeme warnen den Fahrer eines Kraftfahrzeuges bei Kollisionsgefahr auf verschiedene Art und Weise und leiten bei ausbleibender Fahrerreaktion im ersten Schritt eine Teilbremsung ein. Sollte der Fahrer trotz eingeleiteter Teilbremsung weiterhin keine Reaktion zeigen, so sind diese Systeme ebenso in der Lage eine Vollbremsung, mit maximaler Bremskraft durchzuführen. [9]

Die Notbremsassistentensysteme können unterteilt werden in:

- AEB - City
- AEB - Interurban
- ABE - Pedestrian

Unter den Systemen des AEB - City versteht man Notbremsassistentensysteme die für den innerstädtischen Geschwindigkeitsbereich entwickelt wurden, während die Systeme des AEB - Interurban für das Fahren auf Landstraßen und Autobahnen optimiert sind. Die Systeme des ABE - Pedestrian reagieren auf Fußgänger die die Straße betreten und dienen daher dem Fußgängerschutz.

2.1.4 Geschwindigkeitsbegrenzer (Speed Limitation Device)

Der Geschwindigkeitsbegrenzer ist eine Funktion, die es dem Fahrer ermöglicht eine von ihm eingestellte Höchstgeschwindigkeit zu wählen. Wird diese Geschwindigkeit erreicht, warnt dieses System den Fahrer des Kraftfahrzeugs vor einer Überschreitung der gewählten Geschwindigkeit, oder aber es wird durch Eingriff in das Motormanagement ein weiteres Beschleunigen, über die gesetzte Geschwindigkeit hinaus, verhindert. Möchte der Fahrer die gesetzte Geschwindigkeit jedoch bewusst überschreiten, muss er hierfür eine Aktion setzen. [10]

2.1.5 Intelligente Geschwindigkeitsbegrenzer (Intelligent Speed Adaption)

Intelligente Geschwindigkeitsbegrenzer kennen auf Grund der aktuellen Position des Fahrzeugs mit Hilfe eines GPS-Empfängers und eines digitalen Kartenmaterials, welches zusätzlich über Informationen der Geschwindigkeitsbegrenzungen des gerade befahrenen Streckenabschnittes verfügt oder mit Hilfe einer Verkehrsschilderkennung mittels eines Videokamerasystems, die aktuell erlaubte Höchstgeschwindigkeit und können so den Fahrer informieren, und damit vor Überschreitung des Tempolimits warnen. [10]

2.1.6 Speed Assistance Systems

Diese Systeme kennen, wie in 2.1.5 beschrieben, die positionsabhängige erlaubte Höchstgeschwindigkeit, können den Fahrer vor einer Überschreitung des Tempolimits warnen und falls nötig selbständig mittels Eingriff in das Motormanagement die Geschwindigkeit auf dem erlaubten Höchstwert halten. Der Fahrer hat bei diesen Systemen aber immer noch die Möglichkeit eine gewünschte Höchstgeschwindigkeit manuell einzustellen. [11]

2.1.7 TTC

Das Formelzeichen *TTC* steht für "Time to collision" und bezeichnet die verbleibende Zeit bis zum Auftreten einer Kollision mit einem vorausfahrenden Fahrzeug. [8]

$$TTC = \frac{d}{v_{rel}} \quad [s] \quad (2.1)$$

Formel (2.1) stellt die Berechnung der TTC in Abhängigkeit des Abstandes d zum vorausfahrenden Fahrzeug und der Relativgeschwindigkeit der beiden Fahrzeuge v_{rel} , welche in Sekunden angegeben wird dar. [8]

2.1.8 Kraftwagen:

Als Kraftwagen werden mehrspurige Kraftfahrzeuge mit mindestens 4 Rädern bezeichnet,

wobei zwei Räder mit einer gemeinsamen Nabe und Zwillingrädern, als ein Rad zu zählen sind. [12]

Personenkraftwagen:

Personenkraftwagen sind jene Kraftfahrzeuge, welche nach ihrer Bauart, und Ausstattung ausschließlich, oder vorwiegend zur Beförderung von Personen bestimmt sind und, außer dem Lenkerplatz, für nicht mehr als 8 Personen Platz aufweisen. [12]

Kombinationskraftwagen:

Kombinationskraftwagen sind nach ihrer Bauart und Ausrüstung dazu bestimmt, wahlweise vorwiegend Personen oder vorwiegend Güter zu befördern und weisen außer dem Lenkerplatz für nicht mehr als 8 Personen Platz auf. [12]

Lastkraftwagen:

Lastkraftwagen sind Kraftfahrzeuge, welche nach ihrer Bauart und Ausrüstung ausschließlich oder vorwiegend zur Beförderung von Gütern, oder zum Ziehen von Anhängern bestimmt sind. Sattelzugfahrzeuge, sind von dieser Definition ausgenommen. [12]

2.1.9 Ego- und Target-Fahrzeug

Als Ego-Fahrzeug wird in dieser Diplomarbeit jenes zu untersuchende Versuchsfahrzeug bezeichnet, welches mit einem Notbremsassistentensystem ausgerüstet ist.

Target-Fahrzeug, bzw. Target werden jene Fahrzeuge bzw. Fahrzeugattrappen genannt, die von den Sensoren des EGO-Fahrzeuges zu detektieren sind.

Abbildung 2.1 zeigt ein, dem TARGET-Fahrzeug folgendes EGO-Fahrzeug und dessen Geschwindigkeit v_{Ego} . Die Beschleunigung des EGO-Fahrzeuges in Längsrichtung wird mit a_{Ego} gekennzeichnet. Analog hierzu stehen v_{Target} und a_{Target} , jeweils für die Geschwindigkeit bzw. die Beschleunigung des Target-Fahrzeuges in Längsrichtung. Der Abstand zwischen der Frontstoßstange des Ego-Fahrzeuges, und der Heckstoßstange des Target-Fahrzeuges wird mit x bezeichnet.

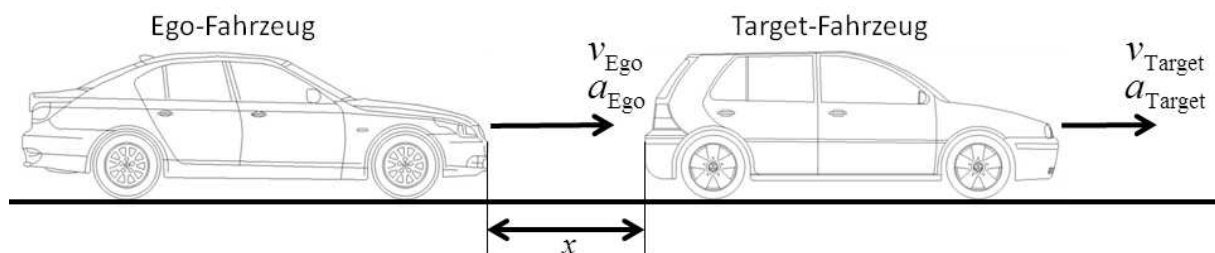


Abbildung 2.1: Begriffsdefinition Ego- und Target-Fahrzeug

2.2 Definition der Fahrzeugklassen

Im Bundesgesetz vom 23. Juni 1967 über das Kraftfahrwesen (Kraftfahrgesetz 1967 - KFG. 1967) wird die folgende Einteilung der Fahrzeuge in ihre einzelnen Fahrzeugklassen genau beschrieben.

Tabelle 1. zeigt eine Auflistung der 8 Hauptklassen, mit ihren jeweiligen Unterklassen.

Fahrzeugklassen:							
L	M	N	O	R	S	T	C
L1e	M1	N1	O1	R1	S1	T1	C1
L2e	M2	Gruppe I	O2	R2	S2	T2	C2
L3e	M3	Gruppe II	O3	R3		T3	C3
L4e		Gruppe III	O4	R4		T4	C4
L5e		N2				T5	C5
L6e		N3					
L7e							

Tabelle 2.1: Fahrzeugklassen (12)

Da sich in Kapitel 2.3.2.2 mit dem Titel Verordnung (EU) Nr.:347/2012 hauptsächlich mit den Klassen M und N beschäftigt wird, sollen diese im weiteren Verlauf genauer beschrieben werden, die restlichen Klassen jedoch der Vollständigkeit halber angeführt werden.

Klasse L - Krafträder: [12]

- Klasse L1e: Zweirädrige Kleinkrafträder (Motorfahrräder)
- Klasse L2e: Dreirädrige Kleinkrafträder
- Klasse L3e: Motorräder (Kleinmotorräder, Leichtmotorräder, "schwere" Motorräder)
- Klasse L4e: Motorräder mit Beiwagen
- Klasse L5e: Motordreiräder
- Klasse L6e: Vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge
- Klasse L7e: Vierrädrige Kraftfahrzeuge im Sinne der Richtlinie 2002/24/EG

Klasse M - Kraftwagen zur Personenbeförderung, mit mindestens vier Rädern: [12]

- Klasse M1: In diese Klasse fallen alle Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen
- Klasse M2: Bei dieser Klasse handelt es sich um Personenkraftwagen mit mehr als acht Sitzplätzen und einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 5000kg.
- Klasse M3: Dies sind Personenkraftwagen mit mehr als acht Sitzplätzen, außer dem Fahrerplatz, und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5000kg.

Klasse N - Kraftfahrzeuge für Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern (Lastkraftwagen) [12]

- Klasse N1: Dies sind Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung, mit einem zulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als 3500kg
Die Fahrzeuge der Klasse N1 können, wie folgt, noch in weitere 3 Gruppen eingeteilt werden:
 - Gruppe I: Unter die Gruppe I, fallen alle Kraftfahrzeuge der Klasse N1, mit einem zulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als 1305kg
 - Gruppe II: Dies sind all jene Kraftfahrzeuge der Klasse N1 mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 1305kg und nicht mehr als 1760kg.
 - Gruppe III: Gruppe III bilden all jene Kraftfahrzeuge der Klasse N1 mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 1760kg.
- Klasse N2: Dies sind jene Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3500kg, und nicht mehr als 12000kg.
- Klasse N3: Fahrzeuge der Klasse M3 sind Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 12000kg.

Klasse O - Anhänger (einschließlich Sattelanhänger) [12]

- Klasse O1: Diese Klasse bilden Anhänger mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als 750kg.
- Klasse O2: In diese Klasse fallen Anhänger, mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von mehr als 750kg, aber nicht mehr als 3500kg.
- Klasse O3: Anhänger mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3500kg, jedoch nicht mehr als 10000kg fallen in Klasse O3
- Klasse O4. In diese Klasse fallen Anhänger mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von mehr als 10000kg.

Klasse R - Land- und forstwirtschaftliche Anhänger [12]

- Klasse R1: Bilden jene Anhänger, deren Summe der technisch zulässigen Gesamtmasse, je Achse bis zu maximal 1500kg beträgt.
- Klasse R2: Anhänger der Klasse R2, dürfen eine Summe der technisch zulässigen Masse von mehr als 1500kg, jedoch nicht mehr als 3500kg je Achse aufweisen.
- Klasse R3: Anhänger deren Summe der technisch zulässigen Masse je Achse mehr als 3500kg, jedoch nicht mehr als 21000kg aufweisen, bilden Klasse R3.
- Klasse R4. Sind jene Anhänger deren Summe der technisch zulässigen Masse je Achse mehr als 21000kg beträgt.

Klasse S - Gezogene auswechselbare Land- und forstwirtschaftliche Maschinen [12]

- Klasse S1: Klasse S1 bilden gezogene, auswechselbare Maschinen, für den Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft, deren Summe der zulässigen Massen je Achse, nicht mehr als 3500kg betragen.
- Klasse S1: Klasse S2 bilden gezogene, auswechselbare Maschinen, für den Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft, deren Summe der zulässigen Massen je Achse, mehr als 3500kg betragen.

Klasse T - Land- oder Forstwirtschaftliche Zugmaschinen auf Rädern gemäß der Richtlinie 2003/37/EG [12]

- Klasse T1: Dies sind Zugmaschinen auf Rädern, mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h. Dabei muss die Spurweite jener Achse, welche dem Fahrer bzw. der Fahrerin am nächsten liegt, eine Spurweite von mindestens 1150mm betragen. Das Leergewicht in fahrbereitem Zustand muss mehr als 600kg betragen und eine Mindestbodenfreiheit von 1000mm eingehalten werden.
- Klasse T2: Dies sind Zugmaschinen auf Rädern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h. Dabei darf die Spurweite nicht mehr als 1150mm betragen. Das Leergewicht in fahrbarem Zustand muss mehr als 600kg betragen und die Bodenfreiheit darf 600mm nicht überschreiten. Für den Fall, dass der Quotient aus der Schwerpunkthöhe des Zugfahrzeuges über dem Boden und der mittleren Mindestspurweite der Achsen einen Wert größer 0,9 ergibt, ist die Höchstgeschwindigkeit auf 30km/h zu begrenzen.
- Klasse T3: Dies sind Zugmaschinen auf Rädern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h und einem Leergewicht in fahrbereitem Zustand von nicht mehr als 600kg.
- Klasse T4: Diese Klasse bilden Zugmaschinen auf Rädern mit besonderer Zweckbestimmung mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h.
- Klasse T5: Dies sind jene Zugmaschinen auf Rädern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 40km/h.

Klasse C - Land- oder Forstwirtschaftliche Zugmaschinen auf Gleisketten gemäß der Richtlinie 2003/37/EG [12]

- Klasse C1: Dies sind Zugmaschinen auf Gleisketten mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h. Dabei muss die Spurweite jener Achse, welche dem Fahrer bzw. der Fahrerin am nächsten liegt, eine Spurweite von mindestens 1150mm betragen. Das Leergewicht in fahrbereitem Zustand muss mehr als 600kg betragen und eine Mindestbodenfreiheit von 1000mm eingehalten werden.
- Klasse C2: Dies sind Zugmaschinen auf Gleisketten mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h. Dabei darf die Spurweite nicht mehr als 1150mm betragen. Das Leergewicht in fahrbarem Zustand muss mehr als 600kg betragen und die Bodenfreiheit darf 600mm nicht überschreiten. Für den Fall, dass der Quotient aus der Schwerpunkthöhe des Zugfahrzeuges über dem Boden und der mittleren Mindestspurweite der Achsen einen Wert größer 0,9 ergibt, ist die Höchstgeschwindigkeit auf 30km/h zu begrenzen.
- Klasse C3: Dies sind Zugmaschinen auf Gleisketten mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h und einem Leergewicht in fahrbereitem Zustand von nicht mehr als 600kg.
- Klasse C4: Diese Klasse bilden Zugmaschinen auf Gleisketten mit besonderer Zweckbestimmung mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h.
- Klasse C5: Dies sind jene Zugmaschinen auf Rädern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 40km/h.

2.3 Rechtliche Situation

Bei der Fahrzeugentwicklung haben sich die Hersteller immer an die geltenden Gesetze und Richtlinien zu halten, um die Zulassung ihrer Fahrzeuge für den Straßenverkehr zu erhalten. Da der Gesetzgeber an der Reduzierung von Verkehrsunfällen interessiert ist werden die Gesetze und Standards immer weiterentwickelt und an neueste Erkenntnisse und den Stand der Technik angepasst.

Aus diesem Grund soll in diesem Kapitel ein Überblick über die rechtlichen Rahmenbedingungen für Notbremsassistentensysteme geschaffen werden. Abbildung 2.2 gibt einen Überblick über die zur Zeit geltenden Gesetze und Standards, die sich mit dem Thema Notbremsassistentensysteme beschäftigen.

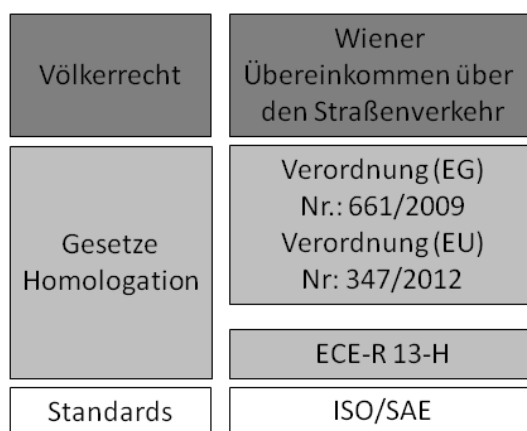


Abbildung 2.2: Rechtliche Übersicht

2.3.1 Völkerrecht:

Das Völkerrecht ist eine Rechtsnorm, welche die Beziehungen zwischen souveränen Staaten und internationalen Organisationen regelt, wobei es nicht deren internen Rechtsordnungen angehört. Eine eigene Liste, welche auf der Homepage für europäische und internationale Angelegenheiten aufzurufen ist beinhaltet alle von Österreich anerkannten Staaten. Das Völkerrecht setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Auf der einen Seite gibt es das Völkergewohnheitsrecht, auf der anderen Seite die völkerrechtlichen Verträge. Derartige Verträge werden auch als Staatsverträge bezeichnet, die zwischen zwei (bilateralen) bzw. mehreren (multilateralen) Völkerrechtssubjekten (Staaten) abgeschlossen werden. Mit diesen Verträgen schaffen sich die Staaten untereinander eine eigene Rechtsnorm, da im Völkerrecht kein übergeordnetes Rechtssetzungsorgan besteht. [13]

2.3.1.1 Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr:

Das am 30 Juni 1982 ausgegebene Bundesgesetzblatt Nummer 298, fällt unter das von den folgenden Staaten unterzeichnete Völkerrecht, die sich somit verpflichtet haben dieses Gesetz in ihre lokale Gesetzgebung zu übernehmen. [14]

- Bahrain
- Brasilien
- Bulgarien
- Bundesrepublik Deutschland (einschließlich Berlin-West)
- Deutsche Demokratische Republik
- Frankreich
- Guyana
- Iran
- Israel
- Jugoslawien
- Kuba
- Kuwait
- Luxemburg
- Monaco
- Niger
- Österreich
- Philippinen
- Rumänien
- San Marino
- Senegal
- Seychellen
- Simbabwe
- Sowjetunion
- Südafrika
- Tschechoslowakei
- Ukraine
- Ungarn
- Uruguay
- Weißrussland
- Zaire

Aus dem am 28 Jänner 1986 ausgegebenen Bundesgesetzblatt geht hervor, dass nachträglich die folgenden Staaten das "Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr" ebenso unterzeichnet haben. [15]

- Elfenbeinküste (24.Juli 1985)
- Finnland (01. April 1985)
- Marokko (29. Dezember 1982)
- Norwegen (01. April 1985)
- Polen (23. August 1984)
- Schweden (25. Juli 1985)

Am 24. August 1993 wurde das Bundesgesetzblatt des Jahrganges 1993 ausgegeben, dem man aus Kundmachung 584 entnehmen kann, dass seit der Veröffentlichung aus dem Jahre 1986 folgende Staaten das "Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr" nachträglich unterzeichnet haben. [16]

- Albanien (03. Juni 1992)
- Äquatorialguinea (16. Jänner 1989)
- Bahamas* (14. Mai 1991)
- Bahrain (28. Oktober 1988)
- Belgien * (16. November 1988)
- Botsuana (05. Februar 1992)
- Burkina Faso (17. April 1991)
- Dänemark* (03. November 1986)
- El Salvador (31. Dezember 1991)

- Estland (07. Juni 1993)
- Griechenland* (18. Dezember 1986)
- Indonesien (19. Februar 1992)
- Irak (19. Juni 1991)
- Korea, Republik (25. Juni 1987)
- Lettland* (19. Oktober 1992)
- Liechtenstein (30. Mai 1991)
- Litauen* (20. November 1991)
- Malaysia (06. September 1991)
- Zentralafrikanische Republik (03. Februar 1988)
- Malediven (01. Juli 1993)
- Oman (31. März 1992)
- Pakistan* (19. März 1986)
- Schweiz* (11. Dezember 1991)
- Simbabwe (05. November 1990)
- St. Kitts und Nevis (02. April 1991)
- Suriname (06. Jänner 1993)
- Swasiland (18. Juni 1991)
- Uganda (12. Mai 1992)

Die folgenden Staaten haben erklärt, sich auch weiterhin an das Übereinkommen gebunden zu fühlen.

- Kroatien (08. Oktober 1991)
- Slowakei (01. Jänner 1993)
- Slowenien (25. Juni 1991)
- Tschechische Republik (01. Jänner 1993)

Das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr ist in mehrere Kapitel unterteilt, und beschreibt in Kapitel 2 mit dem Titel "Verkehrsregeln", Artikel 8 (Lenker (Führer von Tieren)), die Verhaltensanforderungen für den Lenker eines Fahrzeuges. [14]

"Jeder Führer muss dauernd sein Fahrzeug beherrschen, oder seine Tiere führen können"
[14]

In Artikel 13 mit dem Titel "Geschwindigkeit und Abstand zwischen Fahrzeugen", steht geschrieben:

"Jeder Lenker muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können, und um ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen." [14]

Kapitel 3 mit dem Titel "Bedingungen für die Zulassung der Kraftfahrzeuge und Anhänger zum internationalen Verkehr", regelt die Zulassungsbestimmungen für Kraftfahrzeuge. In diesem Kapitel werden jedoch, auf Grund seines frühen Veröffentlichungsdatums, Fahrerassistenzsysteme bzw. Notbremsassistenten noch nicht behandelt. [14]

Aus den beiden angeführten Zitaten des "Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr", kann kein prinzipielles Verbot von Assistenzsystemen herauslesen, jedoch muss der Fahrer zu jedem Zeitpunkt in der Lage sein das Fahrzeug zu steuern und somit die Möglichkeit besitzen, gegebenenfalls die Aktionen des Assistenzsystems zu übersteuern.

2.3.2 Gesetze:

2.3.2.1 Verordnung (EG) Nr. 661/2009:

In Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009, sind die technischen Vorschriften für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, hinsichtlich einer Vielzahl von Sicherheits- und umweltrelevanter Merkmale geregelt. [17]

In den Absätzen 10, 16 und 24, des Kapitels 1 wird davon gesprochen, dass durch den technischen Fortschritt bei modernen Fahrzeugsicherheitssystemen, neue Möglichkeiten geschaffen werden, um die Zahl der im Straßenverkehr getöteten und verletzten Menschen zu senken und, dass die Kommission die Machbarkeit, Fahrerassistenzsysteme auch für andere Fahrzeugklassen wegen ihres hohen Unfallverhütungspotentials vorzuschreiben, prüfen sollte. [17]

" Durch den technischen Fortschritt bei modernen Fahrzeugsicherheitssystemen werden neue Möglichkeiten eröffnet, die Zahl der im Straßenverkehr getöteten und verletzten zu senken. Um deren Zahl so gering wie möglich zu halten, ist es erforderlich, einige der relevanten neuen Technologien einzuführen" (17)

" Die Kommission sollte weiterhin die technische und wirtschaftliche Machbarkeit und die Marktreife anderer moderner Sicherheitssysteme bewerten, und einen Bericht, gegebenenfalls mit Vorschlägen zu Änderung dieser Verordnung, bis zum 1. Dezember 2012 und danach alle drei Jahre vorlegen."

"Die Kommission sollte prüfen, ob es machbar ist, Reifendrucküberwachungssysteme, Spurhaltewarnsysteme und Notbrems-Assistenzsysteme auch für andere Fahrzeugklassen vorzuschreiben, und gegebenenfalls eine entsprechende Änderung dieser Verordnung vorschlagen." [17]

In Kapitel 1 mit dem Titel "Gegenstand, Geltungsbereich und Begriffsbestimmungen", Artikel 3 "Begriffsbestimmungen", Absatz 5 werden Notbrems-Assistenzsysteme wie folgt definiert:

"Notbrems-Assistenzsystem" ein System, das eine Gefahrensituation selbständig erkennt und das Abbremsen des Fahrzeugs veranlassen kann, um einen Zusammenstoß zu verhindern, oder abzumildern." [17]

In Kapitel 2 mit dem Titel "Pflichten der Hersteller", Artikel 10 "Fahrerassistenzsysteme", Absatz 1 steht geschrieben:

" Vorbehaltlich der Befreiungen gemäß Artikel 14 Absatz 3 Buchstabe a, müssen Fahrzeuge der Klassen M2, M3, N2 und N3 mit einem Notbrems-Assistenzsystem ausgerüstet sein, das den Vorschriften dieser Verordnung und ihrer Durchführungsmaßnahmen entspricht." [17]

Dieser Artikel besagt, dass alle Kraftwagen zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen, außer dem Fahrersitz, und einem zulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als 5000kg, sowie alle Kraftwagen zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen, außer dem Fahrersitz, mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 5000kg mit einem Notbrems-Assistenzsystem ausgerüstet sein müssen, um in Zukunft eine Typgenehmigung erhalten zu können.

Dies gilt genauso für Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3500kg und nicht mehr als 12000kg, sowie für Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 12000kg.

Kapitel 3 mit dem Titel "Pflichten der Mitgliedstaaten", Artikel 13 "Typgenehmigung von Fahrzeugen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten" Absatz 12, regelt den Termin der verpflichtenden Einführung der "Notbrems-Assistenzsysteme" für die Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃, und setzt den Termin mit 1. November 2013 fest. Ab diesem Zeitpunkt müssen die angeführten Klassen für eine Typgenehmigung mit diesen Assistenzsystemen ausgerüstet sein. [17]

" Ab dem 1. November 2013 versagen die nationalen Behörden aus Gründen, die sich auf die Bestimmungen des Artikels 10 für die Sicherheit von Fahrzeugen beziehen, die EG-Typgenehmigung oder die Betriebserlaubnis mit nationaler Geltung für neue Typen von Fahrzeugen der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃, wenn die Fahrzeuge dieser Verordnung und ihren Durchführungsmaßnahmen nicht entsprechen." [17]

Ab dem 1. November 2015 werden die Übereinstimmungsbescheinigungen für neue Fahrzeuge der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃ als nicht mehr gültig im Sinne des Artikels 26 der Richtlinie 2007/46/EG angesehen, und die Zulassung ohne "Notbrems-Assistenzsystem" untersagt. [17]

"Ab dem 1. November 2015 betrachten die nationalen Behörden aus Gründen, die sich auf die Bestimmungen des Artikels 10 für die Sicherheit von Fahrzeugen beziehen, Übereinstimmungsbescheinigungen für neue Fahrzeuge der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃ als nicht mehr gültig im Sinne des Artikels 26 der Richtlinie 2007/46/EG und untersagen die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme solcher Fahrzeuge, wenn die Fahrzeuge dieser Verordnung und ihren Durchführungsmaßnahmen nicht entsprechen." [17]

Artikel 26 der Richtlinie 2007/46/EG, regelt in 3 Absätzen die Zulassung, Verkauf und Inbetriebnahme von Fahrzeugen. [18]

Die Kommission kann aber laut Kapitel 4 "Durchführung", Artikel 14 "Durchführungsmaßnahmen", Absatz 3 Buchstaben a, bestimmte Fahrzeuge, oder Klassen von Fahrzeugen der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃ von der Verpflichtung, gemäß Artikel 10 befreien, falls sich im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse unter Berücksichtigung aller Sicherheitsaspekte herausstellt, dass eine Ausrüstung mit "Notbrems-Assistenzsystemen" nicht zweckmäßig ist. [17]

Die Funktionsweise der Notbrems-Assistenzsysteme, sowie die vorgeschriebene Prüfung dieser Systeme wird in dieser Verordnung jedoch nicht beschrieben.

In der EU-Verordnung Nr. 347/2012 vom 16. April 2012 wird näher auf die Notbremsassistentensysteme eingegangen, und auch deren notwendigen Prüfungen beschrieben.

2.3.2.2 Verordnung (EU) Nr. 347/2012:

Diese Verordnung gilt für Kraftfahrzeuge der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃, mit Ausnahme von Sattelzugmaschinen der Klasse N₂ mit einer Höchstmasse von mehr als 3500kg und nicht mehr als 8000kg, Geländefahrzeugen der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃, Fahrzeugen mit besonderer Zweckbestimmung der Klassen M₂, M₃, N₂ und N₃ mit mehr als drei Achsen. (19)

In Artikel 3 mit dem Titel " Pflichten der Mitgliedstaaten" wird die zeitliche Einführung der Notbremsassistentensysteme geregelt, und mit 1. November 2013 in mehreren Schritten festgelegt. [19]

Schritt 1:

"Ab dem 1. November 2013 verweigern die nationalen Behörden aus Gründen im Zusammenhang mit dem AEBS die EG-Typgenehmigung oder die nationale Typgenehmigung für neue Fahrzeugtypen, die den Anforderungen gemäß Anhang II und III nicht entsprechen, ausgenommen die Anforderungen für die Genehmigungsstufe 2 nach Anhang II und die Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen nach Anlage 2 zu diesem Anhang und ausgenommen Fahrzeuge, die nicht mit einer Hinterachsaufhängung mit Luftfederung ausgerüstet sind." [19]

Schritt 2:

" Ab dem 1. November 2015 erachten die nationalen Behörden aus Gründen, die mit dem AEBS zusammenhängen, Konformitätsbescheinigungen für neue Fahrzeuge für die Zwecke von Artikel 26 der Richtlinie 2007/46/EG als nicht mehr gültig und untersagen die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme derartiger Fahrzeuge, wenn diese Fahrzeuge nicht den Anforderungen gemäß Anhang II und III entsprechen, ausgenommen die Anforderungen für die Genehmigungsstufe 2 nach Anhang II und die Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen nach Anlage 2 zu diesem Anhang und ausgenommen Fahrzeuge, die nicht mit einer Hinterachsaufhängung mit Luftfederung ausgestattet sind." [19]

Schritt 3:

" Ab dem 1. November 2016 verweigern die nationalen Behörden aus Gründen, die mit dem AEBS zusammenhängen, die EG-Typgenehmigung oder die nationale Typgenehmigung für neue Fahrzeugtypen, die den Anforderungen gemäß Anhang II und III nicht entsprechen, einschließlich den Anforderungen für die Genehmigungsstufe 2 nach Anhang II und den Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen nach Anlage 2 zu diesem Anhang." [19]

Schritt 4:

" Ab dem 1. November 2018 erachten die nationalen Behörden aus Gründen, die mit dem AEBS zusammenhängen, Konformitätsbescheinigungen für neue Fahrzeuge für die Zwecke von Artikel 26 der Richtlinie 2007/46/EG als nicht mehr gültig und untersagen die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme derartiger Fahrzeuge, wenn diese Fahrzeuge nicht den Anforderungen gemäß Anhang II und III entsprechen, einschließlich den Anforderungen für die Genehmigungsstufe 2 nach Anhang II und den Kriterien für Bestehen/Nichtbestehen nach Anlage 2 zu diesem Anhang." [19]

In Anhang 2 mit dem Titel " Anforderungen und Prüfungen für die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der AEBS" werden die Funktionsweise und die vorgeschriebenen Prüfverfahren genau definiert. [19]

Wenn das Notbremsassistentensystem die Möglichkeit einer Kollision erkennt, so muss es laut Anhang 2, Absatz 1.5.1 mit mindestens zwei der drei möglichen Modi, akustisch, haptisch oder optisch den Fahrer warnen, weiters muss es in einem Geschwindigkeitsbereich von 15 km/h bis zur Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit, unabhängig vom Beladungszustand des Fahrzeuges, aktiv sein. Der Fahrer muss sowohl in der Kollisionswarnphase, als auch in der Notbremsphase die Möglichkeit haben aktiv in das Geschehen einzugreifen um die Kollisionswarnphase bzw. die Notbremsphase abubrechen. [19]

Sollte die AEBS-Funktion deaktivierbar sein, so muss der Fahrer durch ein konstantes optisches Warnsignal über den deaktivierten Zustand informiert werden, weiters ist vorgeschrieben, dass sich das System bei Beginn jedes neuen Zündzyklus wieder automatisch aktiviert. [19]

Die Prüfungen von Notbremsassistentensystemen haben auf einer ebenen, und trockenen Fahrbahn aus Beton oder Asphalt, bei einer Außentemperatur zwischen 0°C und 45°C und einer Sichtweite, die die Beobachtung des Targets während der gesamten Prüfung ermöglicht durchgeführt zu werden. Dabei dürfen die Messungen nicht durch den Wind beeinflusst werden. [19]

Die Targets müssen in hoher Stückzahl, in Serie produzierte Personenkraftwagen, oder "weiche" Ziele mit Identifikationsmerkmalen die einem realen Fahrzeug entsprechen, sein. [19]

Die vorgeschriebenen Prüfungen der EU Verordnung 347 werden dabei in folgende Kategorien unterteilt, und in Kapitel 2.5.9 im Detail beschrieben: [19]

- Warn- und Aktivierungsprüfungen mit unbeweglichem Ziel
- Warn- und Aktivierungsprüfungen mit beweglichem Ziel
- Störmeldungsprüfung
- Deaktivierungsprüfung
- Fehlreaktionsprüfung

2.3.2.3 ECE-R 13-H:

Die ECE-R 13-H ist eine Rechtsakte ohne Gesetzescharakter, und regelt die einheitlichen Bedingungen für die Genehmigung von Personenkraftwagen hinsichtlich der Bremsen. Die aktuelle Version trat mit 17. März 2010 in Kraft, in deren Anhang 8 mit dem Titel "Spezielle Vorschriften für die Sicherheitsaspekte komplexer elektronischer Fahrzeugsteuersysteme" die Vorgehensweise beschrieben wird, wie die benötigten Informationen für die Typgenehmigung an den technischen Dienst zu übermitteln sind. Jedoch wird weder auf die Funktionsweise eines Systems eingegangen, noch auf die durchzuführenden Prüfungen. Es wird aber gefordert das diese komplexen elektronischen Fahrzeugsteuersysteme, sowohl bei normalen als auch Störungsbedingungen, die Vorschriften über die Bremswirkung einhalten. [20]

" In diesem Anhang sind nicht die Wirkkriterien des "Systems" festgelegt, sondern es werden die Vorgehensweise bei der Systementwicklung und die Angaben behandelt, die dem technischen Dienst im Hinblick auf die Typgenehmigung zu übermitteln sind." [20]

"Aus diesen Angaben muss hervorgehen, dass bei dem „System“ unter normalen und Störungsbedingungen alle zutreffenden Vorschriften über die Bremswirkung eingehalten sind, die in dieser Regelung an anderer Stelle aufgeführt sind" [20]

2.3.3 Standards:

Weder ISO- noch SAE-Standards haben einen Gesetzescharakter, spiegeln jedoch den Stand der Technik wieder, was wiederum im Falle eines Unfalles Auswirkungen auf die Schuldzuweisung an den Hersteller haben kann. Sollte ein Fahrerassistenzsystem, wie zum Beispiel ein Notbremsassistenzsystem nicht nach dem Stand der Technik, also nach ISO- bzw. SAE-Standard entwickelt sein und es kommt zu einem Unfall, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Unfallschuld dem Hersteller zugesprochen wird. [21]

2.3.3.1 ISO:

Die ISO (International Organization for Standardization) ist eine weltweite Vereinigung von Standardisierungsgremien, die mittels technischer Ausschüsse, internationale Standards entwickeln. [22]

Von der ISO wurden folgende Standards, welche für Notbremsassistentensystem von Interesse sind, veröffentlicht:

- ISO 15622: „Intelligent transport systems - Adaptive cruise control systems – Performance requirements and test procedures“
- ISO 22179: „Intelligent transport systems – Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems – Performance requirements and test procedures“
- ISO 15623: „Transport information and control systems – Forward vehicle collision warning systems – Performance requirements and test procedures“
- ISO 26262: "Road vehicles -Functional safety" beschäftigt sich mit der Sicherheit von Systemen mit elektrischen/elektronischen Systemen im Kraftfahrzeug und ist allgemein für Fahrerassistenzsysteme wichtig.

Ein Weiterer, für Notbremsassistentensysteme wichtiger Standard befindet sich zur Zeit noch in Arbeit:

- ISO 22839: „Intelligent transport systems – Forward vehicle collision mitigation systems – Operation, performance, and verification requirements“

2.3.3.2 SAE:

SAE International ist eine globale Vereinigung von mehr als 128.000 Ingenieuren und Technikfachleuten aus der Luftfahrt-, Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie. Die Kernkompetenzen der SAE International sind lebenslanges Lernen und die Entwicklung freiwilliger Konsensnormen. [23]

SAE hat wie auch die ISO bereits Standards veröffentlicht, die für Notbremsassistentensysteme von Bedeutung sind:

- SAE J2399: "Adaptive Cruise Control (ACC) Operating Characteristics and User Interface"
- SAE J2400: "Human Factors in Forward Collision Warning Systems: Operating Characteristics and User Interface Requirements"

2.4 Zukünftige Entwicklung des EURO-NCAP bis 2016 [24]

Seit der Einführung der Euro-NCAP-Tests im Jahr 2009 wurden die Anforderungen die an die Fahrzeuge gestellt werden immer anspruchsvoller und ständig erweitert, um Weiterentwicklungen in der Fahrzeugsicherheit zu fördern und belohnen.

Ziel der Euro-NCAP-Tests ist es plausible, zuverlässige, aber auch anspruchsvolle und dabei den Herstellern gegenüber faire Tests für alle Fahrzeugklassen zu entwickeln, die auch für den Verbraucher verständlich sind. Diese Tests besitzen zwar keinerlei Rechtsanspruch, jedoch hat die Erzielung einer 5-Sternebewertung für die Hersteller auf Grund des großen Einflusses auf das Kaufverhalten der Kunden, große Relevanz.

In der Bewertung des Euro-NCAP werden folgende 4 Kategorien bewertet:

- **Insassenschutz (AOP)**
- **Kindersicherheit (COP)**
- **Fußgängerschutz (PP)**
- **die aktive Sicherheit (SA).**

Gewichtung des Euro-NCAP:

Die Gewichtung der einzelnen Kategorien und deren Grenzwerte im Vergleich zur Gesamtpunktzahl ergibt die Einstufung in die jeweilige Sterne-Klasse, solange die Gesamtpunktzahl der einzelnen Kategorien die Mindestanforderung für jede einzelne der vier Klassen erfüllt.

Die Änderung der Gewichtungen im Verlauf der Zeit sollen nicht nur die Veränderungen der Wichtigkeiten der einzelnen Kategorien widerspiegeln, sondern auch die Gewichtung der Kategorien die noch nicht voll Entwickelt sind abschwächen.

Abbildung 2.3 stellt exemplarisch eine Bewertungsmatrix des Euro-NCAP für das Jahr 2012 dar.

2012:

Im Jahr 2012 musste man noch, um 5 Sterne im Euro-NCAP-Test zu erreichen, mindestens 80% der möglichen 36 Punkte in der Kategorie Insassenschutz, 75% der möglichen 49 Punkte in der Kategorie Kindersicherheit, 60% der möglichen 36 Punkte der Kategorie Fußgängerschutz sowie 60% der möglichen 4,2 Punkte der Kategorie aktive Sicherheit erreichen und musste dabei gleichzeitig in Summe mindestens 80% der Maximalpunktzahl erzielen. Dies bedeutet, dass allein das Erreichen der Mindestpunktzahl in den einzelnen Kategorien noch nicht ausreichte 5 Sterne im Euro-NCAP-Test zu erreichen, da dann mit 91,35 Punkten lediglich 71,4% aller Punkte erreicht wurden und somit die zusätzliche Forderung von mindestens in Summe 102,4 Punkten, was 80% aller erreichbaren Punkte der 4 Kategorien entspricht, noch nicht erfüllt wurde.

2012					Total
★★★★★	80%	75%	60%	60%	80%
★★★★	70%	60%	50%	40%	70%
★★★	40%	30%	25%	25%	60%
★★	30%	25%	15%	15%	55%
★	20%	15%	10%	5%	45%
Gewichtungsfaktor	50%	20%	20%	10%	

Einzelschwellen (blue box pointing to the percentage columns)

Bewertungsschwelle (yellow box pointing to the Total column)

Gewichtungsfaktoren (green box pointing to the weighting factor row)

Abbildung 2.3: Euro-NCAP Bewertungsmatrix des Jahres 2012

Bis 2012 wurden für den Euro-NCAP-Test nur Fahrzeuge mit Seriensicherheitsausstattung zugelassen, dieses Prinzip wird in Zukunft weiter übernommen werden und auf die Ausstattung in den Kategorien Insassenschutz, Kindersicherheit und Fußgängerschutz angewendet werden. Daraus folgt, dass ohne in der Serienausstattung verbautem Kollisionsvermeidungssystem keine damit in Verbindungstehenden Punkte in den ersten drei Kategorien erzielt werden können. Damit werden die Hersteller gezwungen, Kollisionsvermeidungssysteme als Serienausstattung in den Fahrzeugen zu verbauen, um eine 5-Sternebewertung erzielen zu können. Die Grenzwerte werden zu Beginn aber so gesetzt, dass auch noch ohne diese Systeme eine 5 Sternebewertung erreichbar sein wird.

2013:

Insassenschutz:

Der Insassenschutz bleibt wie in Abbildung 2.4 zu sehen 2013 im Vergleich mit 2012 unverändert bestehen.

Kindersicherheit:

Um 2013 in der Kategorie Kindersicherheit eine 5-Sternebewertung zu erreichen müssen, laut Abbildung 2.4, 60% der Maximalpunktezah in dieser Kategorie erreicht werden, was einer Reduktion um 15% im Vergleich mit dem Jahr 2012 entspricht.

Fußgängerschutz:

Der Fußgängerschutz wird analog dem Jahr 2012 bewertet.

Aktive Sicherheit:

Ab dem Jahr 2013 wird mehr Augenmerk auf die Kategorie "aktive Sicherheit" gelegt, was der Grund dafür ist, dass es in dieser Kategorie in Summe 2 Punkte mehr zu erreichen gibt. Gleichzeitig werden auch die Grenzwerte der "aktiven Sicherheit" für die einzelnen Einstufungen angehoben.









Abbildung 2.4 zeigt die ab 2013 geltende Verteilung der prozentuellen Grenzwerte und der zu erreichenden Mindestpunktezahlen.

Die Erweiterung des SLD (Speed Limitation Device) zum SAS (Speed Assistance System) bringt in der Kategorie "active safety" eine Steigerung der maximal möglichen Punktezah von 7 auf 9 Punkte. Diese 9 Punkte setzen sich zusammen aus, 3 Punkten für SBR, max. 3 Punkte für SAS und max. 3 Punkten für ESC (Electronic Stability Control).



2013 wird die Punktevergabe für SBR (Seat Belt Reminder) überarbeitet, womit es nun nicht mehr möglich ist einen Punkt für einen vorhandenen SBR des Fahrersitzes zu erhalten, sondern nur noch die Möglichkeit besteht 2 Punkte zu erhalten, wenn Fahrer und Beifahrersitz mit einem SBR ausgestattet sind, bzw. 3 Punkte für die Ausstattung aller Sitze mit einem SBR.

Die Gewichtungsfaktoren und die Grenzwerte der Gesamtpunktezahlen der einzelnen Einstufungen bleiben aber vorerst unverändert.

Abbildung 2.4 Stellt einen Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2012 und 2013 dar. In diesem Vergleich werden zur besseren Erkennbarkeit der Unterschiede alle Veränderungen die 2013 in Kraft treten grau markiert.

2012					Total	2013					Total
★★★★★	80%	75%	60%	60%	80%	★★★★★	80%	60%	60%	65%	80%
★★★★☆	70%	60%	50%	40%	70%	★★★★☆	70%	60%	50%	55%	70%
★★★☆☆	40%	30%	25%	25%	60%	★★★☆☆	40%	30%	25%	30%	60%
★★☆☆☆	30%	25%	15%	15%	55%	★★☆☆☆	30%	25%	15%	20%	55%
★☆☆☆☆	20%	15%	10%	5%	45%	★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	45%
Gewichtungsfaktor	50%	20%	20%	10%		Gewichtungsfaktor	50%	20%	20%	10%	

2012					2013				
★★★★★	28,80	36,75	21,60	4,20	★★★★★	28,80	29,40	21,60	5,85
★★★★☆	25,20	29,40	18,00	2,80	★★★★☆	25,20	29,40	18,00	4,95
★★★☆☆	14,40	14,70	9,00	1,75	★★★☆☆	14,40	14,70	9,00	2,70
★★☆☆☆	10,80	12,25	5,40	1,05	★★☆☆☆	10,80	12,25	5,40	1,80
★☆☆☆☆	7,20	7,35	3,60	0,35	★☆☆☆☆	7,20	7,35	3,60	0,90
Maximalpunktzahl	36,00	49,00	36,00	7,00	Maximalpunktzahl	36,00	49,00	36,00	9,00

						
		2012	2013			
Front OBD		16	16			
100% Überdeckung Frontalaufprall		-	-			
Seitenaufprall (Barriere)		8	8		2012	2013
Seitenaufprall (Pfahl)		8	8	Dynamische Tests Frontal	16	16
Peitschenschlag Front		4	4	Dynamische Tests Seitlich	8	8
Peitschenschlag Heck		-	-	CRS (Child restraint System)	12	12
AEB City		-	-	Fahrzeug	13	13
		36	36		49	49


						
		2012	2013		2012	2013
Kopfaufprall		24	24	SBR (Seat Belt Reminder)	3	3
Beinaufprall		6	6	SLD/SAS (Speed Limitation Device/Speed Assist System)	1	3
Oberschenkelaufrall		6	6	ESC	3	3
AEB Fußgänger		-	-	LDW/LKD (Lane Departure Warning/Lane Keep Assist)	-	-
		36	36	AEB Überland	-	-
					7	9

Abbildung 2.4: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2012 und 2013

2014:

Das Jahr 2014 wird das Jahr der "aktiven Sicherheit" werden, da die Notbremsassistentensysteme in die Bewertungen der Kategorien Insassenschutz und aktive Sicherheit aufgenommen werden. Es werden weiters die Grenzwerte für die benötigte Gesamtpunktezahl der einzelnen Einstufungen, wie in Abbildung 2.5 gezeigt, angepasst werden.

Mittels der Gewichtungsfaktoren kommt der Kategorie "aktive Sicherheit" ab 2014 eine größere Bedeutung zu, da 10% der Gewichtung der Kategorie Insassenschutz in Richtung aktive Sicherheit verschoben wird.

Insassenschutz:

Ab dem Jahr 2014 fließen, sowohl der AEB-City mit maximal 3 Punkten als auch der Peitschenschlag bei Heckkollision mit einem Punkt in die Bewertung des Insassenschutzes ein, der Peitschenschlag bei Frontalkollisionen wird dabei von 4 auf 2 mögliche Bewertungspunkte abgewertet.

Um ab 2014 eine 3 Sternebewertung zu erreichen werden 50% der Maximalpunktezahl zu erreichen sein, was einer 10%igen Erhöhung im Vergleich zum vorangegangenen Jahr entspricht. Die restlichen Grenzwerte der einzelnen Einstufungen bleiben aber unverändert. (s. Abbildung 2.5)

Kindersicherheit:

2014 wird erneut der Grenzwert einer 5-Sternebewertung um weitere 15%, auf nun 75% der Maximalpunktezahl erhöht, ansonsten bleibt die Bewertung der Kindersicherheit unverändert erhalten. (s. Abbildung 2.5)

Fußgängerschutz:

Der Fußgängerschutz bleibt weitestgehend unverändert, lediglich die Grenzwerte einer 3-Sternebewertung wird um 15% auf 40%, und einer 2-Sternebewertung um 5% auf 20% angehoben. (s. Abbildung 2.5)

Aktive Sicherheit:

In dieser Kategorie werden die größten Veränderungen zum Vorjahr eingeführt, da 4 zusätzliche Bewertungspunkte für diese Kategorie hinzukommen, die sich auf LDW/LKD (Lane Departure Warning/ Lane Keep Device) mit einem möglichen Punkt, und dem AEB - Interurban (Autonomous Emergency Brake) mit 3 Punkten aufteilen. Auf Grund der zusätzlich erreichbaren Punkte für LDW/LKD und dem Notbremsassistenten können ab 2014 in der Kategorie aktive Sicherheit maximal 13 Punkte vergeben werden. (s. Abbildung 2.5)

Abbildung 2.5 stellt einen Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2013 und 2014 dar. In diesem Vergleich werden zur besseren Erkennbarkeit der Unterschiede alle Veränderungen die 2014 in Kraft treten grau markiert.

2013					Total	2014					Total
★★★★★	80%	60%	60%	65%	80%	★★★★★	80%	75%	60%	65%	75%
★★★★☆	70%	60%	50%	55%	70%	★★★★☆	70%	60%	50%	55%	65%
★★★☆☆	40%	30%	25%	30%	60%	★★★☆☆	50%	30%	40%	30%	50%
★★☆☆☆	30%	25%	15%	20%	55%	★★☆☆☆	30%	25%	20%	20%	40%
★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	45%	★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	30%
Gewichtungsfaktor	50%	20%	20%	10%		Gewichtungsfaktor	40%	20%	20%	20%	

2013					2014				
★★★★★	28,80	29,40	21,60	5,85	★★★★★	30,40	36,75	21,60	8,45
★★★★☆	25,20	29,40	18,00	4,95	★★★★☆	26,60	29,40	18,00	7,15
★★★☆☆	14,40	14,70	9,00	2,70	★★★☆☆	19,00	14,70	14,40	3,90
★★☆☆☆	10,80	12,25	5,40	1,80	★★☆☆☆	11,40	12,25	7,20	2,60
★☆☆☆☆	7,20	7,35	3,60	0,90	★☆☆☆☆	7,60	7,35	3,60	1,30
Maximalpunktzahl	36,00	49,00	36,00	9,00	Maximalpunktzahl	38,00	49,00	36,00	13,00

	2012	2013	2014		2012	2013	2014			
Front OBD	16	16	16	Dynamische Tests Frontal	16	16	16			
100% Überdeckung Frontalaufprall	-	-	-		Dynamische Tests Seitlich	8	8	8		
Seitenaufprall (Barriere)	8	8	8			CRS (Child restraint System)	12	12	12	
Seitenaufprall (Pfahl)	8	8	8				Fahrzeug	13	13	13
Peitschenschlag Front	4	4	2					49	49	49
Peitschenschlag Heck	-	-	1							
AEB City	-	-	3							
	36	36	38							

	2012	2013	2014		2012	2013	2014
Kopfaufprall	24	24	24	SBR (Seat Belt Reminder)	3	3	3
Beinaufprall	6	6	6	SLD/SAS (Speed Limitation Device/Speed Assist System)	1	3	3
Oberschenkelaufrall	6	6	6	ESC	3	3	3
AEB Fußgänger	-	-	-	LDW/LKD (Lane Departure Warning/Lane Keep Assist)	-	-	1
	36	36	36	AEB Überland	-	-	3
					7	9	13

Abbildung 2.5: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2013 und 2014

2015:Insassenschutz:

Ab dem Jahr 2015 wird die 100% Überdeckungskollision mit 8 Bewertungspunkten in die Beurteilung aufgenommen und Front ODB (front Offset Deformable Barrier) mit 8 anstelle der 16 Punkten wie in den Jahren zuvor bewertet werden. Somit bleibt die maximal mögliche Punktezahl für den Insassenschutz mit 38 Punkten gleich. (s. Abbildung 2.6)

Kindersicherheit:

Die Kindersicherheit wird ohne Veränderungen analog der Bewertung aus dem Jahr 2014 beurteilt. (s. Abbildung 2.6)

Fußgängerschutz:

2015 müssen in der Kategorie Fußgängerschutz um eine 5 Sternebewertung zu erzielen, 65% der maximal möglichen 36 Punkte erreicht werden, was einer Steigerung um 5% im Vergleich zum Jahr 2014 entspricht. Die Grenzwerte der restlichen Einstufungen bleiben unverändert erhalten. (s. Abbildung 2.6)

Aktive Sicherheit:

Für eine 5 Sternebewertung werden ab dem Jahr 2015 70% der Maximalpunktezahl zu erreichen sein, was einer Erhöhung um 5% im Vergleich mit 2014 entspricht. Eine 4 Sternebewertung kann mit 60% der Maximalpunktezahl erreicht werden, was ebenfalls einer Erhöhung um 5% entspricht. 3 Sterne werden bei 40% der Maximalpunktezahl vergeben, und stellen somit eine Erhöhung um 10% zum Vorjahr dar. Anhand dieser Erhöhungen kann man erkennen das es 2015 schwieriger wird eine gut Euro-NCAP-Bewertung in dieser Kategorie zu erreichen. (s. Abbildung 2.6)

Abbildung 2.6 Stellt einen Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2014 und 2015 dar. In diesem Vergleich werden zur besseren Erkennbarkeit der Unterschiede alle Veränderungen die 2015 in Kraft treten grau markiert.

2014					Total	2015					Total
★★★★★	80%	75%	60%	65%	75%	★★★★★	80%	75%	65%	70%	75%
★★★★☆	70%	60%	50%	55%	65%	★★★★☆	70%	60%	50%	60%	65%
★★★☆☆	50%	30%	40%	30%	50%	★★★☆☆	50%	30%	40%	40%	50%
★★☆☆☆	30%	25%	20%	20%	40%	★★☆☆☆	30%	25%	20%	20%	40%
★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	30%	★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	30%
Gewichtungsfaktor	40%	20%	20%	20%		Gewichtungsfaktor	40%	20%	20%	20%	

2014					2015				
★★★★★	30,40	36,75	21,60	8,45	★★★★★	30,40	36,75	23,40	9,10
★★★★☆	26,60	29,40	18,00	7,15	★★★★☆	26,60	29,40	18,00	7,80
★★★☆☆	19,00	14,70	14,40	3,90	★★★☆☆	19,00	14,70	14,40	5,20
★★☆☆☆	11,40	12,25	7,20	2,60	★★☆☆☆	11,40	12,25	7,20	2,60
★☆☆☆☆	7,60	7,35	3,60	1,30	★☆☆☆☆	7,60	7,35	3,60	1,30
Maximalpunktezahl	38,00	49,00	36,00	13,00	Maximalpunktezahl	38,00	49,00	36,00	13,00

	2012	2013	2014	2015
Front OBD	16	16	16	8
100% Überdeckung Frontalaufprall	-	-	-	8
Seitenaufprall (Barriere)	8	8	8	8
Seitenaufprall (Pfahl)	8	8	8	8
Peitschenschlag Front	4	4	2	2
Peitschenschlag Heck	-	-	1	1
AEB City	-	-	3	3
	36	36	38	38

	2012	2013	2014	2015
Dynamische Tests Frontal	16	16	16	16
Dynamische Tests Seitlich	8	8	8	8
CRS (Child restraint System)	12	12	12	12
Fahrzeug	13	13	13	13
	49	49	49	49

	2012	2013	2014	2015
Kopfaufprall	24	24	24	24
Beinaufprall	6	6	6	6
Oberschenkelaufprall	6	6	6	6
AEB Fußgänger	-	-	-	-
	36	36	36	36

	2012	2013	2014	2015
SBR (Seat Belt Reminder)	3	3	3	3
SLD/SAS (Speed Limitation Device/Speed Assist System)	1	3	3	3
ESC	3	3	3	3
LDW/LKD (Lane Departure Warning/Lane Keep Assist)	-	-	1	1
AEB Überland	-	-	3	3
	7	9	13	13

Abbildung 2.6: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2014 und 2015

2016:Insassenschutz:

Der Insassenschutz bleibt 2016 unverändert erhalten. (s. Abbildung 2.7)

Kindersicherheit:

Die Kindersicherheit wird 2016 ebenfalls nicht verändert. (s. Abbildung 2.7)

Fußgängerschutz:

Ab dem Jahr 2016 fließen die Notbremsassistenten in den Fußgängerschutz mit 6 Punkten ein und erhöhen somit die Maximalpunktezahl in dieser Kategorie von 36 auf 42 Punkte. Ebenso wird der Grenzwert für eine 4 Sternebewertung um 5% auf 55% erhöht. (s. Abbildung 2.7) Damit kommt der Kategorie Fußgängerschutz ab 2016 eine höhere Bedeutung zu.

Aktive Sicherheit:

Die aktive Sicherheit wird 2016 unverändert Bewertet. (s. Abbildung 2.7)

Abbildung 2.7 Stellt einen Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2015 und 2016 dar. In diesem Vergleich werden zur besseren Erkennbarkeit der Unterschiede alle Veränderungen, die 2016 in Kraft treten grau markiert.

2015					Total	2016					Total
★★★★★	80%	75%	65%	70%	75%	★★★★★	80%	75%	65%	70%	75%
★★★★☆	70%	60%	50%	60%	65%	★★★★☆	70%	60%	55%	60%	65%
★★★☆☆	50%	30%	40%	40%	50%	★★★☆☆	50%	30%	40%	40%	50%
★★☆☆☆	30%	25%	20%	20%	40%	★★☆☆☆	30%	25%	20%	20%	40%
★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	30%	★☆☆☆☆	20%	15%	10%	10%	30%
Gewichtungsfaktor	40%	20%	20%	20%		Gewichtungsfaktor	40%	20%	20%	20%	

2015					2016				
★★★★★	30,40	36,75	23,40	9,10	★★★★★	30,40	36,75	27,30	9,10
★★★★☆	26,60	29,40	18,00	7,80	★★★★☆	26,60	29,40	23,10	7,80
★★★☆☆	19,00	14,70	14,40	5,20	★★★☆☆	19,00	14,70	16,80	5,20
★★☆☆☆	11,40	12,25	7,20	2,60	★★☆☆☆	11,40	12,25	8,40	2,60
★☆☆☆☆	7,60	7,35	3,60	1,30	★☆☆☆☆	7,60	7,35	4,20	1,30
Maximalpunktzahl	38,00	49,00	36,00	13,00	Maximalpunktzahl	38,00	49,00	42,00	13,00

	2012	2013	2014	2015	2016
Front OBD	16	16	16	8	8
100% Überdeckung Frontalaufprall	-	-	-	8	8
Seitenaufprall (Barriere)	8	8	8	8	8
Seitenaufprall (Pfahl)	8	8	8	8	8
Peitschenschlag Front	4	4	2	2	2
Peitschenschlag Heck	-	-	1	1	1
AEB City	-	-	3	3	3
	36	36	38	38	38

	2012	2013	2014	2015	2016
Dynamische Tests Frontal	16	16	16	16	16
Dynamische Tests Seitlich	8	8	8	8	8
CRS (Child restraint System)	12	12	12	12	12
Fahrzeug	13	13	13	13	13
	49	49	49	49	49

	2012	2013	2014	2015	2016
Kopfaufprall	24	24	24	24	24
Beinaufprall	6	6	6	6	6
Oberschenkelaufrall	6	6	6	6	6
AEB Fußgänger	-	-	-	-	6
	36	36	36	36	42

	2012	2013	2014	2015	2016
SBR (Seat Belt Reminder)	3	3	3	3	3
SLD/SAS (Speed Limitation Device/Speed Assist System)	1	3	3	3	3
ESC	3	3	3	3	3
LDW/LKD (Lane Departure Warning/Lane Keep Assist)	-	-	1	1	1
AEB Überland	-	-	3	3	3
	7	9	13	13	13

Abbildung 2.7: der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2015 und 2016

2017:

Für das Jahr 2017 sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Bewertungstabellen veröffentlicht worden.

Zusammenfassung:

Ab 2014 werden die Notbremsassistenten schrittweise in die Beurteilungen des Euro-NCAP aufgenommen werden. Durch diese Neuerung wird es in Zukunft nicht mehr möglich sein ohne dem Einbau dieser Systeme die begehrte 5-Sterne Bewertung zu erhalten. Aus diesem Grund werden die Fahrzeughersteller sozusagen gezwungen diese Systeme zu entwickeln und in ihre Fahrzeuge zu integrieren.

2.5 Vorhandene Tests und Fahrmanöver

Es gab in der Vergangenheit bereits einige Projekte und Institute, die sich basierend auf Ergebnissen von Unfallforschungen mit dem Thema Notbremsassistenzsysteme beschäftigt haben, mit dem Ziel möglichst realitätsnahe, den Ergebnissen der Unfallforschung entsprechende Tests zu entwickeln, um diese Systeme auf ihre Wirkung und korrekte Funktionsweise hin, überprüfen zu können.

In diesem Kapitel soll daher ein Überblick über die zur Zeit bekannten Projekte und deren veröffentlichter Fahrmanöver, welche für die hier durchgeführte Diplomarbeit relevant sind, geschaffen werden.

2.5.1 ADAC

Der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC), entstand aus der ursprünglich 1903 gegründeten "Deutsche Motorradfahrer-Vereinigung" (DMV), und wurde 1911 wegen des rasanten Anstieges an Mitgliedern und Kraftfahrzeugen in den "Allgemeiner Deutscher Automobil-Club" umgewandelt.

Der ADAC ist zur Zeit mit rund 18 Millionen Mitglieder der zweit größte Automobilclub Europas und beschäftigt sich besonders intensiv mit den Themen: Straßenverkehr, Verbraucherschutz, Verkehrssicherheit und Verkehrserziehung. [25]

2.5.1.1.1 ADAC- Manöverkatalog: [6]

Der ADAC-Manöverkatalog kann in die 5 Folgenden Kategorien eingeteilt werden.

- Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung
- Auffahren auf ein bewegtes Ziel welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird
- Auffahren auf ein stehendes Ziel
- Akzeptanz- und Fehlfunktionstests

In weiterer Folge werden diese 5 Kategorien der Reihe nach im Detail beschrieben.

2.5.1.1.1 Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit

Bei diesem Test nähert sich das Ego-Fahrzeug mit einer vorgeschriebenen, konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} , einem auf der selben Spur vorausfahrenden Target-Fahrzeug, welches sich mit einer geringeren, aber ebenso konstanten Geschwindigkeit v_{Target} bewegt. [5]

Abbildung 2.8 zeigt das sich dem Target-Fahrzeug von hinten nähernde Ego-Fahrzeug.

Tabelle A.1 gibt die vorgeschriebenen Versuchsparameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , Beschleunigung des Target-Fahrzeuges

a_{Target} , sowie den vorgeschriebenen Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug zu Versuchsbeginn an. [5]

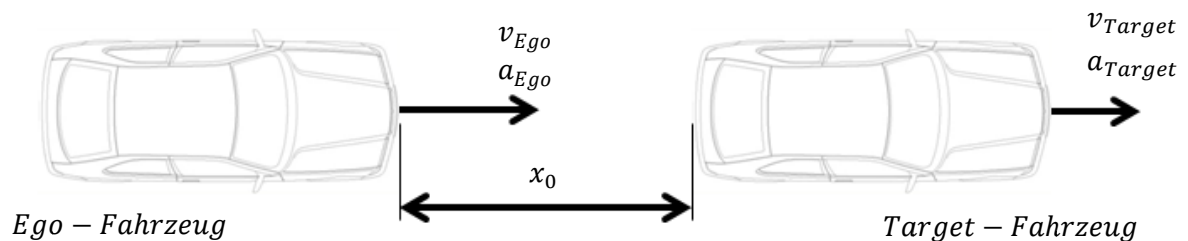


Abbildung 2.8: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit" [5]

2.5.1.1.2 Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung

Bei diesem Versuch nähert sich das Ego-Fahrzeug, dem auf dem selben Fahrstreifen mit konstanter Verzögerung bremsenden Target-Fahrzeug von hinten. [5]

Abbildung 29. zeigt das sich dem Target-Fahrzeug von hinten nähernde Ego-Fahrzeug.

Tabelle A.2 gibt die vorgeschriebenen Versuchsparameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , Beschleunigung des Target-Fahrzeuges

a_{Target} , sowie den vorgeschriebenen Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug zu Versuchsbeginn an. [5]

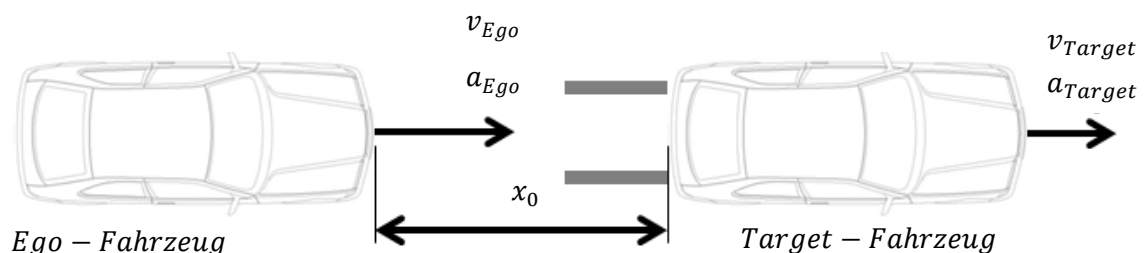


Abbildung 2.9: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung" [5]

2.5.1.1.1.3 Auffahren auf ein bewegtes Ziel, welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird

Bei diesem Versuch nähert sich das Ego-Fahrzeug dem Target-Fahrzeug auf dem selben Fahrstreifen fahrend von hinten. In diesem Fall ist der Startabstand zu Versuchsbeginn so groß gewählt, dass das Target-Fahrzeug nach einer Bremsung mit konstanter Verzögerung zum Stillstand kommt, und das Ego-Fahrzeug sich am Ende des Versuches einem bereits stehenden Hindernis nähert. [5]

Abbildung 2.10. zeigt eine schematische Darstellung dieses Versuches.

Tabelle A.3 gibt die vorgeschriebenen Versuchsparameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , Beschleunigung des Target-Fahrzeuges

a_{Target} , sowie den vorgeschriebenen Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug zu Versuchsbeginn an.

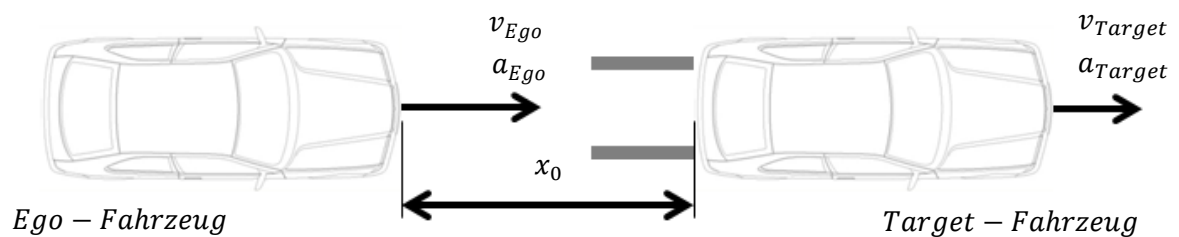


Abbildung 2.10: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird" [5]

2.5.1.1.1.4 Auffahren auf ein stehendes Ziel

Bei diesem Versuch nähert sich das Ego-Fahrzeug einem auf dem selben Fahrstreifen positionierten stationären Hindernis mit verschiedenen Geschwindigkeiten. [5]

Abbildung 2.11. zeigt eine schematische Darstellung dieses Versuches.

Tabelle A.4 gibt die vorgeschriebenen Versuchsparameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , Beschleunigung des Target-Fahrzeuges

a_{Target} , sowie den vorgeschriebenen Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug zu Versuchsbeginn an. [5]

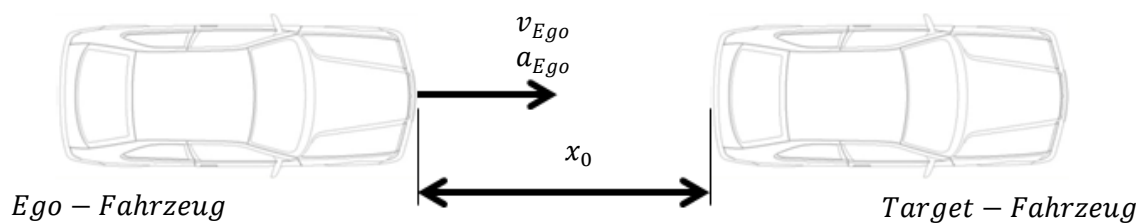


Abbildung 2.11: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein stehendes Ziel" [5]

2.5.1.1.1.5 Akzeptanz- und Fehlfunktionstests

Bei der Integration von Fahrerassistenzsystemen ist es von großer Bedeutung, dass es zu keinen Fehlwarnungen, bzw. fehlerhaften Reaktionen der Assistenzsysteme kommt. Dies gilt natürlich in gleicher Weise für Notbremsassistenzsysteme, was auch der Grund dafür ist, dass der Allgemeine Deutsche Automobilclub sich mit der Entwicklung von Akzeptanz- und Fehlfunktionstests, die im folgenden Abschnitt besprochen werden, beschäftigt hat. [5]

Akzeptanztest A1 - Fahrt in der Kurve:

Bei diesem Manöver befahren das Ego- und Target-Fahrzeug eine Kurve mit vorgeschriebenem Kurvenradius und vorgeschriebenen konstanten Geschwindigkeiten v_{Ego} und v_{Target} , wobei sich das Target-Fahrzeug, wie in Abbildung 2.12 dargestellt auf dem kurvenäußeren Fahrstreifen befindet und das Ego-Fahrzeug den kurveninneren Fahrstreifen befährt. [5]

Der Tabelle A.5 kann man die Versuchsparameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , Kurvenradius R des Fahrstreifens auf dem sich das Ego-Fahrzeug befindet, sowie die Breite der Fahrspuren entnehmen. [5]

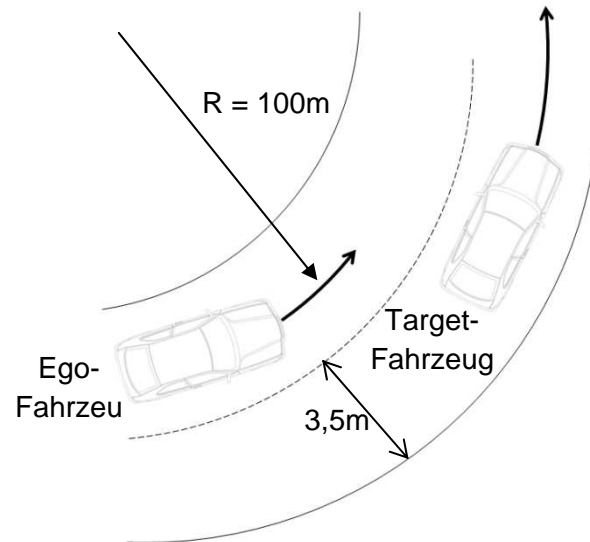


Abbildung 2.12: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A1 [5]

Akzeptanztest A2 - Fliegendes Überholen:

Das Ego-Fahrzeug nähert sich von hinten mit konstanter Geschwindigkeit v_{Ego} dem Target-Fahrzeug, welches sich auf dem selben Fahrstreifen mit der ebenfalls konstanten Geschwindigkeit v_{Target} bewegt. Bei einem Abstand $x_0 = 50$ Metern wechselt das Ego-Fahrzeug innerhalb von einer Sekunde den Fahrstreifen, wobei der Blinker des Ego-Fahrzeuges zu betätigen ist. [5]

Abbildung 2.13. zeigt eine schematische Darstellung des Akzeptanztests A2 - Fliegendes Überholen.

Die Tabelle A.6 gibt die für diesen Test vorgeschriebenen Parameter, Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego} , die Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} , den Abstand x_0 , sowie die vorgeschriebene Zeitdauer für den Fahrstreifenwechsel an. [5]

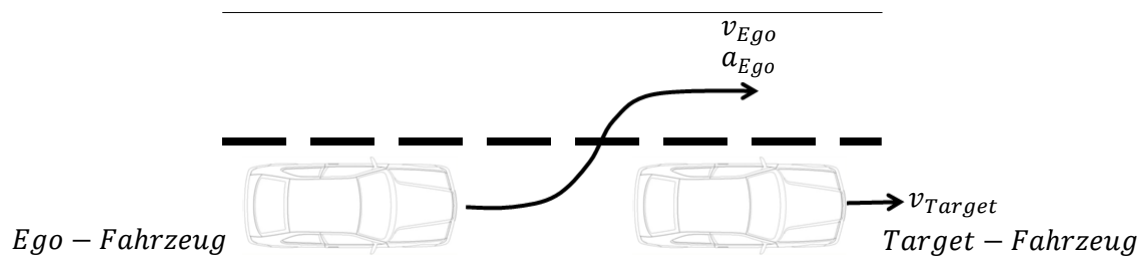


Abbildung 2.13: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A2 - Fliegendes Überholen [5]

Akzeptanztest A3 - unplausibles Bremsen:

Das Ego-Fahrzeug folgt dem Target-Fahrzeug auf dem selben Fahrstreifen. Beide Fahrzeuge bewegen sich dabei mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50km/h, wobei der Abstand x_0 zwischen dem Ego- und dem Target-Fahrzeug 30 Meter betragen soll. Dann beginnt das Target-Fahrzeug mit einer konstanten Beschleunigung zu verzögern, um anschließend rechtwinkelig abzubiegen. Während des Abbiegevorgangs ist der Blinker des Target-Fahrzeuges um eine realitätsnahe Situation zu schaffen, zu betätigen. [5]

Abbildung 2.14 zeigt den schematischen Versuchsaufbau des ADAC Akzeptanztests A3.

Der Tabelle A.7 sind die für die Versuchsdurchführung vorgeschriebenen Versuchsparameter zu entnehmen. [5]

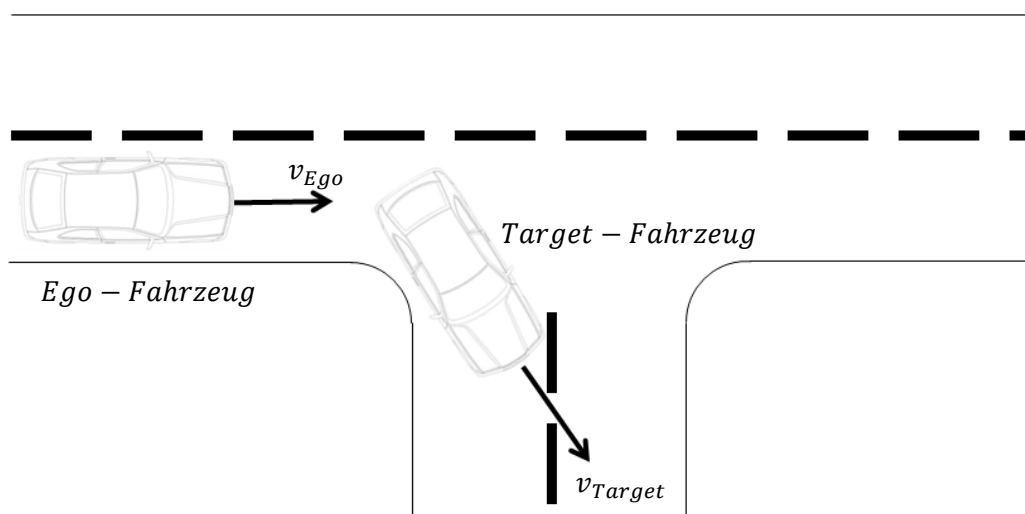


Abbildung 2.14: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A3 - unplausibles Bremsen [5]

Akzeptanztest A4 - vorbeifahren an stehendem Hindernis:

Das Ego-Fahrzeug nähert sich einem auf dem selben Fahrstreifen stehenden Target-Fahrzeug mit der konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} . Bei einem Abstand $x_0 = 30$ Metern zwischen Ego- und Target-Fahrzeug, wechselt das Ego-Fahrzeug innerhalb einer Sekunde die Fahrspur, um dem Target-Fahrzeug auszuweichen, wobei der Blinker des Ego-Fahrzeuges für das Anzeigen des Fahrstreifenwechsels zu betätigen ist. [5]

Abbildung.2.15 zeigt den schematischen Versuchsaufbau des ADAC Akzeptanztests A4 - vorbeifahren an stehendem Hindernis.

Der Tabelle A.8 sind die für die Versuchsdurchführung vorgeschriebenen Versuchsparameter zu entnehmen. [5]

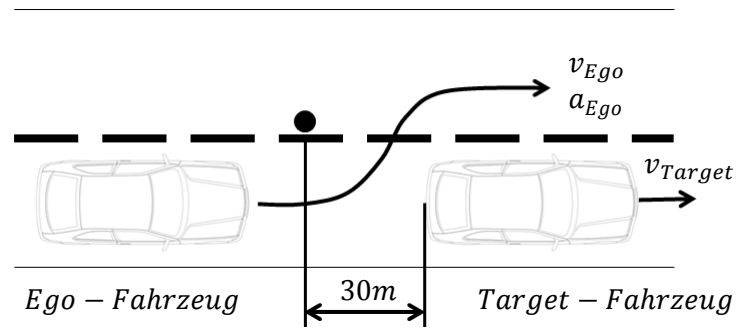


Abbildung 2.15: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A4 - vorbeifahren an stehendem Fahrzeug [5]

Bei jedem dieser vier Akzeptanztests darf es bei der Durchführung weder zu einer Kollisionswarnung, noch zu einer Notbremsung kommen. [5]

2.5.2 Thatcham

Thatcham ist eine 1969 von Britischen Versicherungsgesellschaften gegründete non-profit Forschungsstätte die sich mit Kosten für die Reparaturen von Unfallschäden beschäftigt. Das Ziel ist die Reduktion der Reparaturkosten für die Versicherungen und die steigende Sicherheit der Fahrzeuge. Thatcham arbeitet dabei jedoch nicht nur mit den Versicherungsgesellschaften, sondern auch mit den Fahrzeugherstellern eng zusammen, um bereits in der Entwicklungsphase kostengünstige Reparaturmaßnahmen zu verwirklichen und dabei, basierend auf Forschungsergebnissen, die Sicherheit der Fahrzeuge zu erhöhen. [26]

Die in diesem Kapitel angeführten Manöver wurden von der AEB-Test-Group und deren Vorstand Thatcham entwickelt. [26]

Die von Thatcham vorgeschlagenen Manöver lassen sich grob in die 2 Gruppen

- Heckaufprall zwischen zwei Fahrzeugen
- Fußgängerschutz

einteilen. [27]

Sehr ähnlich wie schon bei den von dem ADAC vorgeschlagenen Manövern wird auch hier in der Gruppe "Heckaufprall zweier Fahrzeuge" in die folgenden drei Untergruppen unterteilt: [27]

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug
- Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

2.5.2.1 Heckaufprall zweier Fahrzeuge

In diesem Kapitel werden die Heckaufprallszenarien des Thatcham Manöverkataloges beschrieben.

2.5.2.1.1 Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug:

Dieses Manöver soll eine innerstädtische Kreuzungssituation darstellen, bei welcher ein Fahrzeug an einer Kreuzung steht und sich diesem ein weiteres von hinten nähert. [27]

Abbildung 2.16 zeigt das an der Kreuzung stehende Target-Fahrzeug und das sich von hinten mit der Geschwindigkeit v_{Ego} annähernde Ego-Fahrzeug.

Dieses Manöver wird unter Variation der Geschwindigkeit v_{Ego} des Ego-Fahrzeuges mehrfach wiederholt. Das Manöver wird mit einer Startgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges

von 10 km/h begonnen und nach jedem Manöver, welches ohne Kollision beendet wurde, um 10km/h gesteigert. Dies wird solange gemacht bis eine Geschwindigkeit von 80km/h erreicht wurde oder es zu einer Kollision gekommen ist. Ist es bei dem letzten Manöver zu einem Kontakt von Ego- und Target-Fahrzeug gekommen, so wird die Geschwindigkeit nicht um 10km/h erhöht, sondern um 5km/h gesenkt, um die höchste Geschwindigkeit bei der es noch zu keiner Kollision kommt zu ermitteln und den Versuch noch einmal durchzuführen. [27]

In Tabelle A.9 sind die Manövervariationen des Thatchammanövers, "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" angegeben.

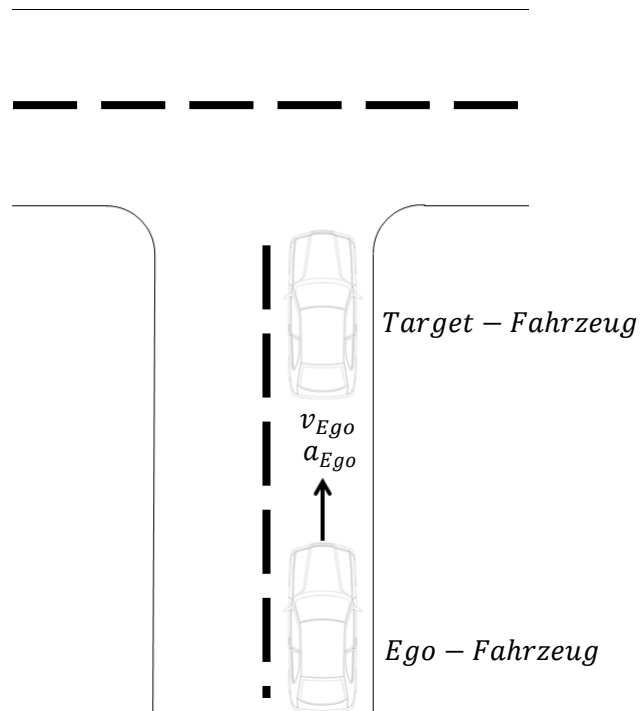


Abbildung 2.16: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [27]

2.5.2.1.2 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit

Bei diesem Manöver fährt das Ego-Fahrzeug einem mit konstanter Geschwindigkeit $v_{Target} = 20 \text{ km/h}$ auf dem selben Fahrstreifen vorausfahrenden Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit v_{Ego} zwischen 50 km/h und 80 km/h auf. Solange es zu keiner Kollision mit dem Target-Fahrzeug kommt, wird die Startgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges in 10 km/h Schritten erhöht und der Versuch wiederholt. Kommt es aber zu einem Kontakt zwischen dem Ego- und Target-Fahrzeug, so wird die Startgeschwindigkeit erneut um 5 km/h gesenkt, um die höchste Geschwindigkeit bei der es noch zu keiner Kollision kommt zu ermitteln. [27]

Abbildung 2.17. zeigt den schematischen Versuchsaufbau des Thatchammanövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit". [27]

In Tabelle A.10 sind die Manövervariationen dieses Versuchs zusammengefasst.

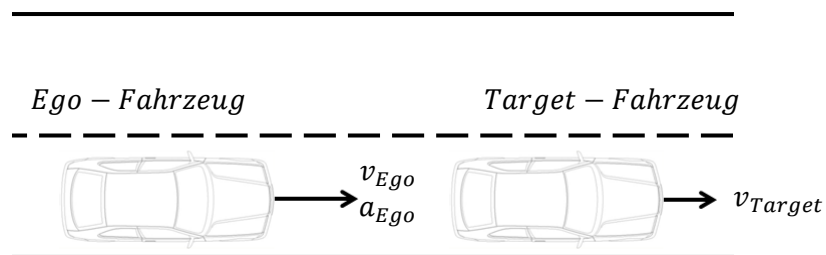


Abbildung 2.17: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [27]

2.5.2.1.3 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

Bei diesem Versuch fahren zu Beginn, sowohl das Ego-, als auch das Target-Fahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit vom 50km/h. [27]

Abbildung 2.18 zeigt den Versuchsaufbau des Thatchammanövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung".

Tabelle A.11 zeigt die Versuchsparameter für das hier beschriebene Manöver.

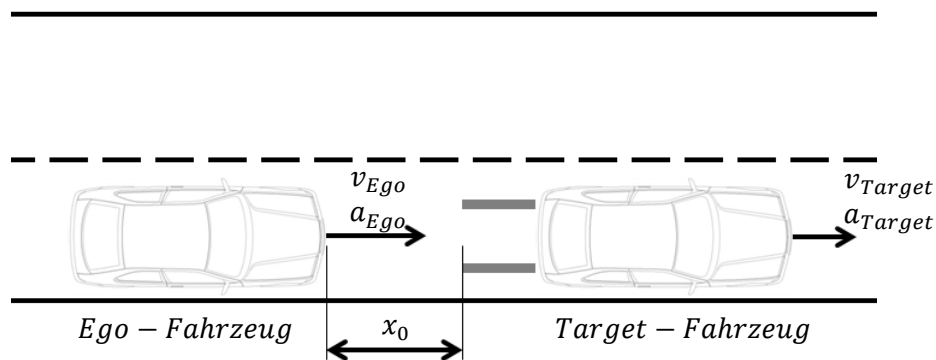


Abbildung 2.18: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [27]

2.5.2.2 Fußgängerschutz

Bei diesen Manövern sollen typische Unfallsituationen mit Fußgängern nachgestellt werden und die Erkennung, sowie das Verhalten des Notbremsassistentensystems auf Fußgänger untersucht werden. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen zu diesen Zweck entwickelten Manöver des Thatcham-Manöverkataloges beschrieben.

2.5.2.2.1 Ein gut sichtbarer Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend

Das Ego-Fahrzeug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} eine Straße entlang, als plötzlich ein gut sichtbarer Fußgänger die Straße von der Beifahrerseite aus betritt. (s. Abbildung 2.19) Dieses Manöver wird mit einer Geschwindigkeit v_{Ego} zwischen 10 und 60km/h durchgeführt. Kann das Notbremsassistentensystem eine Kollision mit dem Fußgänger verhindern, so wird für den nächsten Versuch die Geschwindigkeit um 10km/h erhöht. Kommt es allerdings zum Kontakt, wird die Fahrzeuggeschwindigkeit für den nächsten Versuch um 5km/h verringert, um die höchste Geschwindigkeit bei der es noch zu keiner Kollision kommt zu ermitteln. [27]

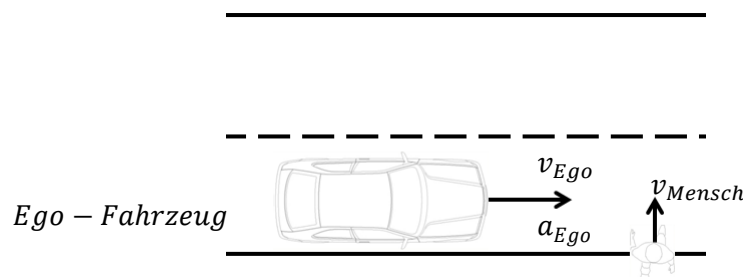


Abbildung 2.19: Thatchamversuchsaufbau "Ein gut sichtbarer Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend" [27]

2.5.2.2.2 Ein verdeckter Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend

Dieses Manöver soll eine Situation darstellen, in der ein Fußgänger von der auf der Beifahrerseite kommend, zum Beispiel durch ein geparktes Fahrzeug verdeckt, die Straße betritt. (s. Abbildung 2.20) Das Ego-Fahrzeug fährt dabei mit einer konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} zwischen 10 und 60km/h eine Straße entlang. Betritt der Fußgänger die Straße und kann der Notbremsassistent die Kollision verhindern, wird dieses Manöver mit einer um 10km/h erhöhten Fahrzeuggeschwindigkeit wiederholt. Kann das Assistenzsystem den Aufprall nicht verhindern, so ist dieser Versuch mit einer um 5km/h reduzierten Geschwindigkeit zu wiederholen. [27]

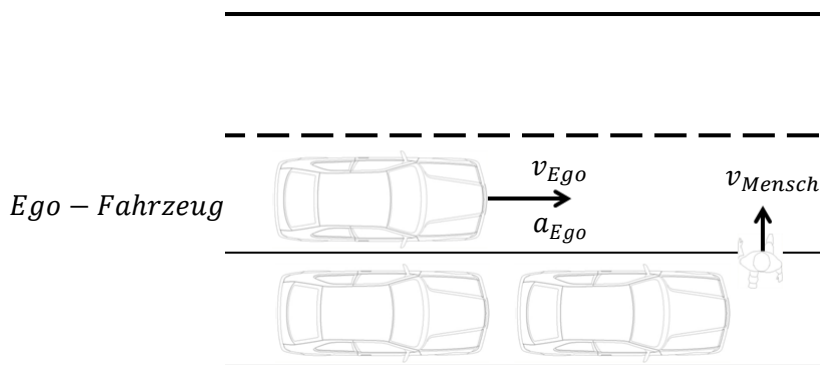


Abbildung 2.20: Thatchamversuchsaufbau "Ein verdeckter Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend" [27]

2.5.2.2.3 Ein gut sichtbarer Fußgänger läuft von der Fahrerseite kommend über die Straße.

Dieses Szenario beschreibt einen von der Fahrerseite kommenden, über die Straße laufenden Fußgänger, während das Ego-Fahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} die Straße entlang fährt. (s. Abbildung 2.21) Dabei wird die Fahrzeuggeschwindigkeit solange zwischen 40 und 60km/h in 10km/h Schritten variiert, solange es zu keiner Kollision mit dem Fußgänger kommt. Kann von dem Notbremsassistenzsysteme ein Kontakt mit dem Fußgänger nicht mehr verhindert werden, wird der Versuch mit einer um 5km/h verringerten Fahrzeuggeschwindigkeit durchgeführt, um die höchste Geschwindigkeit bei der ein Unfall vermieden werden kann zu ermitteln. [27]

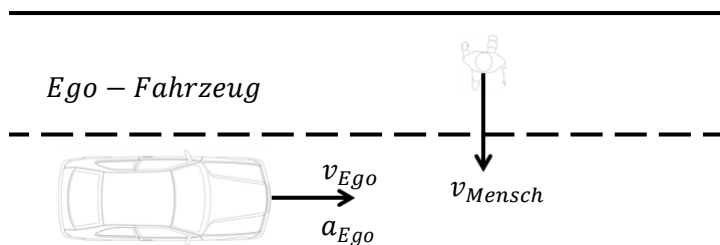


Abbildung 2.21: Thatchamversuchsaufbau "Von der Fahrerseite kommender über die Straße laufender Fußgänger" [27]

2.5.3 Euro - NCAP

Wie in Kapitel 2.4 bereits erläutert, werden ab dem Jahr 2014 in den beiden Kategorien: "Insassenschutz" und "Aktive Sicherheit" die Notbremsassistenzsysteme in die Beurteilung des Euro-NCAP Tests aufgenommen werden. Hierfür wurden Anfang 2013 die Manöverdefinitionen für den "AEB-City" in der Klasse "Insassenschutz", sowie "AEB Inter Urban" für die Gruppe "Aktive Sicherheit" veröffentlicht.

2.5.3.1 "AEB-City"

Das AEB-City-Manöver stellt ein wie in Abbildung 2.11 dargestelltes Manöver "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" dar und wird mit üblichen innerstädtischen Geschwindigkeiten durchgeführt. [28]

Tabelle A.12 gibt die Manövervariationen des Euro-NCAP-Manövers "AEB-City" wieder.

Kriterien für die Bewertung:

Um in der Rubrik "AEB-City" punkten zu können, werden mindestens 1,5 der möglichen 2 Punkte in der Peitschenschlagbeurteilung benötigt, zusätzlich muss eine Kollision zwischen Ego- und Target-Fahrzeug bis zu einer Geschwindigkeit $v_{Ego} = 20km/h$ vermieden werden. [28]

Bewertung der Benutzerschnittstelle:

Für die Benutzerschnittstelle (HMI) können 2 Punkte erreicht werden, wenn sichergestellt ist, dass beim Start des Fahrzeugs das AEBS standardmäßig aktiviert ist, und der Fahrer die Möglichkeit hat dieses System manuell zu deaktivieren. Das Aktivieren bzw. Deaktivieren des Systems darf dabei nicht mit einem einfachen Tastendruck geschehen.

Die erreichten Punkte für die Benutzerschnittstelle werden ins Verhältnis zur Gesamtpunktezahl gestellt, und als prozentueller Wert der Gesamtpunktezahl angegeben.

Bewertung des AEBS:

Für Geschwindigkeiten $v_{Ego} > 20km/h$ werden Reduktionen der Unfallschwere mit höheren Punktezahlen belohnt. Die Berechnung der Punkte bei Reduktion der Unfallschwere (P_{Us}) erfolgt mittels Gleichung (2.2): [28]

$$P_{Us} = P_{Uv} * (v_{Ego} - v_l) / v_{Ego} \quad (2.2)$$

In dieser Formel sind die Punkte für die Unfallvermeidung (P_{Uv}) der zweiten Spalte der Tabelle A.12 zu entnehmen. v_{Ego} steht in dieser Formel wieder für die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges und v_l für die Relativgeschwindigkeit der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Kollision. Aus Gleichung (2.2) geht hervor, dass bei einer Kollision mit geringerer Relativgeschwindigkeit eine höhere Punktezahl erreicht werden kann und damit im Falle

einer Unfallvermeidung automatisch die Maximalpunktezah laut Tabelle A.12 Spalte 6 vergeben wird. [28]

Wie aus Tabelle A.12 zu entnehmen ist, können in Summe maximal 14 Punkte erreicht werden. Aus der erreichten Gesamtpunktezah (AEB_G) die sich aus der Summe aller P_{Us} in der Kategorie AEB-City zusammensetzt wird in weiterer Folge ein normalisierter, prozentueller Gesamtwert (AEB_n) nach Gleichung (2.3) berechnet. die Gesamtbewertung des AEB-City kann schlussendlich unter Verwendung von Gleichung (2.4) errechnet werden, was einer Skalierung der erreichten Punktezahlen auf eine Maximalpunktezah von 3 Punkten entspricht. [28]

$$AEB_n = \frac{\sum AEB_G}{14} * 100\% \quad (2.3)$$

$$AEB_{Total} = (AEB_n * 2,5) + (HMI * 0,5) \quad (2.4)$$

2.5.3.2 "AEB Inter-Urban"

Die ebenfalls 2014 einzuführenden Manöver des "AEB Inter-Urban" teilen sich in die folgenden 3 Manöver auf: [59]

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug (s. Abbildung 2.11)
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit (s. Abbildung 2.8)
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung (s. Abbildung 2.9)

Kriterien für die Bewertung:

Um in der Kategorie "AEB Inter-Urban" punkten zu können, müssen AEBS und/oder das FCW-System bis zu Geschwindigkeiten von mindestens 80 km/h arbeiten.

Bewertung der Benutzerschnittstelle:

Um in dieser Unterkategorie punkten zu können, müssen AEBS und/oder das FCW-System beim Start des Fahrzeugs standardmäßig eingeschaltet sein, und die Warnung des FCW-Systems laut und deutlich hörbar sein.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so können 2 Punkte für die Möglichkeit des Aktivierens und Deaktivierens der AEB- und FCW-Systeme erhalten werden. Dabei darf das Aktivieren und Deaktivieren nicht über einen einfachen Tastendruck geschehen. Sollte das FCW-System außer einem akustischen und visuellen Warnsignal noch über weitere Signale, wie beispielsweise einen Bremsruck oder einem Ruck am Sicherheitsgurt verfügen, so kann ein weiterer Punkt erhalten werden. Wird ein bevorstehender Crash erkannt, und der Sicherheitsgurt festgezogen, so kann ein weiterer Punkt erreicht werden.

Bewertung des AEBS:

Die Bewertungspunkte für das AEBS und FCW-System werden auch für das "AEB Inter-Urban" mittels Gleichung (2.2) errechnet.

Tabelle A.13 gibt die Manövervariationen des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug", inklusive der erreichbaren Punktzahl bei Unfallvermeidung an. [59]

In Tabelle A.14 sind die Manövervariationen des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" zusammengefasst sowie die dabei erreichbaren Punktezahlen für Kollisionswarnung und Vermeidung angeführt. [59]

Tabelle A.15 zeigt die Manövervariationen des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" in Kombination mit den erreichbaren Punkten bei korrekter Kollisionswarnung und Vermeidung. [59]

Sind sowohl AEBS und FCW-Systeme verbaut, so werden diese wie oben beschrieben berechnet und ergeben getrennte Bewertungen für AEBS und FCW-Systeme. Dafür werden wieder die erreichten Punkte jedes einzelnen Manövers aufsummiert, mit der erreichbaren Maximalpunktzahl verglichen, und jeweils ein prozentueller Wert angegeben.

Für Systeme die über keine FCW-Funktion verfügen, werden die Ergebnisse aller Versuchsgeschwindigkeiten die die Versuche für AEBS und FCW-Systeme abdecken, zur Berechnung normalisierter Punkte für jedes einzelne Szenario verwendet. In den Geschwindigkeitsbereichen, wo sich AEBS und FCW-Systeme überlappen, werden die Testergebnisse des AEBS für das FCW-System übernommen. Danach wird wieder für beide Systeme getrennt der prozentuelle Wert der Beurteilung errechnet.

Für die Berechnung der Gesamtbewertung AEB_{Total} werden die Mittelwerte für die AEBS (AEB_n) und FCW-Systeme FCW_n über alle Szenarien berechnet, und in Gleichung (2.5) eingesetzt.

$$AEB_{Total} = (AEB_n * 1,5) + (FCW_n * 1,0) + (HMI * 0,5) \quad (2.5)$$

Die bei diesen Manövern auf maximal 3 Punkte skalierten Ergebnisse, bildet einen Teil der Punkte der Kategorie "Aktive Sicherheit", wie in Kapitel 2.4 beschrieben. [59]

2.5.4 ASSESS

Assess war ein am 1 Juli 2009 gestartetes, auf 42 Monate anberaumtes, von der EU gefördertes Projekt. Dieses Projekt verfügte über ein Gesamtbudget von rund 5,4 Millionen Euro und bestand aus den folgenden 15 Projektpartnern: [29]

- Technische Universität Graz
- Humanetics GmbH
- Bundesanstalt für Straßenwesen (bast)
- Bosch
- Ceesar
- Chalmers university of technology
- Daimler
- Applus+IDIADA
- PSA
- TNO
- Toyota
- Transport Research Lab.
- TRW
- Uniresearch BV
- UOC - University of Cologne

Assess mobilisiert die europäische Forschungslandschaft, sowie die Automobilindustrie neue Test- und Bewertungsverfahren für eine breite Palette von integrierten Fahrzeugsicherheitssystemen zu entwickeln. Aus dem gewonnenen Know-How wurden Vorschläge für Prüf- und Bewertungsverfahren auf Grundlage der am Markt zu Verfügung stehenden Systeme entwickelt. Ziel dieses Projektes war es die Einführung neuer Technologien in die Fahrzeuge voranzutreiben, um die Anzahl der tödlichen Verkehrsunfälle bzw. der verletzten Fahrzeuginsassen weiter zu reduzieren. Da die Sicherheit ein wichtiges Verkaufsargument ist, soll mit Hilfe dieses Projektes auch die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie gestärkt werden. [29]

Nach einer Analyse mehrerer Unfalldatenbanken wurden die 4 folgenden Unfallkategorien eingeführt: [30]

- Unfälle mit Heckaufprall
- Unfälle im Kreuzungsbereich
- Unfälle mit Gegenverkehr
- Unfälle mit Einschermanöver

2.5.4.1 Unfälle mit Heckaufprall

Auch in diesem Projekt werden die Unfälle mit Heckaufprall in die bereits bekannten 3 Untergruppen

- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung
- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug

eingeteilt. [31]

Im Unterschied zu den, bis zu diesem Zeitpunkt besprochenen, Projekten wird in den folgenden Manövern auch die Reaktionszeit des Fahrers berücksichtigt und in die 3 anschließend aufgezählten Kategorien eingeteilt: [31]

- keine Reaktion
- langsame Reaktion
- schnelle Reaktion

Unter "langsamer Reaktion" versteht man nach: [32] "Appendix A, 10.7.2 Driver reaction" eine Bremsaktion des Fahrers, 1,9 Sekunden nach Beginn der Kollisionswarnung. Als "schnelle Reaktion" wurde unter Punkt 10.7.2.2 des selben Dokuments eine Bremsenbetätigung nach 1,2 Sekunden nach Beginn der Kollisionswarnung definiert. Unter "keine Reaktion" wird das Ausbleiben jeglicher Bremsenbetätigung, bzw. Lenkarbeit des Fahrers verstanden [31]

2.5.4.1.1 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit

Dieses in Abbildung 2.8 dargestellte Manöver wird in einen städtischen und einen Autobahnbereich aufgeteilt. Im Unterschied zu den bis jetzt besprochenen Projekten wird das Manöver, das einer innerstädtischen Situation nachempfunden ist, mit einer seitlichen Fahrzeugüberdeckung von 100% und 50% durchgeführt. [31]

Tabelle A.16 zeigt die Manöverparameter des Assess-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [31]

2.5.4.1.2 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

Auch dieses in Abbildung 2.9 dargestellte Manöver wird wieder in einen innerstädtischen und einen Autobahnbereich unterteilt. [31]

Tabelle A.17 zeigt die Manövervariationen des Assess-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [31]

2.5.4.1.3 Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug

In Abbildung 2.11 wird diese Manöver graphisch dargestellt, der Tabelle A.18 sind die Manövervariationen des Assess-manövers "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" zu entnehmen [31].

2.5.4.2 Unfälle im Kreuzungsbereich

Die Unfälle im Kreuzungsbereich werden in die beiden Unterkategorien:

- Kreuzung mit freier Sicht
- Kreuzung mit verdeckter Sicht

unterteilt. [31]

2.5.4.2.1 Kreuzung mit freier Sicht

Abbildung 2.22 zeigt eine Kreuzungssituation mit einem sich unter einem Winkel von 90 Grad zum Ego-Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit $v_{Target} = 10km/h$ bewegendem Target-Fahrzeug. Das Ego-Fahrzeug bewegt sich dabei ebenfalls konstanten Geschwindigkeit $v_{Ego} = 50km/h$. [31]

Bei diesem Manöver hat der Fahrer des Ego-Fahrzeuges freie Sicht auf das Target-Fahrzeug. Sollte der Fahrer des Ego-Fahrzeuges keinerlei Reaktion zeigen, so soll der Abstand des Target-Fahrzeuges zu Beginn des Versuchs so gewählt werden, dass es zu einem Seitenaufprall laut Euro-NCAP-Versuch kommt. [31]

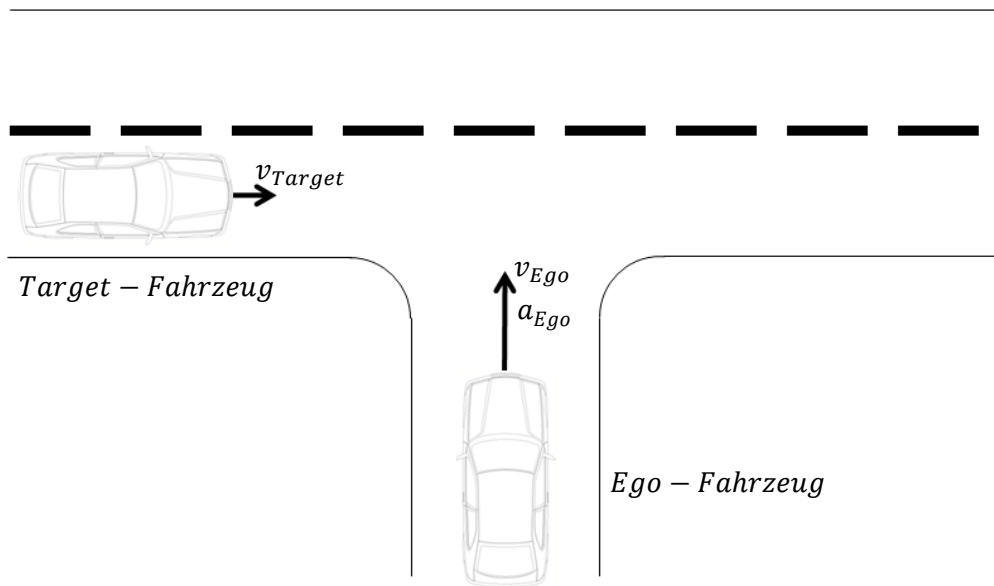


Abbildung 2.22: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Kreuzung mit freier Sicht" [31]

Tabelle A.19 zeigt die Manövervariationen für den in diesem Kapitel beschriebenen Versuch.

2.5.4.2.2 Kreuzung mit verdeckter Sicht

Abbildung 2.23 zeigt den Kreuzungsbereich mit einer Sichtbehinderung zwischen Ego- und Target-Fahrzeug. Bei diesem Versuch bewegen sich die beiden Fahrzeuge ebenfalls unter einem Winkel von 90 Grad. Das Ego-Fahrzeug bewegt sich erneut mit einer konstanten Geschwindigkeit $v_{Ego} = 50\text{km/h}$ und das Target-Fahrzeug mit $v_{Target} = 10\text{km/h}$. Der Unterschied zu dem Versuch aus dem vorangegangenen Kapitel ist die Sichtbehinderung zwischen Ego- und Target-Fahrzeug, welche sich jeweils in einem Abstand zur Mittellinie des Fahrzeuges von 3,5 Metern zu befinden hat. Der Startabstand des Target-Fahrzeuges muss für diesen Versuch so gewählt werden, damit sich für den Fall, dass der Fahrer des Ego-Fahrzeuges keine Reaktion zeigt, eine, wie durch den Euro-NCAP-Seitenaufprall definierte, Kollision ergibt. [31]

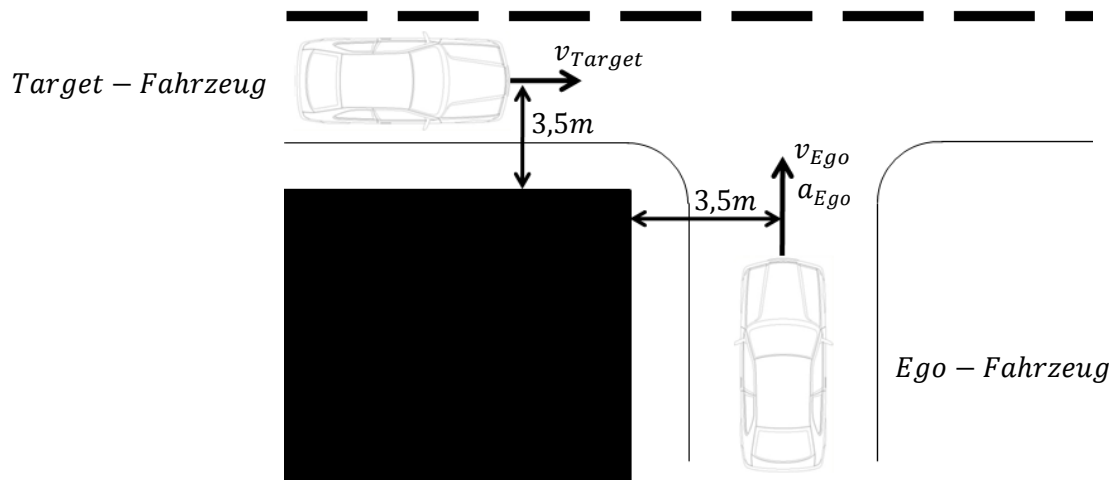


Abbildung 2.23: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Kreuzung mit verdeckter Sicht" [31]

Tabelle A.20 fasst die Manövertypen für den in diesem Kapitel beschriebenen Versuch zusammen.

2.5.4.3 Unfälle mit Gegenverkehr

Diese Kategorie wird in die 2 Geschwindigkeitsbereiche 40km/h und 64km/h aufgeteilt. Die beiden Fahrzeuge nähern sich mit einer seitlichen Überdeckung von 50% und konstanten Geschwindigkeiten von jeweils 40 bzw. 64km/h. Ob, bzw. ab wann auch das Target-Fahrzeug mit einer Bremsung beginnt ist in [31] noch nicht definiert. Der Anfangsabstand für dieses Manöver muss größer als 67 bzw. 107 Meter gewählt werden. [31]

In Abbildung 2.24 sind die beiden mit einer seitlichen Überdeckung von 50% aufeinander zufahrenden Fahrzeuge dargestellt.

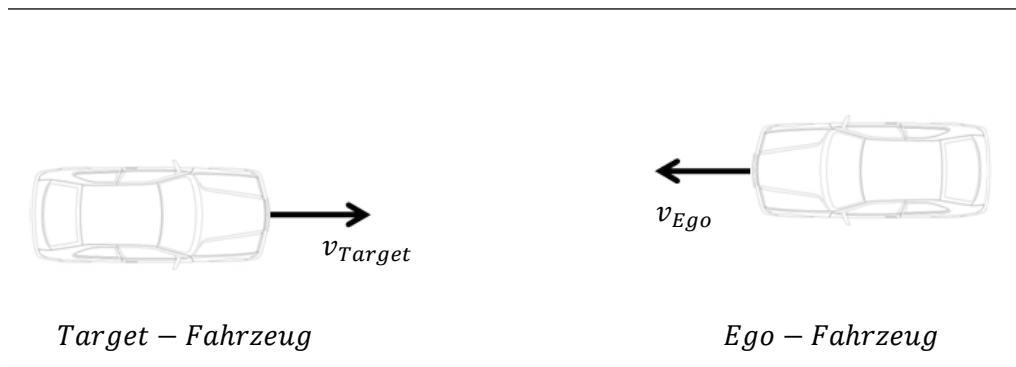


Abbildung 2.24: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Unfall mit Gegenverkehr" [31]

Tabelle A.21 zeigt die Zusammenfassung der Manöverparameter dieses Versuches.

2.5.4.4 Unfall mit Einschermanöver

Die in diesem Kapitel beschriebenen Manöver lassen sich in die beiden Gruppen

- Einscheren des Gegenverkehrs
- Einscheren durch Spurwechsel

unterteilen. [31]

2.5.4.4.1 Einscheren des Gegenverkehrs

Die beiden folgenden Manöver stellen eine Kreuzungssituation wie sie in Abbildung 2.25 dargestellt ist dar, in der das Target-Fahrzeug noch vor dem entgegenkommenden Ego-Fahrzeug, dessen Fahrspur kreuzend, abbiegen will. [31]

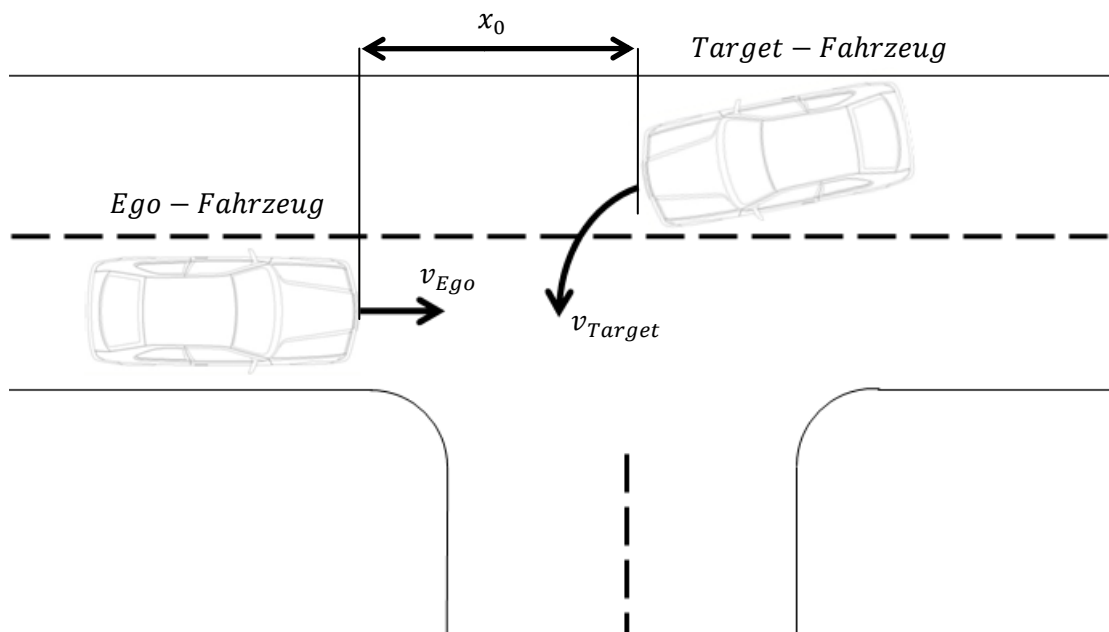


Abbildung 2.25: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Einscheren des Gegenverkehrs" [31]

Tabelle A.22 gibt die Manövervariationen für das hier besprochene Manöver wieder.

2.5.4.4.2 Einscheren durch Spurwechsel

Dieses Manöver soll eine Stausituation auf der Autobahn nachstellen, bei der das langsamere Target-Fahrzeug vor dem von hinten herankommenden Ego-Fahrzeug auf den selben Fahrstreifen des Ego-Fahrzeuges wechselt. Diese Situation wird in Abbildung 2.26 dargestellt. Die erlaubte Zeit für den Spurwechsel des Target-Fahrzeuges wird dabei in zwei Schritten variiert. Der Startabstand ist so zu wählen, dass sich je nach Manöver eine TTC von einer bzw. drei Sekunden bis zur erwarteten Kollision bei 100%iger Überdeckung der Fahrzeuge ergibt. [31]

Tabelle A.23 zeigt die Manövervariationen für diesen Versuch.

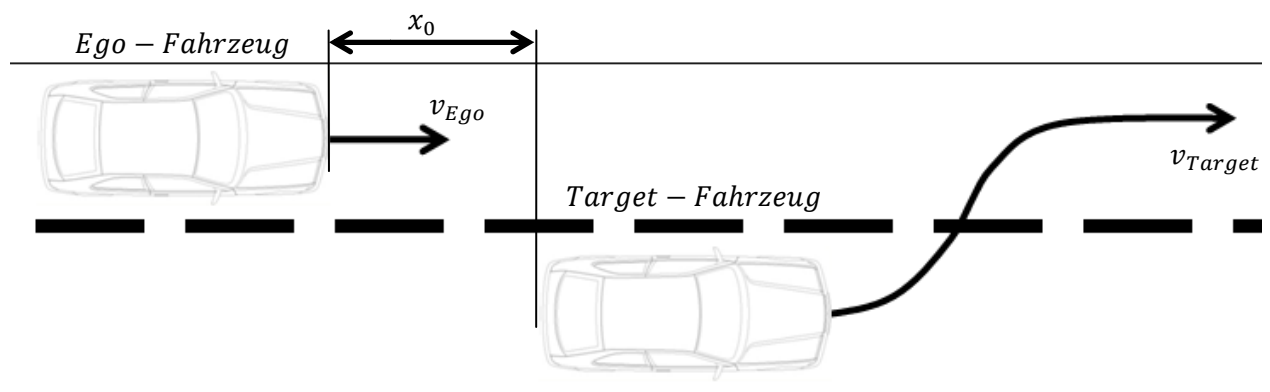


Abbildung 2.26: Assess-Manöver "Einscheren durch Spurwechsel" [31]

2.5.5 eVALUE

Von Jänner 2008 bis Dezember 2010 lief von der Europäischen Gemeinschaft geförderte "Seventh Framework Programme" mit der Bezeichnung "eValue". Das Ziel dieses Projektes war es, Test- und Bewertungsmethoden für aktive Sicherheitsfunktionen zu entwickeln, welche auf alltäglichen Situationen des Straßenverkehrs basieren. [33]

Dieses Projekt wurde mit den folgenden Projektpartnern durchgeführt: [34]

- IKA (Institut für Kraftfahrzeuge
RWTH Aachen University
- SP Technical Research Institute of
Sweden
- Volvo Technology Corporation
- vti Statens Väg- och
Transportforskningsinstitut
- IDIADA Automotive Technology
- Fundación Robotiker
- SICK AG
- Centro Ricerche FIAT S.C.p.A

Im Laufe des Projektes wurden 3 sogenannte Cluster definiert: [33]

- Cluster 1 (longitudinal)
Themen: ACC, FCW, CMbB
- Cluster 2 (lateral)
Themen: BSD, LDW, LKA
- Cluster 3 (stability)
Themen: ABS, ESC

Für diese Diplomarbeit ist folglich nur Cluster 1 relevant, da sich nur dieses Cluster mit dem Thema dieser Diplomarbeit deckt.

Im Weiteren werden die in Cluster 1 definierten Manöver beschrieben.

2.5.5.1 Auffahren auf ein Fahrzeug von hinten

Auch in diesem Projekt wurden wieder die aus den vorangegangenen Kapiteln bekannten 3 Szenarien definiert: [35]

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

Anders als bei den bereits besprochenen Projekten, werden die in "eValue" definierten Manöver nicht nur auf einer geraden Strecke durchgeführt, sondern zusätzlich auch noch auf einer Kreisbahn mit einem Kurvenradius von 250m. Die folgenden Manöver sind zusätzlich mit 3 verschiedenen Reaktionen des Fahrers des Ego-Fahrzeuges durchzuführen. In "Deliverable D3.2" werden die folgenden Fahrerreaktionen genauer beschrieben [35]:

- passiver Fahrer
- starkes Bremsen
- schwaches Bremsen.

Der passive Fahrer soll dabei keinerlei Reaktion während des Versuchs zeigen, während der stark bremsende Fahrer nach einer Reaktionszeit von 1 Sekunde eine Pedalkraft von 700N in einer Zeitspanne von 0,2 Sekunden aufbaut, und anschließend auch hält. Der schwach bremsende Fahrer des Ego-Fahrzeuges, baut nach einer Reaktionszeit von 1,5 Sekunden eine Pedalkraft von 350N innerhalb von 0,4 Sekunden auf, und hält diese Kraft bis zum Stillstand. [35]

2.5.5.1.1 Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug

Dieser Versuch wurde bereits in Abbildung 2.11 skizziert, Tabelle A.24 fasst die Manövriervariationen des eValue-Manövers wie in "Deliverable D3.2" definiert zusammen. [35]

2.5.5.1.2 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit

Dieses Manöver ist in Abbildung 2.8 graphisch dargestellt und Tabelle A.25 sind die Variationen dieses Manövers laut "Deliverable D3.2" zu entnehmen. [35]

2.5.5.1.3 Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

Dieses Manöver ist in Abbildung 2.9 grafisch dargestellt, und die Variationen dieses Manövers, laut "Deliverable D3.2" in Tabelle A.26 zusammengefasst. [35]

2.5.5.2 Unfälle im Kreuzungsbereich

In der Kategorie "Unfälle im Kreuzungsbereich" wird unterschieden in Unfälle mit einem anderen Fahrzeug oder Unfälle mit einem Fußgänger. [35]

2.5.5.2.1 Unfall mit einem anderen Fahrzeug im Kreuzungsbereich

Es wird, wie in Abbildung 2.27 dargestellt, eine innerstädtische Kreuzungssituation mit zwei Fahrzeugen unter einem Winkel von 90 Grad zueinander nachgestellt. Sowohl das Ego- als auch das Target-Fahrzeug bewegen sich bei diesem Versuch jeweils mit den konstanten Geschwindigkeiten v_{Ego} und v_{Target} . Auch diese Versuche sind wie bereits im vorangegangenen Kapitel, mit den unterschiedlichen Fahrerreaktionen des Ego-Fahrzeuges zu wiederholen. Tabelle A.27 gibt die Manövertypen dieses Versuches wieder. [35]

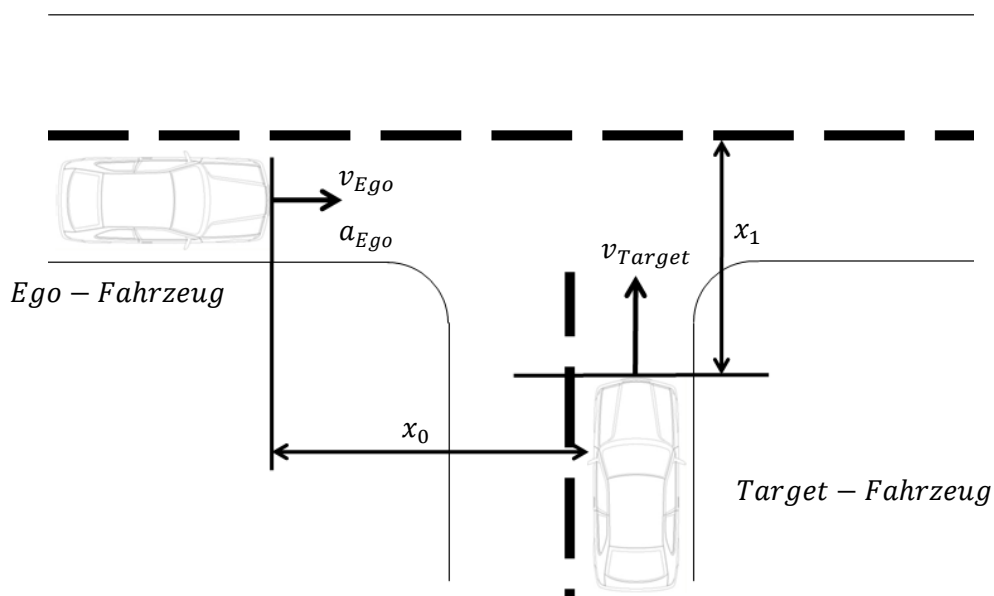


Abbildung 2.27: Versuchsaufbau eValue-Manöver "Unfall mit einem anderen Fahrzeug im Kreuzungsbereich" [35]

2.5.5.2.2 Unfall mit einem Fußgänger im Kreuzungsbereich

Bei diesem Manöver wird das Betreten der Straße durch einen von der Beifahrerseite kommenden Fußgänger simuliert. Abbildung 2.28 zeigt eine grafische Darstellung dieses Versuchs, während Tabelle A.28 die Variationen für die Durchführung wiedergibt. [35]

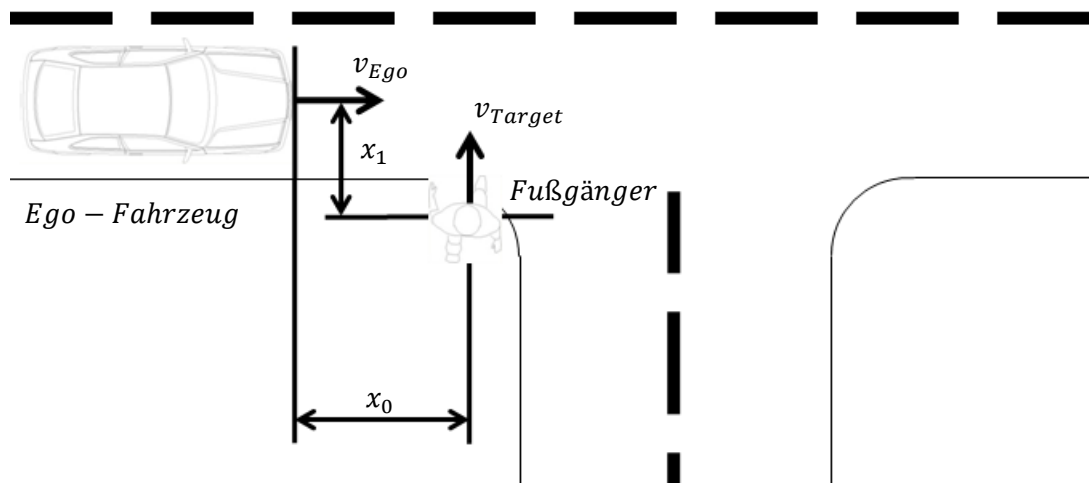


Abbildung 2.28: Versuchsaufbau eValue "Unfall mit einem Fußgänger im Kreuzungsbereich" [35]

2.5.6 US NCAP

Die in dieser Diplomarbeit entwickelte Versuchsvorrichtung ist zwar primär für den europäischen Markt bestimmt, der Vollständigkeit halber sollen aber auch die im US NCAP definierten Versuche angegeben werden.

Auch im US NCAP werden die bereits bekannten Manöver:

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit

beschrieben.

2.5.6.1 Auffahren auf ein Stehendes Fahrzeug

Eine graphische Darstellung dieses Manövers ist in Abbildung 2.11 zu finden.

Wie auch schon in den vorangegangenen Kapiteln nähert sich das Ego-Fahrzeug wieder einem auf dem selben Fahrstreifen stehenden Target-Fahrzeug von hinten mit einer konstanten Geschwindigkeit v_{Ego} . [36]

Die für das Ego-Fahrzeug vorgeschriebene Geschwindigkeit beträgt 72,4km/h und muss bereits bei einem Startabstand für dieses Manöver von $x_0 = 150m$ erreicht sein. [36]

Dieses Manöver wird bis zu maximal 7 mal mit dem Ziel einer Kollisionswarnung bei einer TTC von spätestens 2,1 Sekunden wiederholt. Für ein Bestehen dieses Tests sind 5 erfolgreiche Versuche notwendig, wobei zwei aufeinander folgende Versuche nicht negativ ausfallen dürfen. Sollten bereits die ersten 5 Versuche alle positiv bewertet werden, kann auf die restlichen 2 Versuche verzichtet werden. [36]

Für einen gültigen Versuch sind die folgenden Kriterien zu erfüllen: [36]

- Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges darf nicht für länger als 3 Sekunden eine Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von 1,6km/h aufweisen.
- Der Fahrer des Ego-Fahrzeuges darf nicht bremsen bevor eine Kollisionswarnung ausgelöst wird, bzw. der Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug auf unter 90% des erlaubten Abstandes für eine Kollisionswarnung abfällt.
- Die laterale Abweichung der Fahrzeugmittellinien darf nicht mehr als 0,6 Meter betragen.
- Die Gierrate des Fahrzeuges darf einen Wert von ± 1 Grad/Sekunde nicht überschreiten.

2.5.6.2 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

Bei diesem Versuch fahren Ego- und Target-Fahrzeug auf dem selben Fahrstreifen in einem Abstand von 30 Metern mit der selben konstanten Geschwindigkeit von 72,4km/h. Wie in Abbildung 2.9 dargestellt, beginnt das Target-Fahrzeug plötzlich mit konstanter Verzögerung zu bremsen. [36]

Das Manöver beginnt cirka 7 Sekunden bevor der Fahrer des Target-Fahrzeuges die Bremse betätigt, um nach 1,5 Sekunden mit 0,3g zu verzögern. [36]

Der Notbremsassistent soll bei diesem Manöver spätestens bei einer TTC von 2,4 Sekunden eine Warnung ausgeben. [36]

Dieses Manöver wird bis zu maximal 7 mal mit dem Ziel einer Kollisionswarnung bei einer TTC von spätestens 2,4 Sekunden wiederholt. Für ein Bestehen dieses Tests sind 5 erfolgreiche Versuche notwendig, wobei nicht zwei aufeinander folgende Versuche negativ ausfallen dürfen. Sollten jedoch bereits die ersten 5 Versuche alle positiv bewertet werden, kann auf die restlichen 2 Versuche verzichtet werden. [36]

Bei diesem Versuch sind die folgenden Kriterien für einen gültigen Versuch zu erfüllen: [36]

- Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges darf innerhalb von 3 Sekunden bevor das Target-Fahrzeug mit der Verzögerung beginnt, eine Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von 1,6km/h nicht überschreiten.
- Die Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges darf innerhalb von 3 Sekunden bevor mit der Verzögerung begonnen wird eine Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von 1,6km/h nicht überschreiten.
- Der Fahrer des Ego-Fahrzeuges darf nicht bremsen bevor eine Kollisionswarnung ausgelöst wird, bzw. der Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug auf unter 90% des erlaubten Abstandes für eine Kollisionswarnung abfällt.
- Die laterale Abweichung der Fahrzeugmittellinien darf nicht mehr als 0,6 Meter betragen.
- Die Gierrate des Fahrzeuges darf einen Wert von ± 1 Grad/Sekunde nicht überschreiten.
- Zu dem Zeitpunkt an dem die Kollisionswarnung auftritt muss die Verzögerung des Target-Fahrzeuges auf $\pm 0,03g$ genau eingehalten werden. Ein zu Beginn der Verzögerung auftretendes Überschwingen der Verzögerung darf einen Wert von 0,375g für eine Dauer von 50ms nicht überschreiten. In einem Zeitraum vom 500ms nach dem Maximalwert des Überschwingers bis zum Auslösen der Kollisionswarnung darf eine Verzögerung von 0,33g nicht überschritten werden.
- Der Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug wird zu den zwei Zeitpunkten, drei Sekunden bevor das Target-Fahrzeug mit der Verzögerung beginnt und zu dem Zeitpunkt an dem die Verzögerung des Target-Fahrzeuges beginnt, gemessen und muss dabei innerhalb von $\pm 2,5$ Metern zum Sollabstand liegen.

2.5.6.3 Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit

Ziel dieses Versuches ist es spätestens bei einer TTC von 2 Sekunden eine Kollisionswarnung zu erhalten. [36]

Für diesen Versuch fahren Ego- und Target-Fahrzeug hintereinander auf der selben Fahrspur mit den konstanten Geschwindigkeiten $v_{Ego} = 72,4\text{km/h}$ und $v_{Target} = 32,2\text{km/h}$, dabei beginnt der Test bei einem Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug von 100 Metern. [36] (s. Abbildung 2.8)

Dieses Manöver wird bis zu maximal 7 mal mit dem Ziel einer Kollisionswarnung bei einer TTC von spätestens 2,0 Sekunden wiederholt. Für ein Bestehen dieses Tests sind 5 erfolgreiche Versuche notwendig, wobei nicht zwei aufeinander folgende Versuche negativ ausfallen dürfen. Sollten jedoch bereits die ersten 5 Versuche alle positiv bewertet werden, kann auf die restlichen 2 Versuche verzichtet werden. [36]

Bei diesem Versuch sind die folgenden Kriterien für einen gültigen Versuch zu erfüllen: [36]

- Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges darf innerhalb von 3 Sekunden bevor das Target-Fahrzeug mit der Verzögerung beginnt, eine Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von 1,6km/h nicht überschreiten.
- Die Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges darf innerhalb von 3 Sekunden bevor mit der Verzögerung begonnen wird eine Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von 1,6km/h nicht überschreiten.
- Der Fahrer des Ego-Fahrzeuges darf nicht bremsen bevor eine Kollisionswarnung ausgelöst wird, bzw. der Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug auf unter 90% des erlaubten Abstandes für eine Kollisionswarnung abfällt.
- Die laterale Abweichung der Fahrzeugmittellinien darf nicht mehr als 0,6 Meter betragen.
- Die Gierrate des Fahrzeuges darf einen Wert von ± 1 Grad/Sekunde nicht überschreiten.

2.5.7 EU-Verordnung 347

In diesem Kapitel werden die vorgeschriebenen Prüfungen der, in Kapitel 2.3.2.2, beschriebenen EU Verordnung erläutert.

Diese vorgeschriebenen Versuche werden in die folgenden Prüfungen unterteilt: [19]

- Warn- und Aktivierungsprüfungen mit unbeweglichem Ziel
- Warn- und Aktivierungsprüfungen mit beweglichem Ziel
- Störmeldungsprüfung
- Deaktivierungsprüfung
- Fehlreaktionsprüfung

2.5.7.1 Warn- und Aktivierungsprüfung mit unbeweglichem Ziel:

Dabei muss sich das EGO-Fahrzeug vor der Prüfung mindestens 2 Sekunden lange in einer Linie mit dem unbeweglichen Target-Fahrzeug bewegen, wobei das EGO-Fahrzeug nicht mehr als 0,5 Meter von der Mittellinie des Targets seitlich abweichen darf. [19]

Die Prüfung beginnt, wenn sich das EGO-Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 80 ± 2 km/h bewegt und einen Mindestabstand zum Target von 120m erreicht hat. [19]

Während der gesamten Prüfung darf der Fahrer die Geschwindigkeit nicht ändern, und nur leichte Lenkbewegungen, um ein seitliches Abweichen des EGO-Fahrzeuges zu verhindern, durchführen. [19]

Für Genehmigungsstufe 1 muss dabei zumindest eine haptische oder akustische Warnung, laut Tabelle 30 Spalte B, einsetzen. [19]

Für Genehmigungsstufe 2 muss ebenfalls zumindest eine haptische oder akustische Warnung, laut Tabelle 31 Spalte B, einsetzen. [19]

Während der Warnphase darf eine Geschwindigkeitsreduzierung von 15 km/h oder 30% der Geschwindigkeitsreduzierung des EGO-Fahrzeuges nicht überschritten werden, wobei der höhere Wert zu verwenden ist. Im Anschluss an die Warnphase muss die Notbremsphase, welche nicht vor einer TTC von 3,0 Sekunden eingeleitet werden darf, gestartet werden. [19]

In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die minimal zu erreichenden Geschwindigkeitsreduktionen für die Genehmigungsstufen 1 und 2 zum Zeitpunkt der Kollision definiert. [19]

**Genehmigungsstufe 1: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung — Werte für Bestehen/
Nichtbestehen**

A	B	C	D	E	F	G	H
Fahrzeugklasse	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel			
	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs	Zielgeschwindigkeit
	Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.4.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.4.2.2)		Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.5.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.5.2.2)		
M ₃ , N ₃ und N ₂ > 8 t (ausgestattet mit pneumatischen oder druckluft-hydraulischen Bremssystemen und mit Hinterachsaufhängungssystemen mit Luftfederung)	Spätestens 1,4 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Mindestens 10 km/h	Spätestens 1,4 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Prüffahrzeug darf nicht mit dem beweglichen Ziel zusammenstoßen	32 ± 2 km/h

Tabelle 2.2: Vorgegebene Zielwerte für das Bestehen/Nichtbestehen der Genehmigungsstufe 1 [19]

**Genehmigungsstufe 2: Anforderungen für die Warn- und Aktivierungsprüfung — Werte für Bestehen/
Nichtbestehen**

A	B	C	D	E	F	G	H
Fahrzeugklasse	Unbewegliches Ziel			Bewegliches Ziel			
	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs	Zeitpunkt der Warnmodi		Verringerung der Geschwindigkeit des Prüffahrzeugs	Zielgeschwindigkeit
	Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.4.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.4.2.2)		Mindestens 1, haptisch oder akustisch (s. Nummer 2.5.2.1)	Mindestens 2 (s. Nummer 2.5.2.2)		
M ₃ , N ₃ und N ₂ > 8 t ⁽¹⁾	Spätestens 1,4 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Mindestens 20 km/h	Spätestens 1,4 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Spätestens 0,8 Sekunden vor dem Beginn der Notbremsphase	Prüffahrzeug darf nicht mit dem beweglichen Ziel zusammenstoßen	12 ± 2 km/h
N ₂ ≤ 8 t und M ₂ ⁽²⁾	⁽³⁾	⁽³⁾	⁽³⁾	⁽³⁾	⁽³⁾	⁽³⁾	⁽³⁾

⁽¹⁾ Fahrzeuge der Klasse M₃ mit hydraulischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach Zeile 2.

⁽²⁾ Fahrzeuge mit pneumatischen Bremssystemen unterliegen den Anforderungen nach Zeile 1.

⁽³⁾ Die Werte sind gemäß Artikel 5 festzulegen.

Tabelle 2.3: Vorgegebenen Zielwerte für das Bestehen/Nichtbestehen der Genehmigungsstufe 2 [19]

2.5.7.2 Warn- und Aktivierungsprüfung mit beweglichem Ziel:

Die Randbedingungen für diese Prüfung sind Großteils analog zur Warn- und Aktivierungsprüfung mit unbeweglichem Ziel, mit Ausnahme der Geschwindigkeit des Targets und der Bedingung, dass es bei dieser Prüfung zu keiner Kollision zwischen EGO- und TARGET-Fahrzeug kommen darf. [19]

Tabellen 30 und 31, Spalten E bis H stellen die Bedingungen für die Prüfung mit beweglichem Ziel dar. [19]

2.5.7.3 Störmeldungsprüfung:

Bei der Störmeldeprüfung wird, z.B.: durch Abschaltung der Stromversorgung einer Komponente des Notbremsassistentensystems, eine elektrische Störung simuliert, wobei weder die elektrischen Verbindungen für das an den Fahrer gerichtete Warnsignal, noch die optionale, manuelle, Deaktivierungssteuerung abgeschaltet werden dürfen. [19]

Die vorgeschriebene Funktionsweise des Störwarnungssignals ist in Anhang 2, Absatz 2.6.2 der hier besprochenen Verordnung genau beschrieben:

"Das Störungswarnsignal nach Nummer 1.5.4 muss aktiviert werden und höchstens 10 Sekunden, nachdem das Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von mehr als 15 km/h gefahren worden ist, aktiviert bleiben und unmittelbar nach einem anschließenden Ausschalten und Einschalten der Zündung reaktiviert werden, wobei das Fahrzeug steht, solange die simulierte Störung existiert." [19]

2.5.7.4 Deaktivierungsprüfung:

Ist das Notbremsassistentensystem deaktivierbar, so ist der Zündschalter auf die "ein" Position zu stellen und das AEBS zu deaktivieren, wobei das Warnsignal zeitgleich aktiviert werden muss. Wird daraufhin der Zündschalter auf die "aus" Position und daraufhin gleich wieder in die "ein" Position gebracht, so darf die Warnleuchte nicht aktiviert werden, um sicherzustellen, dass das Notbremsassistentensystem wieder aktiviert worden ist. Sollte die Zündung mittels eines Schlüssels aktiviert werden, so darf der Schlüssel während diesen Tests nicht entfernt werden. [19]

2.5.7.5 Fehlreaktionsprüfung:

Für diese Prüfung werden zwei Fahrzeuge der Klasse M1, wie in Abbildung 2.29 gezeigt, aufgestellt und das EGO-Fahrzeug fährt auf einer Strecke von mindestens 60 Metern mit einer konstanten Geschwindigkeit 50 ± 2 km/h, in der Mitte zwischen den beiden Fahrzeugen hindurch.

Dabei darf es zu keiner Kollisionswarnung kommen und keine Notbremsphase eingeleitet werden. [19]

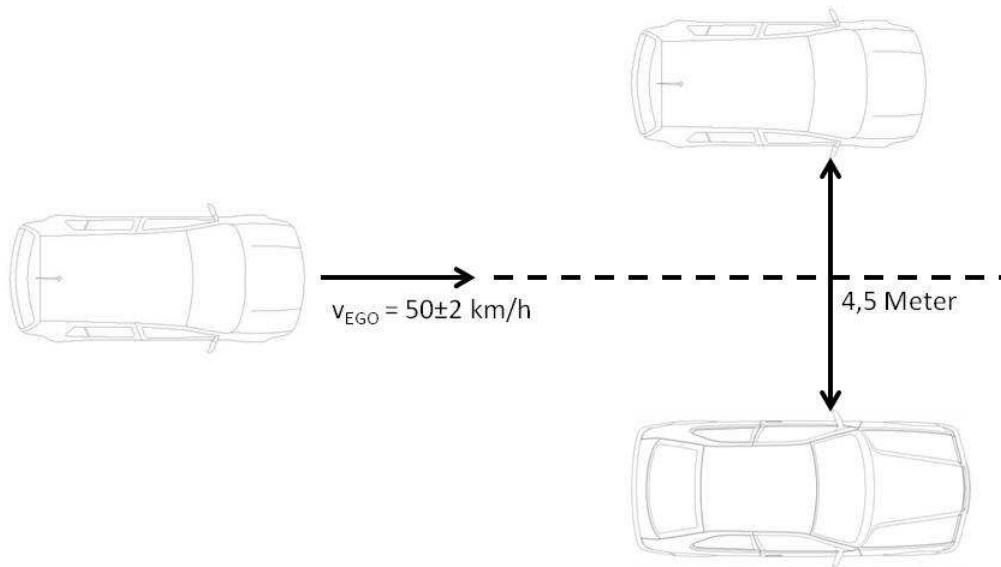


Abbildung 2.29: Versuchsaufbau EU-Verordnung 347 "Fehlreaktionsprüfung" [19]

2.6 Am Markt vorhandene Versuchsanlagen

In der Vergangenheit haben sich bereits weltweit eine Reihe von Projekten und Organisationen mit der Entwicklung und Erprobung von Notbremsassistenzsystemen beschäftigt. Zur Umsetzung der in Kapitel 2.5 beschriebenen Versuche, wobei die Sicherheit für Fahrer und Fahrzeug sichergestellt werden muss, wurden bereits eine Reihe von Fahrzeugattrappen, die sogenannten Targets entwickelt.

Diese Targets können dabei grob in die drei Gruppen:

- stationäres Target
- fremdbewegtes Target
- selbstfahrendes Target

eingeteilt werden.

Ziel dieses Kapitels ist es einen Überblick über die bestehenden Versuchseinrichtungen zu geben.

2.6.1 ADAC

Das Target des ADAC ist ein modular aufgebautes 3 dimensionales, für den Einsatz stationärer, sowie bewegter Manöver geeignetes, weiches Ziel, welches bis Ende 2012 durch den ADAC vertrieben wurde, ab Jänner 2013 jedoch durch die Firma Messring in Lizenz hergestellt und vertrieben wird.

Unter einer standardisierten Plane, welche, wie in Abbildung 2.30 gezeigt das Heck eines Fahrzeuges mit Nummernschild, Lichtreflektoren, einem angedeutetem Fenster, sowie durch mattes Leder simulierten Fahrzeugschatten darstellt, steckt ein aufblasbares Ballooncar. Um ebenfalls den 3 dimensional Charakter eines Fahrzeuges darstellen zu können, wurde zwischen der äußeren Plane und dem Ballooncar auf der, dem Versuchsfahrzeug zugewandten Seite aus Schaumstoff, eine sogenannte "Stoßstange" montiert, die über Reflektionsfolien und einen Radarreflektor verfügt. [37]

Sollen stationäre Manöver untersucht werden, so wird das Ballooncar mit montierter "Stoßstange" und Plane, wie in Abbildung 2.32 dargestellt, auf einen Standschlitten gestellt, der im Falle einer Kollision in Fahrtrichtung des Ego-Fahrzeuges weggeschoben wird. [37]

Für alle bewegten Manöver wird das Target auf ein Schlittensystem, wie in Abbildung 2.33 a.) und b.) dargestellt, befestigt. Sollte es hierbei zu einer Kollision kommen, so muss erst die Haltekraft zweier Haltemagneten des Schlittens überwunden werden, damit danach das auf dem Schlitten montierte Target, geführt durch ein Schienensystem, in Fahrtrichtung weggeschoben werden kann. [37]

Auf Grund des hier beschriebenen Aufbaus der Versuchseinrichtung des ADAC, können damit nur Heckaufprallsituationen mit einer 100%igen Überdeckung der beiden Fahrzeuge dargestellt werden.

In Tabelle 24 sind technische sowie wirtschaftliche Daten des ADAC-Target zusammengefasst.

	Stationäre Manöver	Bewegte Manöver
Gesamtgewicht	74kg	126kg
Gewicht der Fahrzeugattrappe	44kg	44kg
Maximal erlaubte Differenzgeschwindigkeit bei Kollision	50km/h	50km/h
Maximale Verzögerung	-	6 m/s ²
Maximale Zuggeschwindigkeit	-	80km/h
Gesamtlänge	~1m	21,4m
Wenderadius	-	< 75m
Anschaffungskosten bis Ende Dezember 2012	~40000€	

Tabelle 2.4: Daten des ADAC-Targets

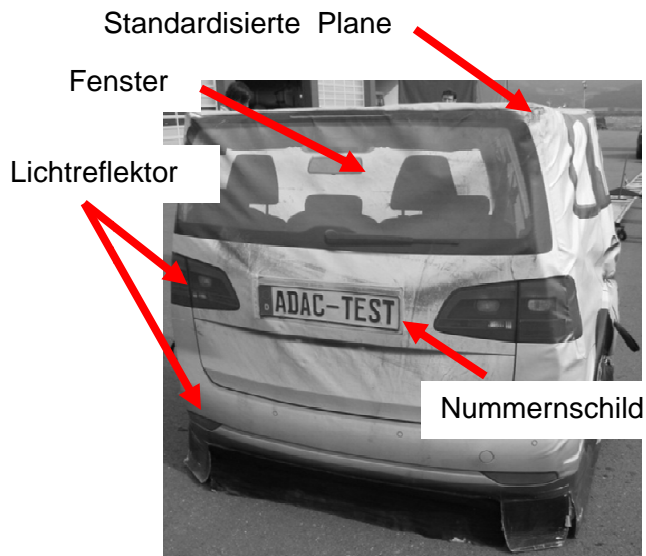


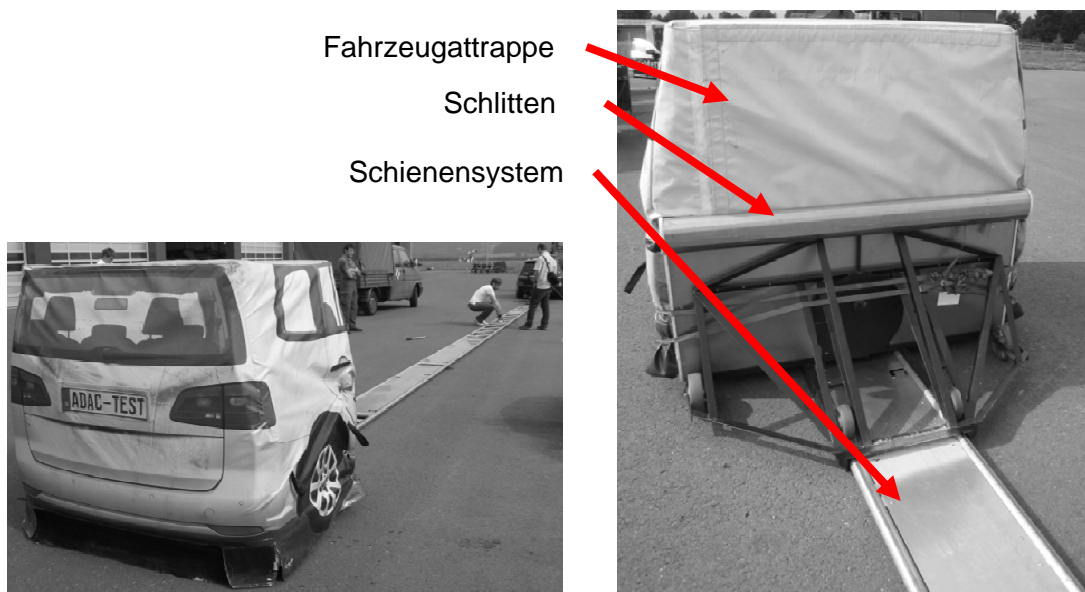
Abbildung 2.30: ADAC Target



Abbildung 2.31: Ballooncar mit montierter "Stoßstange"



Abbildung 2.32: ADAC Target für stationäre Manöver [6]



a.)

b.)

Abbildung 2.33 a.) und b.): ADAC Target für bewegte Manöver

2.6.2 AB Dynamics

Das von AB Dynamics entwickelte "Soft Crash Vehicle" stellt ein selbstfahrendes Target dar, welches entwickelt wurde um Kollisionswarn- und "Pre-crash"-systeme zu testen. Es wurde so entwickelt, dass es Kollisionen mit geringer Geschwindigkeiten erlaubt, ohne dabei selbst beschädigt zu werden, bzw. dem Versuchsfahrzeug Schäden zuzufügen. Es besteht aus einer Fahrzeugattrappe, die den Namen "Assessor" trägt und im Zuge des Assess Projektes entwickelt wurde. Diese Fahrzeugattrappe wird in Kapitel 2.6.3 genauer beschrieben werden. In der Mitte ist ein selbstfahrendes, lenkbares Aluminiumchassis, welches mit der Fahrzeugattrappe verbunden ist positioniert. Dieses Chassis wird mittels eines, durch Batterien mit Strom versorgten, Elektromotors bewegt, wobei ein, in diesem Kasten montiertes, Regelsystem das "Soft Crash Target" entlang eines vorgegebenen Kurses mit einer ebenfalls vorgegebenen Geschwindigkeit bewegen kann. Für diese Aufgabe verwendet das Regelsystem ein Trägheitsnavigationssystem mit GPS-Korrektur. Abbildung 2.34 zeigt eine schematische Darstellung, und Abbildung 2.35 die Abmessungen des Aluminiumchassis des SCT. [38]

Auf Grund seines Aufbaus ist es mit dem SCT möglich Situationen mit

- Heckaufprall
- Seitenaufprall
- Kollisionen mit dem Gegenverkehr und
- Einschermanöver

darzustellen.

In Tabelle 33 sind die wichtigsten Daten des SCT zusammengefasst.

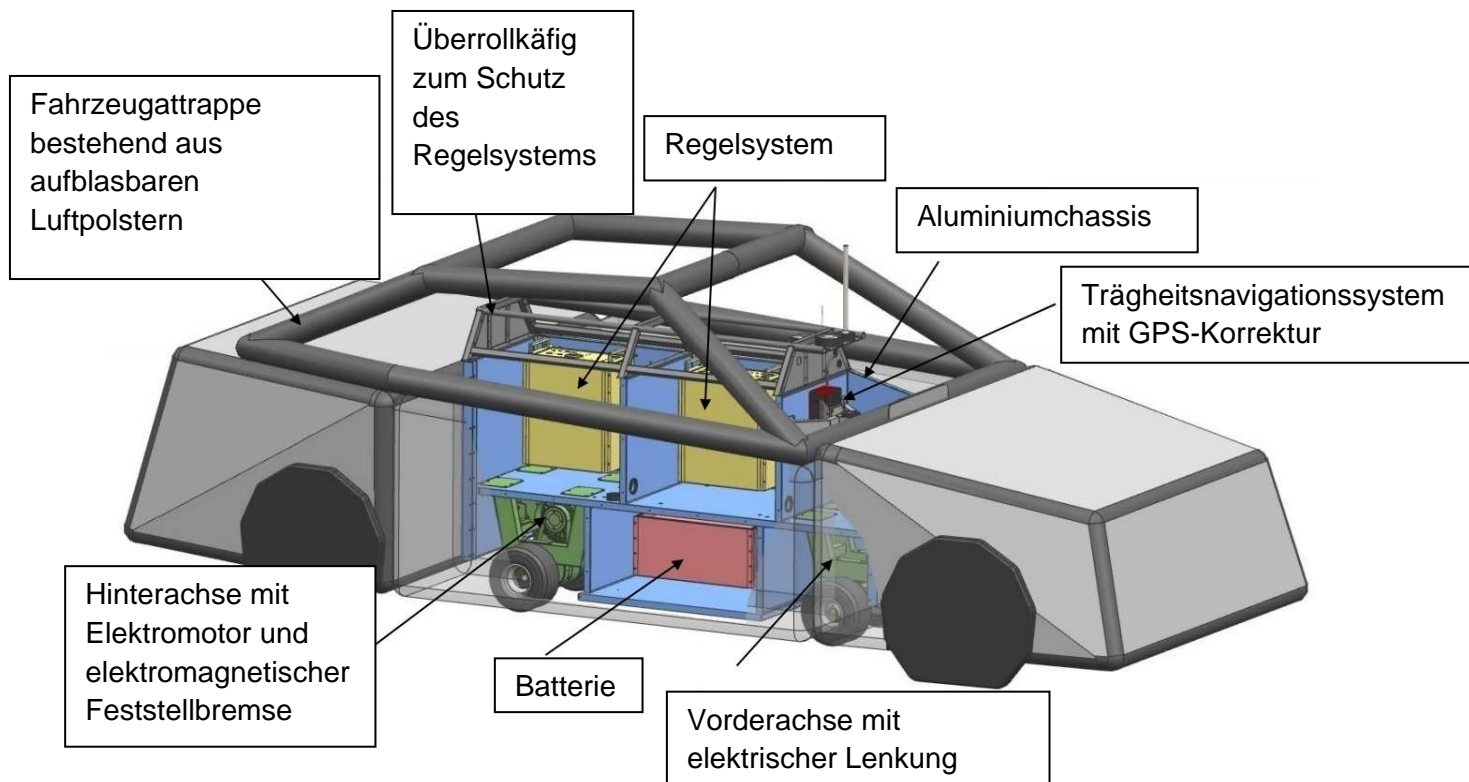


Abbildung 2.34: Aufbau des SCT [38]

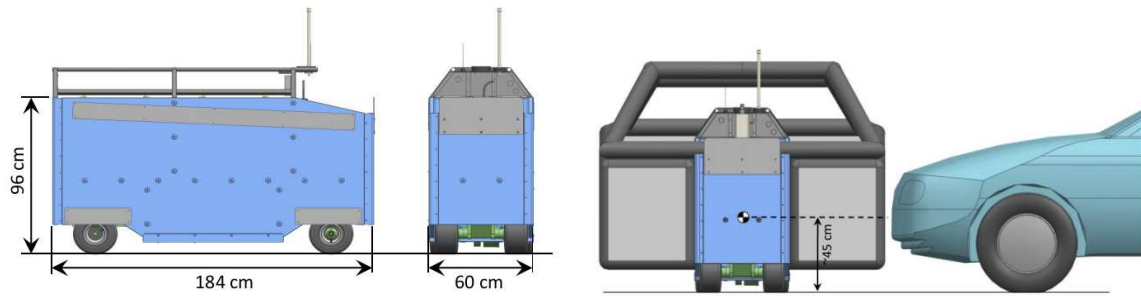


Abbildung 2.35: Abmessungen des Aluminiumchassis [38]

Maximal erlaubte Beschleunigung bei Kollision	50g
Gewicht ohne Luftpolster	220kg
Gewicht Assessor	< 90kg
Querbeschleunigung	< 0,5g
Maximalgeschwindigkeit	~65km/h
Beschleunigung	~0,2g
Verzögerung	~0,5g
Wenderadius	5m

Tabelle 2.5: Technische Daten des SCT Quelle [38]

2.6.3 ASSESS/ASSESSOR

Die, während des Assess-Projektes entwickelte, Fahrzeugattrappe basiert auf einem Konzept der Firma Daimler und besteht aus luftgefüllten Kammern, die durch ebenfalls mit Luft gefüllten Druckschläuchen gestützt werden. Im Falle einer Kollision kann die Luft aus den Kammern über kleine Ventilationsöffnungen, wie in Abbildung 2.36 a.) gezeigt, entweichen, womit der Überdruck in den zusammengedrückten Kammern beschränkt wird und ein Dämpfungseffekt eintritt. [39]

Der Aufbau dieses Targets erlaubt es ein 3 dimensionales Fahrzeug darzustellen, jedoch ist es auch möglich lediglich das Heck eines Fahrzeuges für Heckaufprallsituationen zu simulieren, indem nur der hintere Teile dieses Targets an einer Versuchseinrichtung montiert wird. [39]

Die in diesem Kapitel beschriebene Fahrzeugattrappe findet in den Versuchsanlagen:

- BAST kart
- IDIADA Rabbit
- TNO VEHIL set-up und
- AB Dynamics SCT

Anwendung.

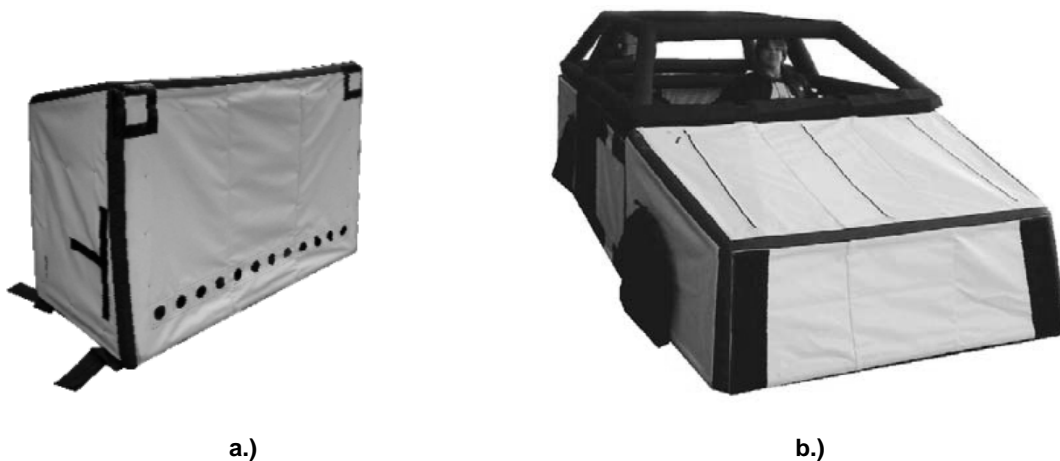


Abbildung 2.36 a.: Luftgefüllte Kammer mit Ventilationsöffnungen Abbildung 39 b.: Assessor Gesamtfahrzeug [40]

In Tabelle 34 sind wichtige Daten dieser Fahrzeugattrappe zusammengefasst.

Abmessungen	Mittelklasselimousine
Gewicht	< 90kg
Maximale Geschwindigkeitsdifferenz bei Heckaufprall	60km/h
Aerodynamische Stabilität	< 70km/h

Tabelle 2.6: Daten der Fahrzeugattrappe Assessor [40]

2.6.4 BAST

Die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) entwickelte Versuchsanlage besteht aus dem Heckteil der Assessor-Fahrzeuggattrappe und einem durch einen 125cm³ 2Takt Verbrennungskraftmotor mit 21kW Leistung angetriebenem Go-Kart namens "MARVIN" (Motorized Autonomous Research Vehicle for Innovations). [41]

Das Go-Kart wird mittels einer aus dem Flugmodellbau bekannten und handelsüblichen Fernsteuerung gelenkt und gebremst, wobei ein Regler die gewünschte Geschwindigkeit exakt einstellen und halten kann. Der Fahrer hat immer die Möglichkeit manuell einzugreifen, es ist jedoch auch noch ein zweites Fernsteuerungssystem verbaut, welches den Verbrennungsmotor starten bzw. stoppen und in Notfällen das Bremssystem aktivieren kann, da es auf einer anderen Funkfrequenz arbeitet als die Fernbedienung zur Steuerung des Systems. [41]

Die für die Tests von Notbremsassistenzsystemen entwickelte Versuchsanlage mit montiertem Heckteil, die Assessor-Fahrzeuggattrappe mit Messtechnik ist in Abbildung 2.37 dargestellt.



Abbildung 2.37: BAST "MARVIN" [43]

In Tabelle 35 sind die veröffentlichten Daten dieser Versuchsanlage zusammengefasst.

Gewicht	250kg
Antriebsleistung	21kW
Höchstgeschwindigkeit	80km/h
Maximale Kollisionskraft	50kN
Maximale Beschleunigung bei Kollision	25g
Maximale Differenzgeschwindigkeit bei Kollision	50km/h
Maximale Verzögerung	7m/s ²
Genauigkeit des Geschwindigkeitsreglers	±0,5km/h

Tabelle 2.7: Daten der BAST Versuchsanlage für Notbremsassistenzsysteme [42]

2.6.5 Bertrand

Bertrands Versuchsanlage für die Entwicklung und Applikation von Notbremsassistenzsystemen in Fahrzeugen besteht aus einer selbst entwickelten Fahrzeugattrappe "b.target" und einem Trägersystem namens "b.rabbit". [44]

Für die Erstellung einer Fahrzeugattrappe mit einem hohen Detailgrad für Heckaufprallszenarien wird zum Beispiel die Kontur des hinteren Drittels eines Fahrzeuges abgenommen. Aus diesen Informationen wird anschließend eine Form erstellt. Ein Vergleich zwischen dem fertigen "b.target" und dem realen Fahrzeug ist in Abbildung 2.38 dargestellt. [44]



Abbildung 2.38: Vergleich eines realen Fahrzeuges mit dem "b.target" [44]

Das fertige "b.target" besteht aus einem flexiblen Kohlefaserkunststoff, welcher die Außenhaut darstellt und der durch einen darunterliegenden Schaumkern gestützt wird. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann eine hohe mechanische Belastbarkeit der Fahrzeugattrappe durch die CFK-Anteile und durch den Schaumkern die Formtreue sichergestellt werden. [44]

Diese Fahrzeugattrappe wird dann mit dem "b.rabbit", einem von einem Zugfahrzeug oder einer (Seil)-Zugvorrichtung gezogenem, auf einem Go-Kartrahmen basierendem Träger, montiert.

Der auf einem Go-Kartrahmen basierende Grundaufbau verfügt über eine fernsteuerbare pneumatische Bremsanlage, die über einen Controller in drei Stufen gesteuert wird und eine Verzögerung bis zu 0,9g erzeugen kann. Die Lenkung des "b.rabbit" ist ebenfalls fernsteuerbar, wobei die Aktuierung des Lenkgestänges über einen Linearmotor mittels pulsweitenmoduliertem Signal übernommen wird. [44]

Abbildung 2.39 zeigt die auf dem "b.rabbit" montierte aktuelle Fahrzeugattrappe "b.target" bei einer Kollision mit dem Ego-Fahrzeug, wobei Abbildung 2.40 "b.rabbit" mit einer älteren Version des "b.target" zeigt. [44]



Abbildung 2.39: "b.rabbit" [44]



Abbildung 2.40: "b.target" [44]

Tabelle 36 zeigt eine Zusammenfassung der bekannten Daten dieser Versuchsanlage.

Gewicht "b.target"	~10kg
Gewicht "b.rabbit"	Nicht bekannt
Höchstgeschwindigkeit	100km/h
Maximale Verzögerung	~9m/s ²
Maximale Geschwindigkeitsdifferenz bei Kollision	50km/h
Reichweite der Funkfernsteuerung	1000m

Tabelle 2.8: Daten der von Bertrand entwickelten Versuchsanlage [44]

2.6.6 Dynamic Research Inc.

Die von Dynamic Research Inc. entwickelte Versuchsanlage (Abbildung 2.43) besteht aus einem sogenannten "Low Profile Robotic Vehicle" (LPRV) (s. Abbildung 2.41), sowie einer darauf montierten, aus 35 Einzelteilen zusammengebauten, Fahrzeugattrappe aus Schaumstoff. [45]

Das vierrädrige LPRV ist ein mittels zweier bürstenloser Elektromotoren angetriebene, lenkbare Plattform und entspricht dem Umfang nacheinem Personenkraftwagen mittlere Größe mit einer maximalen Bauhöhe von 125mm, wie sie in Abbildung 2.41 dargestellt ist. Diese Plattform ist mit einem Computer der ebenfalls über eine Datenaufzeichnung verfügt, differentiellm GPS, sowie Sensoren die Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und die Gierrate messen können, ausgestattet. [45]

Die Verzögerung der hier besprochenen Versuchsanlage wird über 4 Scheibenbremsen bewerkstelligt. Aus mitgeführten Batterien wird die Stromversorgung der beiden Elektromotoren sichergestellt. [45]

Das LPRV kann mittels Fernsteuerung bewegt werden, bzw. mit Hilfe des GPS eine vordefinierte Strecke mit einer gewünschten Geschwindigkeit abfahren. [45]

Im Falle einer Kollision kann das LPRV von dem Ego-Fahrzeug überfahren werden, während sich die Fahrzeugattrappe in ihre Einzelteile, wie Abbildung 2.42 zeigt, zerlegt. [45]

Dieses selbstfahrende Target ermöglicht, dank seines Aufbaus, die Untersuchungen von:

- Heckaufprallsituationen
- Kollision mit dem Querverkehr
- Kollision mit dem Gegenverkehr
- Kollisionen durch Einschermanöver

Weitere Daten dieser Versuchsanlage sind in Tabelle 37 zusammengefasst.



Abbildung 2.41: LPRV [45]



Abbildung 2.42: Dynamic Research Inc. Fahrzeugattrappe bei Kollision mit Ego-Fahrzeug [45]



Abbildung 2.43: Auf LPRV montierte Schaumstofffahrzeugattrappe [45]

Gewicht LPRV	260kg
Gewicht Fahrzeugattrappe	60kg
Gesamtgewicht	320kg
Höchstgeschwindigkeit	80km/h
Maximale Beschleunigung	$\sim 3\text{m/s}^2$
Maximale Verzögerung	$\sim 6\text{m/s}^2$
Maximale Querbeschleunigung	$\sim 3\text{m/s}^2$
Maximale Geschwindigkeitsdifferenz bei Kollision	100km/h

Tabelle 2.9: Daten der von Dynamic Research Inc. entwickelten Versuchsanlage [45]

2.6.7 TU Darmstadt/Evita

"Evita" nennt sich die von der Technischen Universität Darmstadt entwickelte Versuchsanlage für die Durchführung von Tests von Notbremsassistenzsystemen. Sie besteht aus einem, mit einer Seilwinde im Kofferraum ausgerüstetem Zugfahrzeug und einem an einem Seil nachgezogenem Anhänger, der das Target für das Ego-Fahrzeug darstellt. Sowohl im Zugfahrzeug, als auch im Anhänger befinden sich Computer, die über Funkmodems miteinander verbunden sind. [46]

Zu Beginn des Versuches wird EVITA in einem kurzen Abstand hinter dem Zugfahrzeug nachgezogen, bis der Bediener des Systems im Zugfahrzeug die Bremse der Seilwinde öffnet und die Scheibenbremsen des Anhängers aktiviert, woraufhin sich der Abstand zwischen Zugfahrzeug und Anhänger vergrößert und sich das Seil von der Seilwinde abwickelt.

In der Zeit, in der der Anhänger verzögert, berechnet das System permanent mit der Hilfe eines Radsensors des Anhängers die TTC. Sollte die TTC einen Wert von einer Sekunde unterschreiten, so wird die Bremse der Seilwinde geschlossen und der Anhänger auf die konstante Geschwindigkeit des Zugfahrzeuges beschleunigt. [46]

Der Anhänger ist eine Gitterrohrkonstruktion mit vier Einzelradaufhängungen eines Quads. Über einen Lenkhebel sind das Zugseil und die Spurstangen der Vorderachse miteinander verbunden, damit auch Untersuchungen mit Kurvenfahrt ermöglicht werden. Um einen stabilen Geradeauslauf sicherzustellen wurde an der Vorderachse ein großer Nachlauf gewählt. Im mittleren Teil des Anhängers befindet sich in einem wetterfesten Gehäuse ein lüfterloser Rechner, ein Funkmodem, die Energieversorgung und die Bremsensteuerung. Die Bremsen werden hydraulisch über die serienmäßigen Handbremshebel eines Quads, mittels eines Seilzuges und eines momentengeregelten Gleichstrommotors aktiviert. Die Rückansicht des Anhängers bilden, wie Abbildung 2.44 zeigt, die Heckklappe, Rücklichter und Heckstoßstange einer Mercedes A-Klasse. Da es sich bei dem Aufbau des Anhängers um kein weiches Ziel handelt wird mit Hilfe der sich im Kofferraum des Zugfahrzeuges montierten Seilwinde, falls eine Kollision unvermeidbar wäre, der Anhänger aktiv aus dem Kollisionsbereich gezogen. Auf der Hinterseite der Heckklappe befindet sich ein Radarsensor. [46]

Abbildungen 2.45 und 2.46 zeigen den Aufbau des etwa 180kg schweren Aufbaus von EVITA, und des Zugfahrzeuges. [46]

In Tabelle 38 sind die Daten von EVITA zusammengefasst.



Abbildung 2.44: Zugfahrzeug mit EVITA [46]

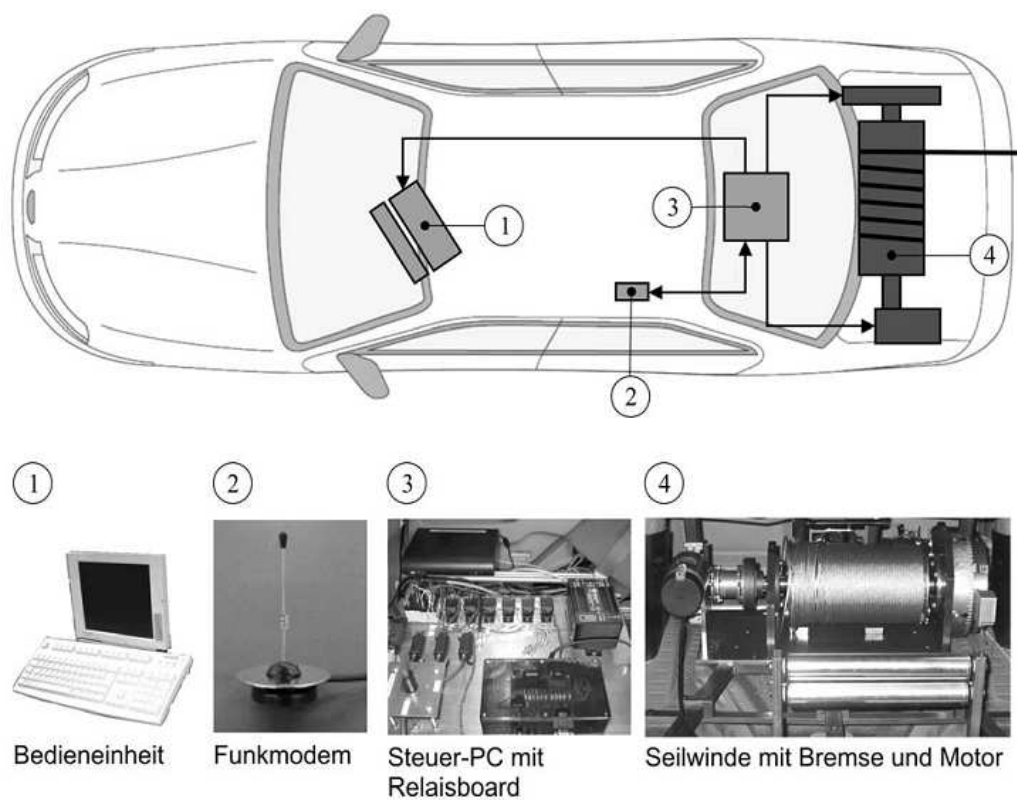


Abbildung 2.45: Aufbau des Zugfahrzeuges [46]

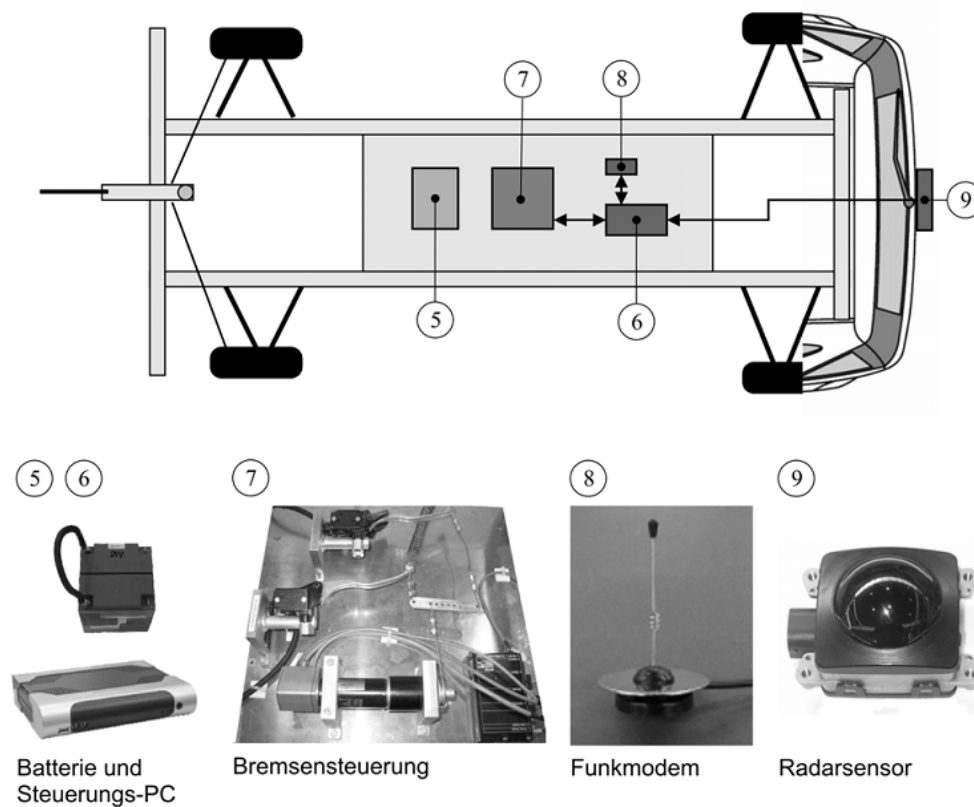


Abbildung 2.46: Aufbau von EVITA [46]

Maximale Seillänge	50m
Maximale Bremskraft der Seilwindenbremse	5000N
Seildurchmesser	5mm
Maximale Drehzahl der Winde	1500U/min
Maximale Differenzgeschwindigkeit zwischen EVITA und Ego-Fahrzeug	50km/h
Maximale Verzögerung	9m/s^2
Kleinste TTC vor einem Versuchsende	1 Sekunde
Höchstgeschwindigkeit	80km/h

Tabelle 2.10: Technische Daten von EVITA [46]

2.6.8 Hanging target simulator

Bei dieser Art von Versuchsanlagen wird die Fahrzeugattrappe an einem Kransystem, wie in Abbildung 2.47 gezeigt, aufgehängt. Die Schwierigkeit bei diesen Systemen liegt darin, dass das mit dem Kransystem ausgestattete Fahrzeug von den Sensoren des Ego-Fahrzeuges nicht erkannt werden soll. Darum sind diese Fahrzeuge für gewöhnlich auf ihrer Hinterseite mit speziellen radarstrahlenabsorbierenden Matten ausgerüstet. (Abbildung 2.49) [47]

In der Vergangenheit wurden zwei Funktionsweisen dieser Anlagen von verschiedenen Organisationen entwickelt. [47]

IDIADA zum Beispiel verwendet eine ASSESSOR Fahrzeugattrappe, die mit einem Wagen in Aluminium-Gitterrohr-Konstruktionsweise verbunden ist (Abbildung 2.48). Dieser Wagen wiederum ist über Elektromagneten mit dem Kransystem verbunden. Sollte es zu einer Kollision mit dem Ego-Fahrzeug kommen, so werden die beiden Elektromagneten deaktiviert und der Wagen inklusive Fahrzeugattrappe nach vorne beschleunigt. [47]

Die zweite verwendete Funktionsweise ist in Abbildung 2.49 dargestellt. Sie zeigt ein um die Querachse des Kransystems drehbar gelagertes Ballooncar. Kommt es bei diesem System zu einer Kollision zwischen Ego- und Target-Fahrzeug, so wird das Ballooncar nach vorne und oben weggedreht. [47]



Abbildung 2.47: IDIADA "rabbit target" [47]



Abbildung 2.48: IDIADA Gitterrohrwagen [47]



Abbildung 2.49: Drehbargelagertes Thatcham Target-Fahrzeug [27]

In Tabelle 39 sind die technischen Daten des IDIADA "rabbit target" zusammengefasst.

Höchstgeschwindigkeit	80km/h
Maximale Geschwindigkeitsdifferenz bei Kollision	50km/h
Maximale Verzögerung	6m/s ²

Tabelle 2.11: Technische Daten des IDIADA "rabbit target" [47]

2.6.9 Ballooncar

Ballooncars sind von verschiedenen Herstellern, wie zum Beispiel Thatcham oder Autoliv, angebotene luftgefüllte Fahrzeugattrappen (Abbildung 2.50). Sie bestehen meist aus einer PVC- Außenhaut und werden an der Rückseite mit radarstrahlenreflektierenden Folien ausgerüstet. [48]

Diese Fahrzeugattrappen haben den Vorteil sehr leicht zu sein und sind für statische Manöver geeignet. Sie können aber auch problemlos in Kombination mit einer Versuchseinrichtung bei dynamischen Manövern eingesetzt werden. [48]



Abbildung 2.50: Thatchams Ballooncar [48]

2.6.10 DSD/"UFO"

Die Firma DSD hat ein elektrisch betriebenes Trägersystem für verschiedene Arten von Zielen entwickelt. Es handelt sich dabei um eine vierrädrige, selbstfahrende Plattform mit Elektromotoren und Li-Ionen Batterien, die im Falle eines Unfalles auch überrollt werden kann. Abbildung 2.51 zeigt das "UFO" (Ultra Flat Overrunable Carrier) genannte System. [49]

UFO lässt sich je nach Ausrüstung entweder per Fernsteuerung steuern oder kann mit Hilfe von GPS-Daten eine vorgegebene Strecke mit einem gewünschten Geschwindigkeitsprofil abfahren. [49]

Da es bei diesem Trägersystem möglich ist verschiedene Arten von Zielen zu montieren, können damit, wie in Abbildung 2.52 angedeutet, nicht nur Unfallszenarien mit Fahrzeugen, sondern ebenfalls mit Fußgängern oder Radfahrern untersucht werden. [49]

In Tabelle 40 sind technische Daten dieses Systems zusammengefasst.

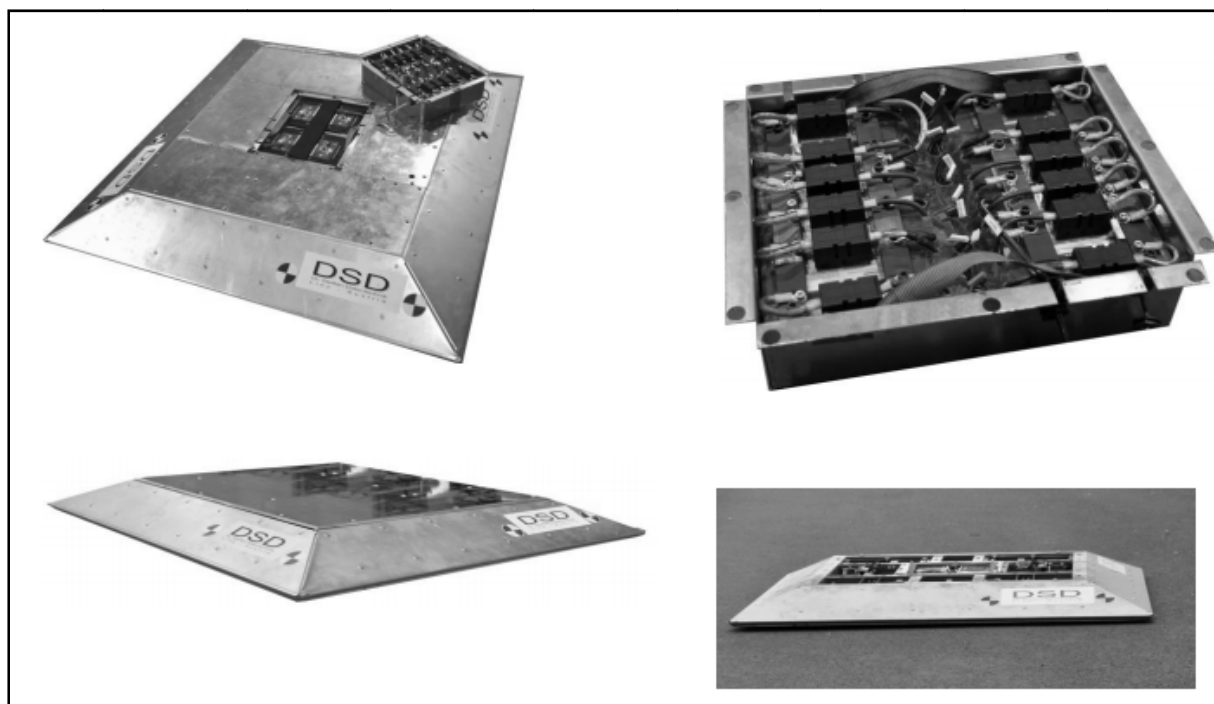


Abbildung 2.51: "UFO" [49]

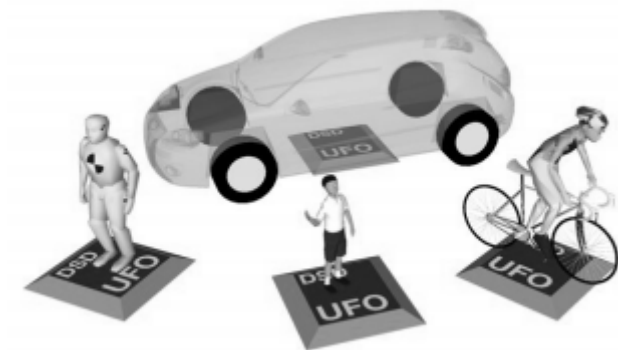


Abbildung 2.52: Mögliche Targetkombinationen mit "UFO" [49]

Außenabmessungen	1400x1300x90
Gewicht (ohne montiertem Ziel)	100kg
Höchstgeschwindigkeit	70km/h
Nutzlast	100kg
Erlaubtes Maximalgewicht für Ego-Fahrzeug	2500kg

Tabelle 2.12: Technische Daten von "UFO" [49]

2.7 Berechnungsgrundlagen

2.7.1 Die beschleunigte Bewegung

Unter der Beschleunigung \vec{a} versteht man die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit \vec{v} . Nach einem infinitesimalen Zeitschritt Δt ergibt sich die Geschwindigkeit $\vec{v}_{(t+\Delta t)} = \Delta \vec{v}$ und demnach die Beschleunigung \vec{a} nach Formel (2.6).

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.6)$$

Führt man nun den Grenzübergang $\Delta t \rightarrow 0$ ein, so ergibt sich die momentane Beschleunigung nach Formel (2.6), als erste Ableitung der Geschwindigkeit \vec{v} .

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} \quad (2.7)$$

Da die Geschwindigkeit \vec{v} bereits die erste Ableitung des Weges s nach der Zeit ist, ergibt sich die Beschleunigung \vec{a} laut Formel (2.8).

$$\vec{a} = \frac{d^2 \vec{s}}{dt^2} = \ddot{\vec{s}} \quad (2.8)$$

2.7.2 Die konstante Beschleunigung

Ist die Beschleunigung, wie in Abbildung 2.53 a.) gezeigt, von der Zeit t unabhängig und größer als 0, so handelt es sich um eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung.

Trennt man in Formel (2.6) die Variablen,

$$\vec{a} * dt = d\vec{v} \quad (2.9)$$

und integriert von $t_0 = 0$ bis t , und von \vec{v}_0 bis \vec{v} ,

$$\vec{a} * \int_0^t dt = \int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v} \quad (2.10)$$

so ergibt sich:

$$\vec{a} * t = \vec{v}_{(t)} - \vec{v}_0 \quad (2.11)$$

Ist man nun am zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit interessiert, so erhält man nach Umformen von Gleichung (2.11):

$$\vec{v}_{(t)} = \vec{a} * t + \vec{v}_0 \quad (2.12)$$

Setzt man in weiterer Folge,

$$\vec{v}_{(t)} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (2.13)$$

in Gleichung (2.12) ein, wobei s für den Weg, v für die Geschwindigkeit und t für die Zeit stehen, so ergibt sich Formel (2.12) zu:

$$\frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{a} * t + \vec{v}_0 \quad (2.14)$$

Durch erneutes Trennen der Variablen und Integrieren von $t_0 = 0$ bis t , bzw. von \vec{s}_0 bis \vec{s} erhält man Gleichungen (2.15) und (2.16):

$$\int_{\vec{s}_0}^{\vec{s}} d\vec{s} = \int_0^t \vec{a} * t + \vec{v}_0 \quad (2.15)$$

$$\vec{s}_{(t)} - \vec{s}_0 = \vec{a} \frac{t^2}{2} + \vec{v}_0 * t \quad (2.16)$$

Den zeitlichen Verlauf des Weges einer Bewegung mit konstanter Beschleunigung, erhält man nun durch Umformung von Gleichung (2.16).

$$\vec{s}_{(t)} = \vec{a} \frac{t^2}{2} + \vec{v}_0 * t + \vec{s}_0 \quad (2.17)$$

In der Abbildung 2.53 a.) bis c.) sind typische Verläufe der Beschleunigung, der Geschwindigkeit sowie des Weges über der Zeit für eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung dargestellt.

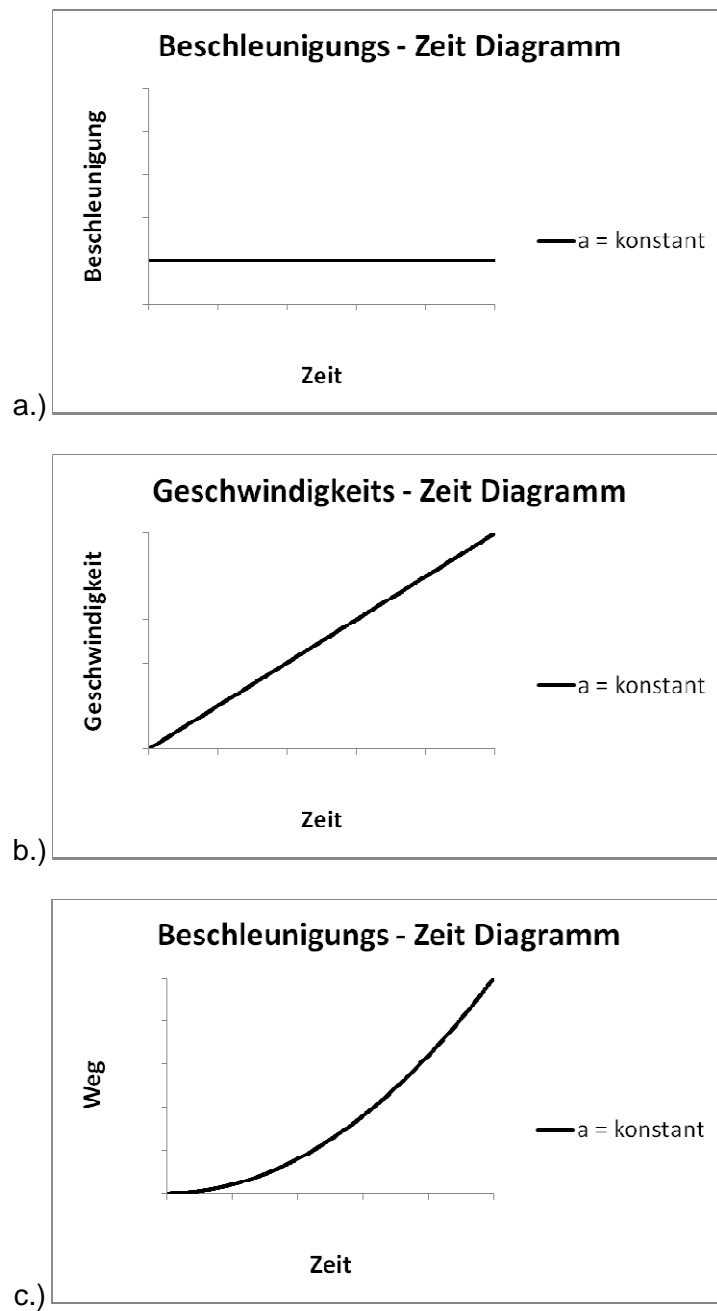


Abbildung 2.53: Verläufe der Beschleunigung, Geschwindigkeit und des Wege über der Zeit für eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung

2.7.3 Die ungleichmäßige Beschleunigung

Sollte die Beschleunigung eine Funktion der Zeit sein, so nennt man dies eine Bewegung mit ungleichmäßiger Beschleunigung.

Mathematisch kann man diese Bedingung laut Gleichung (2.18) definieren:

$$\vec{a} = \vec{a}_{(t)} \neq \textit{konstant} \quad (2.18)$$

Setzt man $\vec{a} = \vec{a}_{(t)}$ in Gleichung 2.5 ein, so ergibt sich die Beschleunigung zu:

$$\vec{a}_{(t)} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2.19)$$

Durch Trennung der Variablen und Integration von $t_0 = 0$ bis t , und von \vec{v}_0 bis \vec{v} , erhält man die Gleichungen (2.20) bis (2.22):

$$\vec{a}_{(t)} * dt = d\vec{v} \quad (2.20)$$

$$\int_0^t \vec{a}_{(t)} * dt = \int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v} \quad (2.21)$$

$$\vec{a}_{(t)} * t = \vec{v}_{(t)} - \vec{v}_0 \quad (2.22)$$

Durch Umformung erhält man den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit laut Gleichung (2.23):

$$\vec{v}_{(t)} = \vec{a}_{(t)} * t + \vec{v}_0 \quad (2.23)$$

Analog zu Kapitel 2.7.1 lässt sich der zeitliche Verlauf des Weges herleiten und wie in (2.24) angeben.

$$\vec{s}_{(t)} = \vec{a}_{(t)} \frac{t^2}{2} + \vec{v}_0 * t + \vec{s}_0 \quad (2.24)$$

In (2.24) steht s für den zurückgelegten Weg, v für die Geschwindigkeit a für die Beschleunigung und t für die Zeit.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich Gleichungen (2.12) und (2.23) sowie (2.17) und (2.24) ähneln, jedoch die Beschleunigungen in den, in diesem Kapitel besprochenen Formeln, von der Zeit abhängig sind.

Da in dieser Diplomarbeit ein linearer Anstieg der Beschleunigung zur Berechnung verwendet wurde, sollen hier die für die spätere Berechnung notwendigen Formeln hergeleitet werden.

Abbildung 2.54 stellt den Verlauf einer Beschleunigung mit linearem Anstieg über der Zeit grafisch dar.

Unter Verwendung der Geradengleichung $y = kx + d$ und der Annahme, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ auch die Beschleunigung 0 sei, wird die Konstante d der Geradengleichung zu null und es lässt sich die Beschleunigung zu jedem Zeitpunkt mit Gleichung (2.25) berechnen.

$$a = k * t \quad (2.25)$$

Die Konstante k der Gleichung (2.25) gibt dabei die Steigung des linearen Anstieges der Beschleunigung an.

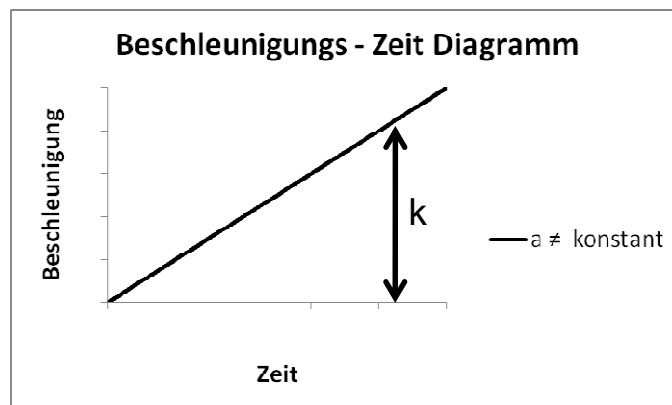


Abbildung 2.54: Linearer Anstieg der Beschleunigung über der Zeit

Setzt man diese Beziehung nun in (2.21) ein, so erhält man:

$$\int_0^t (k * t) * dt = \int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v} \quad (2.26)$$

Somit erhält man nach Integration und Umformung den Verlauf der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit und des linearen Anstieges der Beschleunigung.

$$\vec{v}(t) = k * \frac{t^2}{2} + \vec{v}_0 \quad (2.27)$$

Den Verlauf des Weges erhält man durch Trennung der Variablen, Integration von $t_0 = 0$ bis t , bzw. von \vec{s}_0 bis \vec{s} und anschließendem Umformen.

$$\vec{s}(t) = k * \frac{t^3}{6} + \vec{v}_0 * t + \vec{s}_0 \quad (2.28)$$

In Abbildung 2.55 a.) bis c.) sind die Verläufe des Weges, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung für eine Bewegung mit linearem Anstieg der Beschleunigung beispielhaft dargestellt.

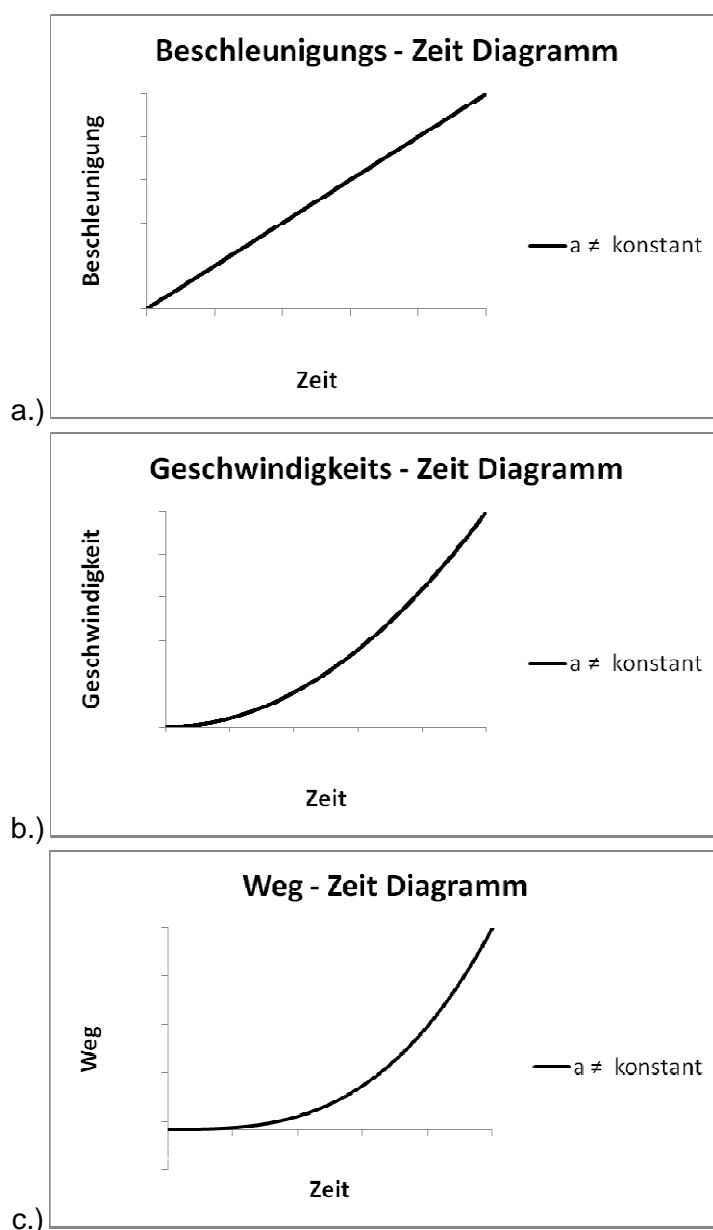


Abbildung 2.55: Verläufe der Beschleunigung, Geschwindigkeit und des Wege über der Zeit für eine Bewegung mit linearem Anstieg der Beschleunigung

2.7.4 Der elastische Stoß

Bei einem rein elastischen Stoß der Körper 1 und 2 werden diese rein elastisch verformt, es kommt dabei zu keiner Erwärmung und die Reibung kann vernachlässigt werden. (50)

Daraus folgt, dass nur die mechanische Energie umgesetzt wird und der Energie-, sowie Impulserhaltungssatz gelten. [50]

Anhand des in Abbildung 2.56 dargestellten Versuches, sollen in diesem Kapitel die Bewegungsgleichungen des geraden zentralen elastischen Stoßes hergeleitet werden.

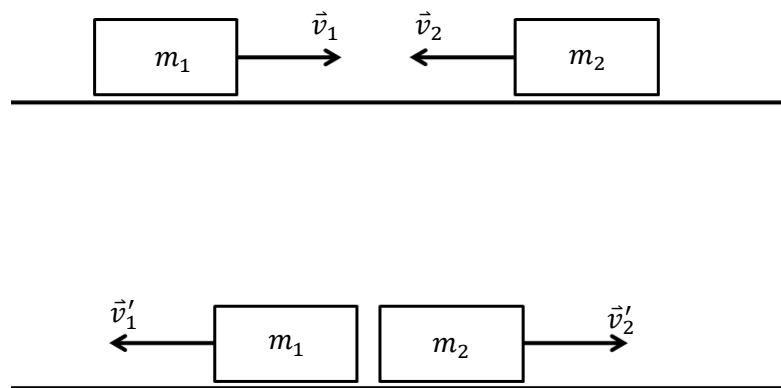


Abbildung 2.56: Gerader zentraler elastischer Stoß

Die Massen der beiden Körper werden für die folgende Herleitung mit m_1 und m_2 , die Geschwindigkeiten vor dem Stoß mit \vec{v}_1 und \vec{v}_2 bezeichnet. Alle Variablen nach dem Stoß werden mit einem " ' " markiert, folglich werden die Geschwindigkeiten nach dem Stoß mit \vec{v}'_1 und \vec{v}'_2 bezeichnet.

Da dieser Versuch auf einer ebenen Fläche durchgeführt wird, bleibt die potentielle Energie konstant.

$$E_{pot} = const. = 0 \quad (2.29)$$

Die kinetische Energie vor dem Stoß ergibt sich dabei aus der Summe der kinetischen Energien der beiden Körper.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_1 \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \vec{v}_2^2 \quad (2.30)$$

Auf gleiche Art und Weise lässt sich auch die kinetische Energie nach dem Stoß erhalten.

$$E'_{kin} = \frac{1}{2}m_1\vec{v}'_1{}^2 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}'_2{}^2 \quad (2.31)$$

Somit ergibt die Energieerhaltung durch Einsetzen der Gleichungen 2.29 und 2.30,

$$\frac{1}{2}m_1\vec{v}_1{}^2 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2{}^2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}'_1{}^2 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}'_2{}^2 \quad (2.32)$$

dass die kinetische Energie vor dem Stoß gleich der kinetischen Energie nach dem Stoß sein muss.

Der Impuls vor dem Stoß ergibt sich auch aus der Summe der Einzelimpulse der beiden Körper.

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad (2.33)$$

Damit ergibt sich der Impuls vor dem Stoß zu:

$$\vec{p} = m_1 * v_1 + m_2 * v_2 \quad (2.34)$$

Der Impuls nach dem Stoß wird durch Gleichung 2.35 beschrieben.

$$\vec{p}' = m_1 * v'_1 + m_2 * v'_2 \quad (2.35)$$

Durch einsetzen der Gleichungen 2.34 und 2.35 in die Impulserhaltung ergibt sich Gleichung 2.36 zu:

$$m_1 * v_1 + m_2 * v_2 = m_1 * v'_1 + m_2 * v'_2 \quad (2.36)$$

Nach Kürzen und sortieren der Massen m_1 und m_2 der Gleichung (2.36) lässt sich die Energieerhaltungsgleichung, wie in (2.37) angegeben, anschreiben.

$$m_1 * (v_1^2 - v_1'^2) = m_2 * (v_2'^2 - v_2^2) \quad (2.37)$$

Nach Umformung der Impulserhaltungsgleichung lässt sie sich diese angeben als:

$$m_1 * (v_1 - v'_1) = m_2 * (v'_2 - v_2) \quad (2.38)$$

Nach Division von (2.37) und (2.38) und anschließendem Umformen, erhält man nach Einsetzen von (2.39) in die Impulserhaltungsgleichung (2.36), die Gleichung (2.40) zur Berechnung der Geschwindigkeit des 2ten Körpers nach dem Stoß. (vergl. [50])

$$v'_1 = v'_2 + v_2 - v_1 \quad (2.39)$$

$$v'_2 = \frac{2 * m_1 * v_1}{m_1 + m_2} + \frac{v_2 * (m_2 - m_1)}{m_1 + m_2} \quad (2.40)$$

Die Geschwindigkeit des ersten Körpers nach dem Stoß lässt sich auf selbe Art und Weise herleiten und lässt sich schreiben als: (vergl. [50])

$$v'_1 = \frac{2 * m_2 * v_2}{m_1 + m_2} + \frac{v_1 * (m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} \quad (2.41)$$

Mit diesen Formeln ist es nun möglich in Abhängigkeit der Geschwindigkeiten der beiden Körper vor dem Stoß und deren Massen, die Geschwindigkeiten der Körper nach dem Stoß zu berechnen.

3 Auswahl des Konzepts

In diesem Kapitel soll der Weg zur Auswahl eines Konzeptes für die konstruktive Umsetzung beschrieben werden.

Da der Fokus auf den Tests aus den ADAC und Euro NCAP Manöverkatalogen liegt und für die Versuche des Euro NCAP die Fahrzeugattrappe des ADAC vorgeschrieben wird, wurde zu Beginn der Konzeptfindung die Verwendung dieses weichen Zieles festgelegt.

Nach dem Studium, der in Kapitel 2.5 beschriebenen Tests und Fahrmanöver wurden 3 Konzepte erstellt, die für eine genauere Untersuchung herangezogen wurden.

Für die Auswahl eines Konzeptes wurden alle Manöver aus Kapitel 2.5 der Kategorien

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

mittels vereinfachter Rechnungen auf Kollisionen hin untersucht. Für diesen Zweck wurde in der Mathematiksoftware Matlab ein Programm erstellt, mit dem es möglich war die einzelnen Manöver durchzurechnen und für den Fall einer Kollision die Geschwindigkeitsdifferenz zum Kollisionszeitpunkt zu ermitteln. Mit den daraus gewonnenen Ergebnissen war es möglich den Geschwindigkeitsbereich der zu erwartenden Kollisionsgeschwindigkeiten einzugrenzen.

Im Anschluss wurde ein Matlab/Simulink-Modell wie es in Kapitel 3.4 beschrieben wird erstellt, mit dessen Hilfe die 3 Konzepte unter Verwendung vereinfachter Abschätzungen unbekannter Größen, bezüglich ihrer Kontaktkräfte verglichen wurden.

Als weitere Entscheidungshilfe wurde aufbauend auf einer Vorgängerarbeit [58], eine Nutzwertanalyse verschiedener Versuchsanlagen, inklusive der hier besprochenen Konzepte, durchgeführt, auf welche in Kapitel 3.5 genauer eingegangen wird.

Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen aus den Simulationen und der Nutzwertanalyse wurde die Entscheidung für die konstruktiv umzusetzende Variante getroffen.

3.1 Die Konzepte

In diesem Kapitel sollen die drei neuen Konzepte, die im Zuge dieser Diplomarbeit erarbeitet wurden kurz beschrieben werden.

3.1.1 Konzept 1

Das erste hier beschriebene Konzept ist in Abbildung 3.1 stark vereinfacht dargestellt und besteht im wesentlichen aus einer mit Reibplatten ausgestatteten Vorrichtung auf der die ADAC-Fahrzeugattrappe montiert wird, welche sowohl für stationäre als auch dynamische Manöver geeignet ist. Für dynamische Manöver wird dieser Aufbau über ein Seil bzw. eine Kette von einem vorausfahrenden Fahrzeug gezogen und kann so auf eine definierte Geschwindigkeit beschleunigt werden.

Sollte das Zugfahrzeug verzögern, so wird auch die Versuchsvorrichtung auf Grund der Reibung zwischen Fahrbahn und Reibplatten und des wirkenden Luftwiderstandes verzögern.

Da zwischen dem weichen Ziel und dem Zugfahrzeug keine Starre Verbindung besteht, kann eine Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Objekten auftreten und im Falle einer Kollision mit keiner vollständigen Überdeckung ebenso eine Rotation um die Hochachse des weichen Zieles zugelassen werden.

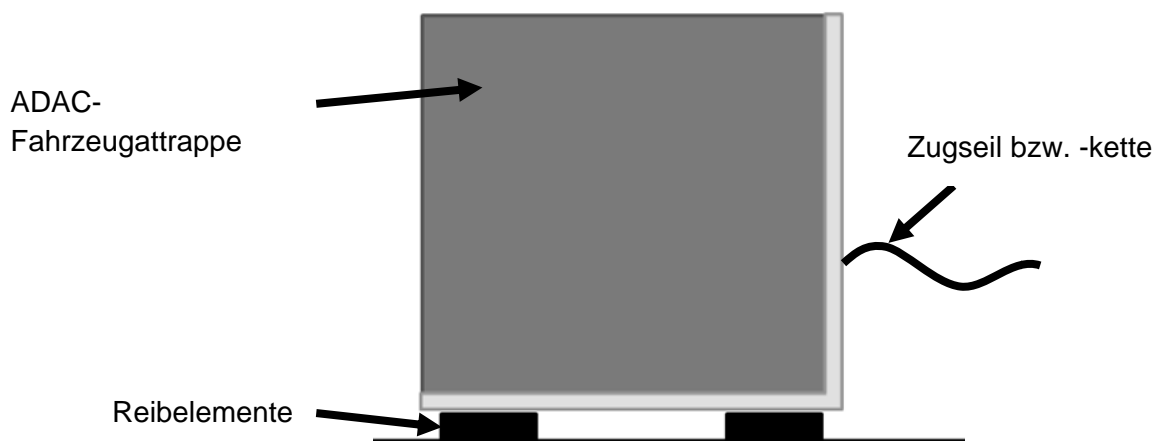


Abbildung 3.1: Konzept 1

3.1.2 Konzept 2

Dieses in Abbildung 3.2 gezeigte Konzept, besteht aus einer gezogenen Plattform, auf welcher die ADAC-Fahrzeugattrappe montiert wird. Um die Attrappe an ihrer Position zu halten befinden sich sowohl an der Plattform, als auch an der Fahrzeugattrappe Permanentmagnete. Die Plattform ist mittels eines Schienensystems und einer Überlastkupplung bestehend aus Permanentmagneten mit einem vorausfahrenden Fahrzeug verbunden, welches diese Versuchsvorrichtung auf eine definierte Geschwindigkeit beschleunigen kann.

Mit diesem Aufbau können ebenfalls Manöver mit nicht vollständiger Überdeckung zwischen Ego-Fahrzeug und dem weichen Ziel durchgeführt werden, wobei es zum Auffahren des Ego-Fahrzeuges auf die gezogene Plattform kommen kann. Sollte das Ego-Fahrzeug auf der Plattform zu stehen kommen während das Zugfahrzeug noch in Bewegung ist, kann es zu einem raschen Anstieg der Zugkräfte im Schienensystem kommen. In diesem Fall beschränkt die Überlastkupplung, bestehend aus Permanentmagneten die Zugkraft und löst bei zu hoher Kraft die Verbindung.

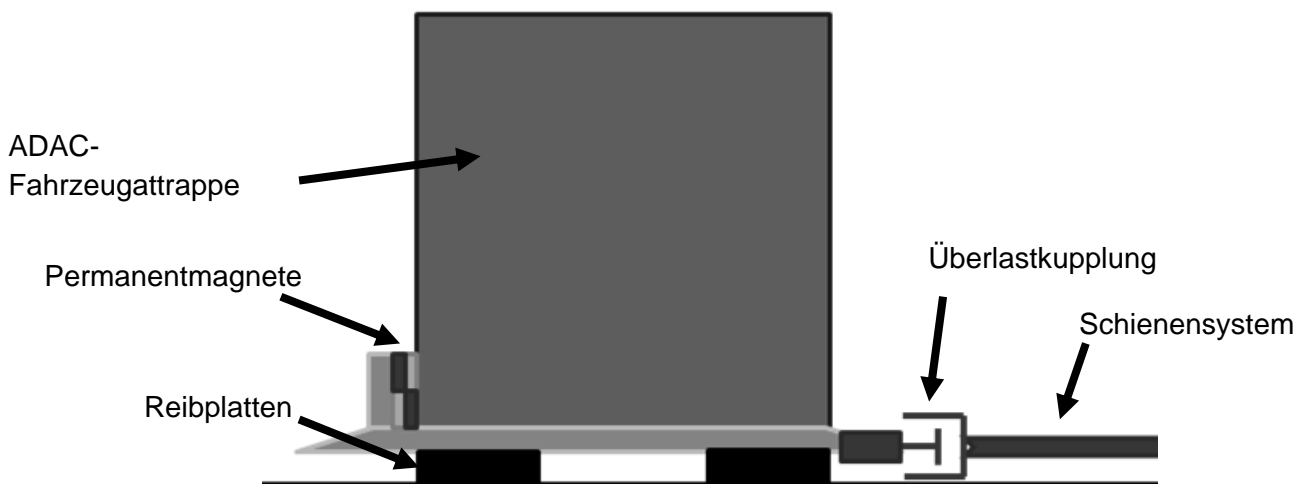


Abbildung 3.2: Konzept 2

3.1.3 Konzept 3

Für dieses Konzept wird an einem Anhänger ein, um die Hochachse Drehbar gelagerter Ausleger mit, an dessen Ende montierter, ADAC-Fahrzeugattrappe befestigt.

Auch dieses Konzept ist für statische, sowie dynamische Manöver geeignet. Desweiteren können damit ebenso Einschermanöver, Manöver mit Gegenverkehr, als auch Manöver ohne vollständiger Überdeckung durchgeführt werden.

Abbildung 3.3 zeigt eine stark vereinfachte Skizze dieses Konzepts.

Der für dieses Konzept verwendete Anhänger verfügt über eine lenkbare Vorderachse und einer nicht lenkbaren Hinterachse, zwischen denen der drehbar gelagerte Ausleger befestigt wird. Um das, bei der Kollision entstehende, Drehmoment um die Hochachse über die vier Reifen des Anhängers abstützen zu können, ist es wichtig, dass sowohl die Fahrzeugattrappe als auch der Ausleger so leicht als möglich sind und die Drehachse so gut als möglich gelagert ist.

Kommt es bei einem Manöver zur Kollision zwischen Ego-Fahrzeug und Fahrzeugattrappe, so beginnt sich der Ausleger um seine Drehachse zu rotieren und das weiche Ziel bewegt sich eine Kreisbahn beschreibend von dem Ego-Fahrzeug weg, damit das Ego-Fahrzeug an dem Anhänger seitlich vorbeifahren kann.

Zwischen Anhänger und dem Zugfahrzeug besteht eine starre Verbindung, die das Beschleunigen, Verzögern und das Lenken des Anhängers über das Zugfahrzeug ermöglicht.

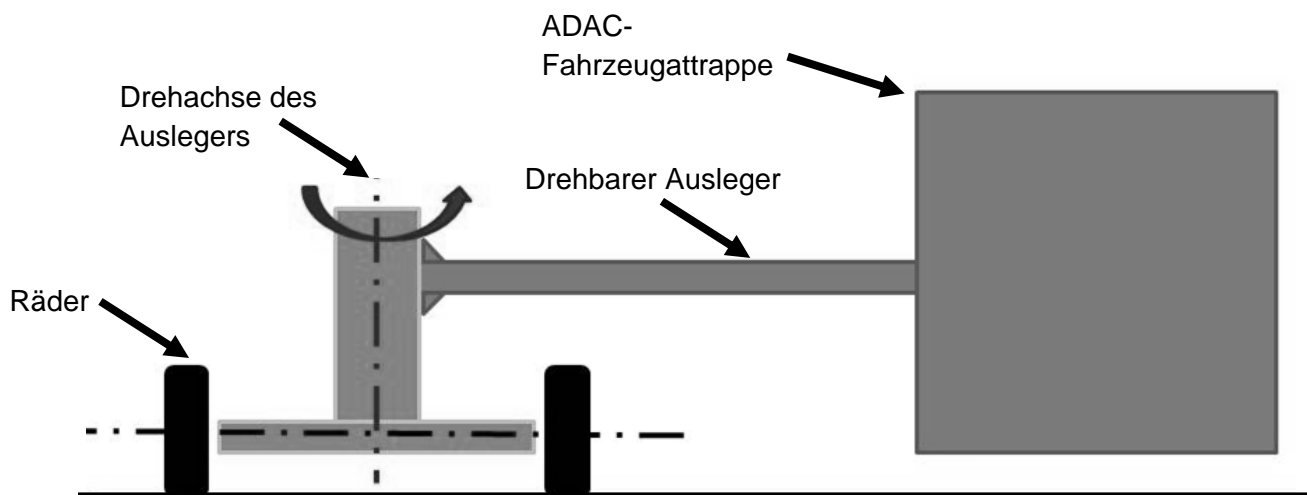


Abbildung 3.3: Konzept 3

3.2 Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten

Im folgenden Kapitel wird die Untersuchung der Fahrmanöver aus den in Kapitel 2.5 beschriebenen Manöverkatalogen beschrieben. Dazu wird im ersten Schritt das für die Berechnung verwendete Modell, sowie die Funktionsweise des erstellten Rechenprogramms beschrieben.

3.2.1 Modellbildung für die Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten

Die in diesem Kapitel beschriebene Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten dient der Abschätzung des Bereichs der Kollisionsgeschwindigkeiten der später folgenden Berechnung des Kraftverlaufes während der Kollision.

Für die rechnerische Kollisionsuntersuchung wurden, wie bereits erwähnt die 3 häufigsten, und in fast jedem Manöverkatalog in sehr ähnlicher Art und Weise auftretenden Szenarien berechnet.

Dazu werden gedanklich, Ego- und Target-Fahrzeug wie in Abbildung 3.4 gezeigt, hintereinander in einer Reihe mit einem Startabstand x_0 aufgestellt.

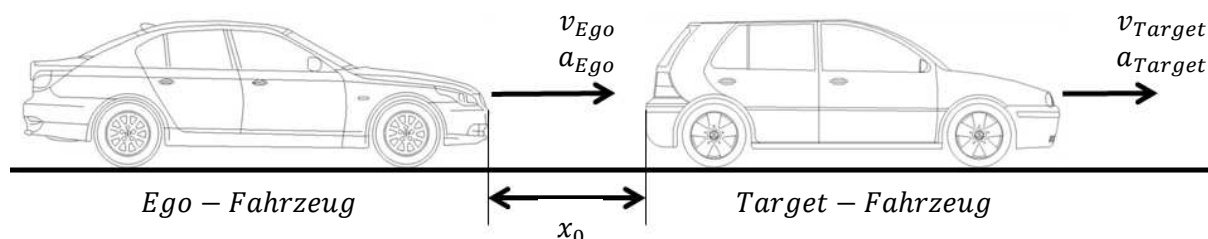


Abbildung 3.4: Anordnung der Fahrzeuge für die Kollisionsberechnung

Zum Startzeitpunkt t_0 der Berechnung sind dem Programm die folgenden Parameter anzugeben:

- Startgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges v_{Ego}
- Beschleunigung des Ego-Fahrzeuges a_{Ego} zum Zeitpunkt t_0
- Abstand x_0 zwischen Ego- und Target-Fahrzeug zum Zeitpunkt t_0
- Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges v_{Target} zum Zeitpunkt t_0
- Beschleunigung des Target-Fahrzeuges a_{Target} zum Zeitpunkt t_0

Diese Parameter, mit Ausnahme des Startabstandes der nicht in jedem Manöverkatalog definiert ist, können den einzelnen Tabellen aus Anhang A1. entnommen werden.

Für die Berechnung des Manövers wurden unter Verwendung der Bewegungsgleichungen aus Kapitel 2.7 die zurückgelegten Wege, sowie die Momentangeschwindigkeiten zu jedem Zeitpunkt berechnet.

Dadurch war es ebenfalls möglich die TTC mit Hilfe der Gleichung 2.1 zu jedem einzelnen Zeitpunkt zu erhalten.

Wurde in der Berechnung die vordefinierte TTC, wie sie in Kapitel 3.2.2 definiert wird, unterschritten, so wurde in der Berechnung die Notbremsung des Ego-Fahrzeuges eingeleitet.

Sollte es rechnerisch bei dem untersuchten Manöver zu keiner Kollision kommen, so wird als Ergebnis der verbleibende Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug bei deren Stillstand ausgegeben. Bei Manövern mit einer zu erwartenden Kollision wird die Relativgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Kollisionsbeginns als Ergebnis ausgegeben.

In den Abbildungen 3.5 und 3.6 sind beispielhaft die Verläufe der Geschwindigkeiten von Ego- und Target-Fahrzeug, die Beschleunigung des Ego-Fahrzeugs und der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen für ein Manöver mit und ohne Kollision dargestellt.

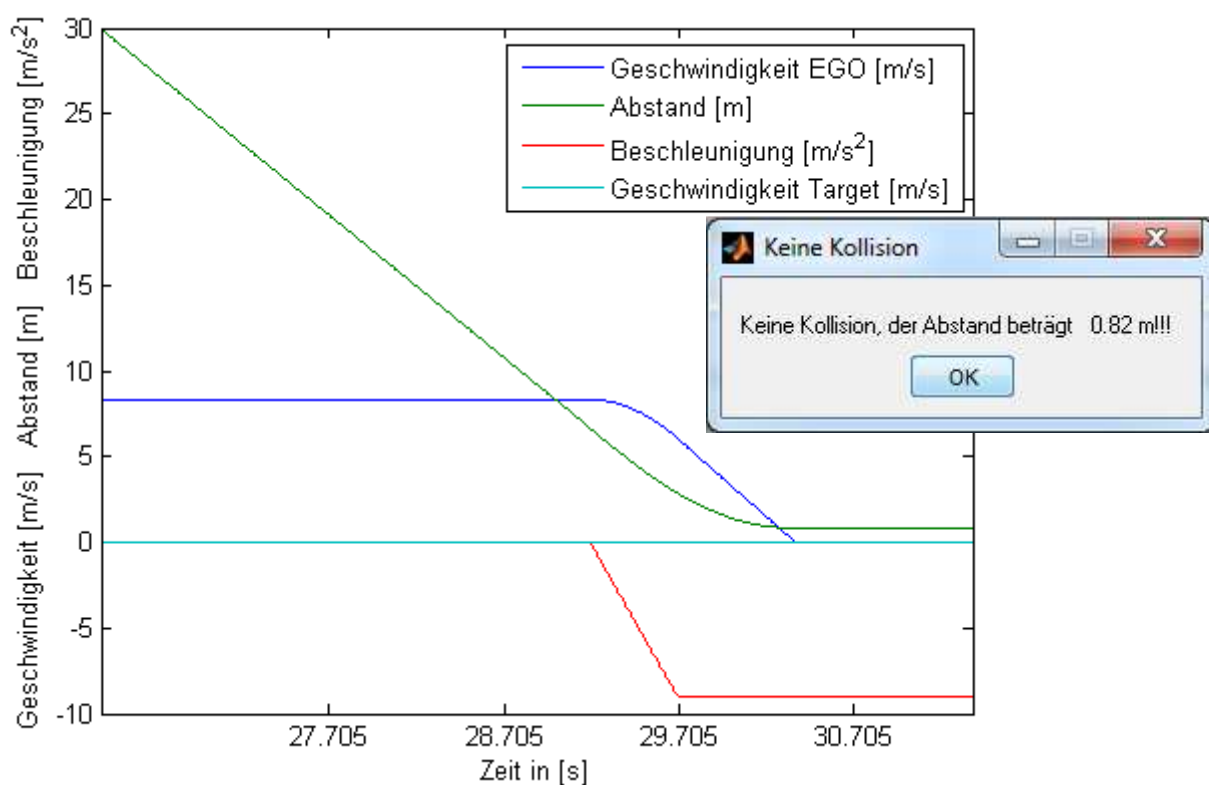


Abbildung 3.5: Ergebnis eines Manövers ohne zu erwartender Kollision

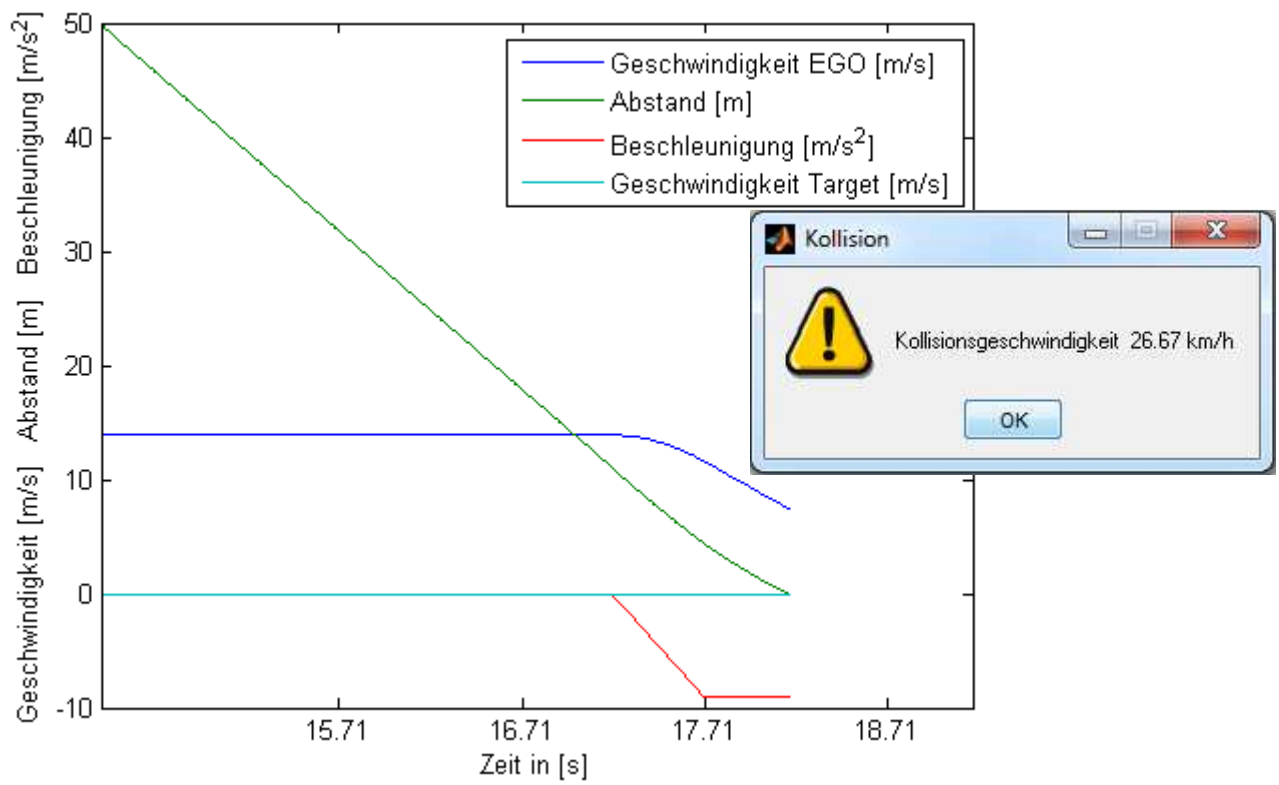


Abbildung 3.6: Ergebnis eines Manövers mit zu erwartender Kollision

3.2.2 Annahmen für die Berechnungen

Für die Kollisionsuntersuchung wurden, die aus [8] entnommenen, folgenden vereinfachten Annahmen getroffen:

- Linearer Verzögerungsaufbau von Ego- und Target-Fahrzeug innerhalb von 0,5 s
- Die maximale Verzögerung der Fahrzeuge beträgt 9 m/s^2
- Auslösen der Notbremsung durch das Assistenzsystem bei einer TTC von 0,8 s

Für die hier durchgeführten Kollisionsuntersuchungen wurde auf die Modellierung und Berücksichtigung der einzelnen Fahrwiderstände, sowie die Einflüsse der Achslastverschiebungen bewusst verzichtet und ein Maximalwert für die Verzögerung festgelegt.

Da der Notbremsassistent bei Erkennung einer Gefahrensituation die Bremsbeläge mittels "Pre-Fill" bereits an die Bremsscheiben anlegt wird in dieser Berechnung die Latenzzeit, die die Zeit zwischen Betätigung der Bremse und des Anstieges der Verzögerung wiedergibt vernachlässigt. [8]

3.2.3 Validierung der Berechnung

Im Zuge der Diplomarbeit hat sich die Möglichkeit ergeben die Ergebnisse, der hier durchgeführten Kollisionsuntersuchungen, mit jenen aus einer am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität, mittels IPG Carmaker durchgeführten mit einem Sensormodell ausgerüsteten Gesamtfahrzeugsimulation zu vergleichen.

Es wurden bei diesem Vergleich, Versuche aus dem ADAC-Manöverkatalog herangezogen.

Wie Tabelle 3.1 zeigt liegen die Ergebnisse beider Berechnungen nahe beieinander und zeigen erst bei Manövern mit höheren Geschwindigkeiten größere Abweichungen. Die vorhandenen Abweichungen sind auf Vereinfachungen in der Berechnung wie zum Beispiel:

- Vernachlässigung des Luftwiderstandes
- Vernachlässigung des Rollwiderstandes

zurückzuführen, womit die steigenden Abweichungen mit steigender Startgeschwindigkeit plausibel erscheinen.

Manövername	Gesamtfahrzeugsimulation IPG "Carmaker"	Vereinfachte Rechnung	Geschwindigkeitsunterschied
ADAC_20_0_0_250	Keine Kollision	Keine Kollision	
ADAC_30_0_0_250	Keine Kollision	Keine Kollision	
ADAC_40_0_0_250	11,8 km/h	12,8 km/h	1 km/h
ADAC_70_0_0_250	48,9 km/h	48,9 km/h	0 km/h
ADAC_50_20_0_200	Keine Kollision	Keine Kollision	
ADAC_100_60_0_200	9,8 km/h	13,6 km/h	3,8 km/h
ADAC_60_60_-3_40	36 km/h	37,7 km/h	1,7 km/h
ADAC_50_40_-3_120	25,8 km/h	26,5 km/h	0,7 km/h

Tabelle 3.1: Vergleich der Berechnungsergebnisse der Gesamtfahrzeugsimulation mit der vereinfachten Berechnung

3.2.4 Berechnungsergebnisse

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Kollisionsuntersuchung für die Szenarien

- Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit
- Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung

angeführt.

In den folgenden Tabellen wurde die Bezeichnung der einzelnen Manöver, wie hier beschrieben, durchgeführt.

Manövername: A_B_C_D_E_F	
A	Name des Projekts
B	Startgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges
C	Startgeschwindigkeit des Target-Fahrzeuges
D	Verzögerung des Target-Fahrzeuges
E	Startabstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug
F	Sonstige Informationen

Tabelle 3.2: Definition der Manövernamen

Sollte bei einem Manöver im Gegensatz zu anderen ein Parameter nicht definiert sein, wird dies mit einem "x" im Manövernamen gekennzeichnet. Bei mit "x" gekennzeichneten Startabständen wurde für die Berechnung ein Abstand von 250m zu Beginn der Berechnung gewählt.

Position F kann falls notwendig für zusätzliche Informationen, wie die laterale Überdeckung mit zum Beispiel 100%ü (100%ige Überdeckung) verwendet werden.

Die Berechneten Manöver beschränken sich auf Manöver auf gerader Strecke, mit einer vollständigen lateralen Überdeckung der beiden Fahrzeuge und berücksichtigt nur Manöver bei denen der Fahrer des Ego-Fahrzeuges keine Reaktion zeigt.

Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug			
Manövername	Kollision		Keine Kollision
	Kollisionsgeschwindigkeit		Abstand
ADAC			
ADAC_20_0_0_250			1,43 m
ADAC_30_0_0_250			0,82 m
ADAC_40_0_0_250	12,78	km/h	
ADAC_70_0_0_250	48,94	km/h	
ADAC_50_40_-3_120	26,51	km/h	
Thatcham			
Thatcham_10_0_0_x			1,18 m
Thatcham_15_0_0_x			1,42 m
Thatcham_20_0_0_x			1,43 m
Thatcham_25_0_0_x			1,23 m
Thatcham_30_0_0_x			0,82 m
Thatcham_35_0_0_x			0,18 m
Thatcham_40_0_0_x	12,8	km/h	
Thatcham_45_0_0_x	19,89	km/h	
Thatcham_50_0_0_x	26,67	km/h	
Thatcham_55_0_0_x	32,48	km/h	
Thatcham_60_0_0_x	37,81	km/h	
Thatcham_65_0_0_x	43,62	km/h	
Thatcham_70_0_0_x	48,94	km/h	
Thatcham_75_0_0_x	54,1	km/h	
Thatcham_80_0_0_x	59,26	km/h	
Euro NCAP			
Euro NCAP_10_0_0_x			1,18 m
Euro NCAP_15_0_0_x			1,42 m
Euro NCAP_20_0_0_x			1,43 m
Euro NCAP_25_0_0_x			1,23 m
Euro NCAP_30_0_0_x			0,82 m
Euro NCAP_35_0_0_x			0,18 m
Euro NCAP_40_0_0_x	12,8	km/h	
Euro NCAP_45_0_0_x	19,89	km/h	
Euro NCAP_50_0_0_x	26,67	km/h	
Assess			
ASSESS_50_0_0_41_100%ü	26,51	km/h	
ASSESS_80_0_0_66_100%ü	59,26	km/h	
eValue			
eVALUE_50_0_0_200	26,67	km/h	
eVALUE_70_0_0_200	48,94	km/h	
US NCAP			
USNCAP_72,4_0_0_150	50,94	km/h	
EU Verordnung 347			
EU347_80_0_0_120	59,26	km/h	

Tabelle 3.3: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug"

Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit			
Manövername	Kollision		Keine Kollision
	Kollisionsgeschwindigkeit		Abstand
ADAC			
ADAC_50_20_0_200			0,79 m
ADAC_100_60_0_200	13,59	km/h	
Thatcham			
Thatcham_50_20_0_x			0,79 m
Thatcham_55_20_0_x			0,16 m
Thatcham_60_20_0_x	12,46	km/h	
Thatcham_65_20_0_x	20,05	km/h	
Thatcham_70_20_0_x	26,67	km/h	
Thatcham_75_20_0_x	32,32	km/h	
Thatcham_80_20_0_x	38,13	km/h	
Euro NCAP			
Euro NCAP_30_20_0_x			1,17 m
Euro NCAP_35_20_0_x			1,37 m
Euro NCAP_40_20_0_x			1,41 m
Euro NCAP_45_20_0_x			1,21 m
Euro NCAP_50_20_0_x			0,79 m
Euro NCAP_55_20_0_x			0,16 m
Euro NCAP_60_20_0_x	12,46	km/h	
Euro NCAP_65_20_0_x	20,05	km/h	
Euro NCAP_70_20_0_x	26,67	km/h	
Euro NCAP_75_20_0_x	32,32	km/h	
Euro NCAP_80_20_0_x	38,13	km/h	
Assess			
ASSESS_50_10_0_33_100%ü	12,46	km/h	
ASSESS_100_20_0_67_100%ü	59,43	km/h	
eValue			
eValue_70_30_0_100	13,11	km/h	
eValue_70_50_0_100			1,34 m
US NCAP			
USNCAP_72,4_32,2_0_100	13,47	km/h	
EU Verordnung 347			
EU347_80_12_0_120	46,78	km/h	
EU347_80_32_0_120	24,35	km/h	

Tabelle 3.4: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit"

Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung			
Manövername	Kollision		Keine Kollision
	Kollisionsgeschwindigkeit		Abstand
ADAC			
ADAC_60_60_-3_40	37,75	km/h	
ADAC_50_40_-3_120	26,51	km/h	
Thatcham			
Thatcham_50_50_-2_12			0,41 m
Thatcham_50_50_-2_40	25,27	km/h	
Thatcham_50_50_-6_12	29,21	km/h	
Thatcham_50_50_-6_40	26,51	km/h	
Euro NCAP			
Euro NCAP_50_50_-2_12			0,41 m
Euro NCAP_50_50_-2_40	25,27	km/h	
Euro NCAP_50_50_-6_12	29,21	km/h	
Euro NCAP_50_50_-6_40	26,51	km/h	
Assess			
Assess_50_50_-4_14	21,47	km/h	
Assess_50_50_-7_14	34,61	km/h	
Assess_80_80_-4_45	51,26	km/h	
Assess_80_80_-7_45	62,02	km/h	
eValue			
eValue_70_70_-3_40	37,75	km/h	
eValue_70_70_-5_40	52,18	km/h	
US NCAP			
US NCAP_72,4_72,4_-0,3_30	30,02	km/h	
EU Verordnung 347			
Dieses Manöver ist in der EU Verordnung 347 nicht enthalten			

Tabelle 3.5: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung"

3.2.5 Schlussfolgerung aus der Kollisionsuntersuchung

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass eine Vermeidung von Kollisionen zwischen Ego- und Target-Fahrzeug unter den verwendeten Annahmen, bei weitem nicht für jede Differenzgeschwindigkeit zwischen den beiden Kraftfahrzeugen möglich ist.

Nach Untersuchung der zu erwartenden Kollisionsgeschwindigkeiten konnte ein Bereich bis zirka 62 km/h für die folgende Berechnung der Kraftverläufe während der Kollision festgelegt werden.

3.3 Abschätzung der auftretenden Kräfte zwischen Versuchsanlage und Ego-Fahrzeug

Um die Kräfte die bei einer Kollision zwischen der Versuchsanlage und dem Ego-Fahrzeug entstehen abschätzen zu können, wurde in dieser Diplomarbeit ein Matlab/Simulink-Modell erstellt mit dessen Hilfe die Bewegungsgleichungen der einzelnen Körper gelöst, und die wirkenden Kräfte berechnet werden konnten. (s. Abbildung 3.7)

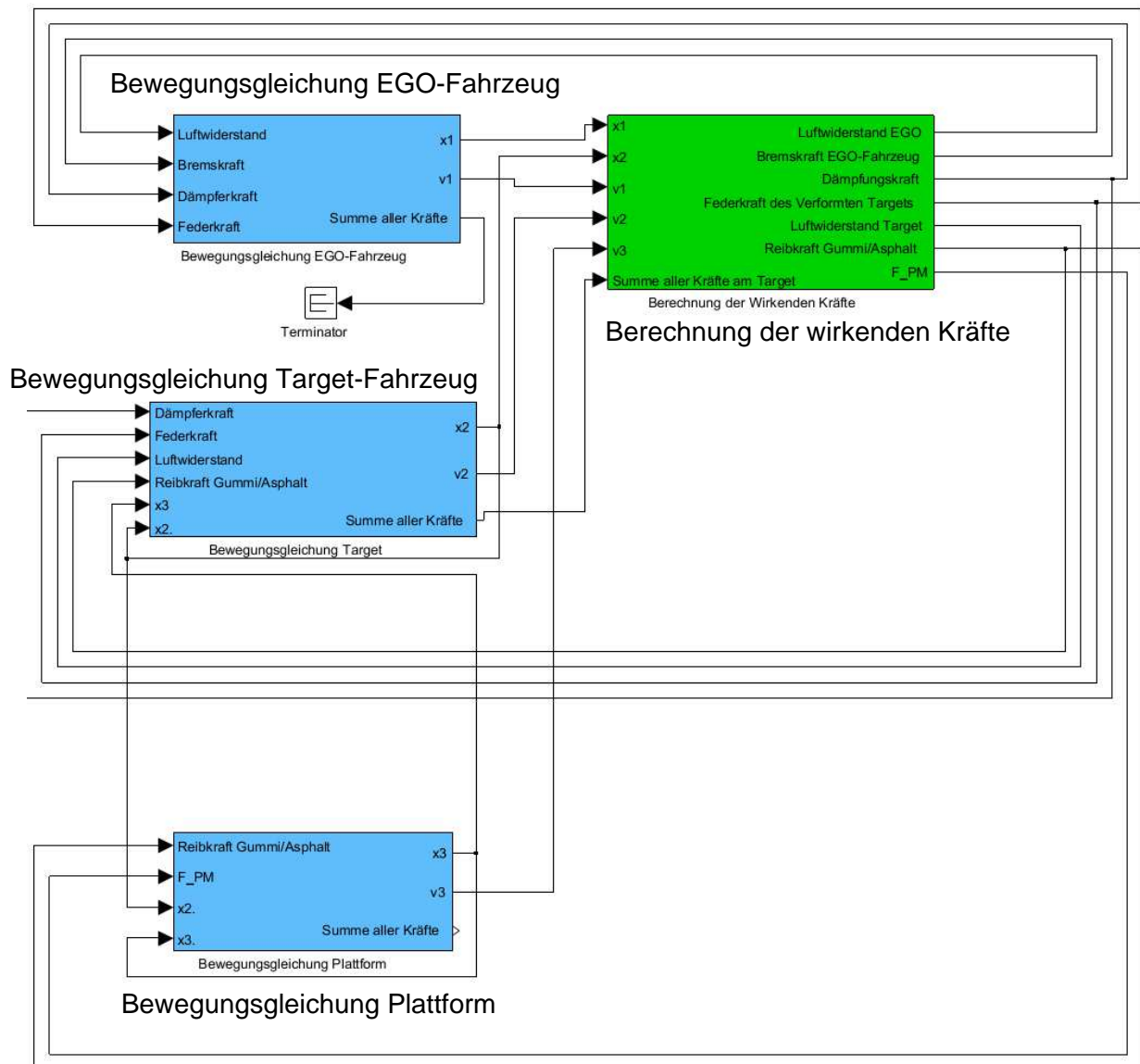


Abbildung 3.7: Simulinkmodell der Kollisionsrechnung

$$\vec{F} = m * \vec{a} \quad (3.1)$$

ebenfalls der zeitliche Verlauf, der auf die Versuchsanlage wirkenden Reaktionskraft $F_{Kontakt}$ erhalten werden.

Für die Berechnung der Kontaktkraft während der Kollision wurde als Fahrmanöver das Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug verwendet. Als Eingangsgeschwindigkeit wurde der zuvor abgeschätzte Geschwindigkeitsbereich der Kollisionsgeschwindigkeit und als Startzeitpunkt der Kollisionsbeginn gewählt.

3.3.1 Modellierung der ADAC-Fahrzeugattrappe

Die in Abbildung 3.8 gezeigte Fahrzeugattrappe des Allgemeinen Deutschen Automobil Clubs besteht, wie bereits in Kapitel 2.6.1 beschrieben, aus einer luftgefüllten Gummikonstruktion, bestehend aus luftgefüllten vertikalen Wänden an der Vorder- und Rückseite, die über 4 horizontal in Fahrtrichtung positionierte, zylindrische Luftkammern verbunden sind. (s. Abbildung 3.10)



Abbildung 3.8: Fahrzeugattrappe des ADAC

Bei einer Kollision mit dem Ego-Fahrzeug werden diese 4 Luftkammern elastisch verformt und die darin befindliche Luft komprimiert. (s. Abbildung 3.11)

Das für die Abschätzung der resultierenden Kraft F durch Verformung der Fahrzeugattrappe idealisierte Modell, besteht aus 2 starren Wänden, deren Abstand im Falle einer Kollision entsprechend der Verformung der Attrappe verändert wird und einem Feder- Dämpfersystem zwischen diesen Wänden. (s. Abbildung 3.9) Für die Modellierung der Federsteifigkeit wurden zwischen der Vorder- und Rückwand, entsprechend den 4 Zylindrischen Luftpolstern im Inneren der Attrappe, 4 durch einen Kolben abgeschlossene Zylinder verwendet. In Abbildung 3.12 ist einer dieser Zylinder graphisch dargestellt.

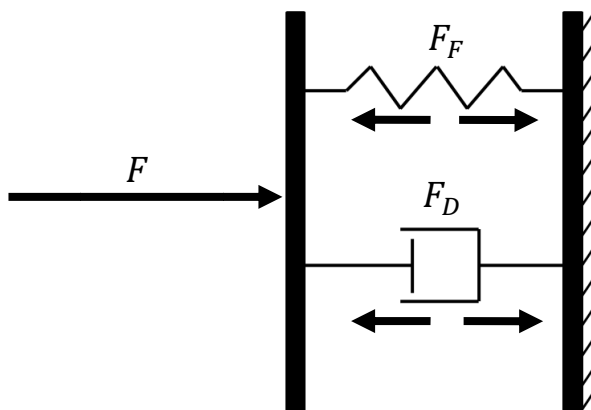


Abbildung 3.9: Idealisiertes Modell der Fahrzeugattrappe

Die Abschätzung der unbekanntenen Federsteifigkeit der verwendeten Fahrzeugattrappe wird im folgenden Abschnitt anhand eines Zylinders im Detail besprochen. Der Index i bezeichnet in den folgenden Formel jeweils die Nummer eines der vier Zylinder.

Es wird für die hier durchgeführte Abschätzung angenommen, dass sich bei einer Kollision alle 4 Luftkammern gleich verhalten, und ein maximaler Verformungsweg von einem Meter zu Verfügung steht. Für die Abschätzung der Federkraft wird die vom Ego-Fahrzeug abgewandte Wand der Fahrzeugattrappe als fix eingespannt angenommen.

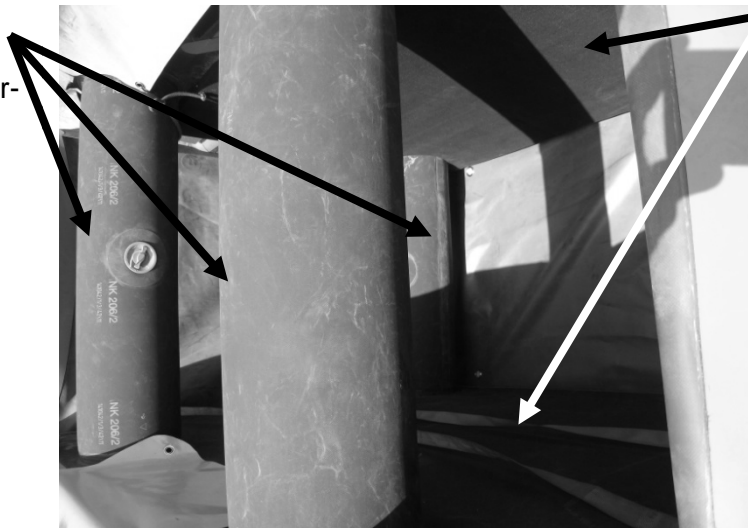
Aufgrund der Kompression der Luft im Inneren der Zylinder, steigt der Zylinderdruck in Abhängigkeit der Kolbenposition an und die benötigte Kraft für eine weitere Verformung steigt, wie bei einer Luftfeder üblich. Dieser Zusammenhang wurde mit Hilfe der isentropen Kompression für einen der vier Zylinder berechnet. [51]

$$\frac{p_{i2}}{p_{i1}} = \left(\frac{V_{i1}}{V_{i2}} \right)^{\kappa_{Luft}} \quad (3.2)$$

In Gleichung 3.2 stehen p_{i1} und V_{i1} für den Druck und das Volumen im unverformten Zustand, p_{i2} und V_{i2} für Druck und Volumen im verformten Zustand und κ_{Luft} gibt den Isentropenexponenten für Luft an, der für die Berechnungen mit $\kappa_{Luft} = 1,4$, einer adiabaten Zustandsänderung auf Grund der schnellen Verformung und der daher sehr geringen Zeit für einen Wärmeaustausch, angenommen wurde. [52]

Der Innendruck p_{i1} und das Volumen V_{i1} der Zylinder im unverformten Zustand der Fahrzeugattrappe können für die Berechnung als bekannt angenommen werden. Dem Handbuch des ADAC-Targets konnte der Wert des Innendruckes $p_1 = 0,25 \text{ bar}$ entnommen werden.

Zylindrische
Luftkammern
zwischen den
Wänden der Vorder-
und Rückseite



Luftkammern an
Vorder- und
Rückseite der
Attrappe

Abbildung 3.10: Blick von der Unterseite ins Innere der ADAC-Fahrzeugattrappe

Das Volumen V_{i1} im unverformten Zustand lässt sich mit der Zylindervolumensformel, wie sie in Gleichung 3.3 gezeigt ist, berechnen.

$$V_{i1} = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * L \quad (3.3)$$

In Gleichung 3.3 steht d für den Durchmesser eines der vier Zylinder und L für die Länge im unverformten Zustand. Der Durchmesser eines dieser Zylinder konnte einer Konstruktionszeichnung der ADAC-Fahrzeugattrappe näherungsweise entnommen werden und wurde für die Berechnung mit $d = 200\text{mm}$ festgelegt, währenddessen die Länge L mit einem Meter angenommen wurde. [53]



Abbildung 3.11: Verformung der ADAC Fahrzeugattrappe bei Kollision [5]

Das vom Verformungsweg abhängige Zylindervolumen V_{i2} (3.5) wurde ebenfalls mit der Formel des Zylindervolumens berechnet, wobei hier jedoch an Stelle der fixen Zylinderlänge L , die um den Verformungsweg ΔL verringerte Länge s (3.4) eingesetzt wurde.

$$s = L - \Delta L \quad (3.4)$$

$$V_{i2(s)} = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * s \quad (3.5)$$

Damit war es möglich den Druck im Zylinder in Abhängigkeit des Verformungsweges, nach Gleichung 3.6, zu berechnen.

$$p_{i2(s)} = p_{i1} * \left(\frac{V_{i1}}{V_{i2}}\right)^{\kappa_{Luft}} \quad (3.6)$$

Das primäre Ziel der Berechnung war jedoch nicht der Druck $p_{i2(s)}$, sondern die abgeschätzt Federkraft der Fahrzeugattrappe, wurde durch Bildung eines Kräftegleichgewichtes (Gleichung 3.8) zwischen der äußeren Kraft F_{iF} und der auf den Kolben wirkenden Kraft F_{ip} (Gleichung 3.7), welche durch den Innendruck im Zylinder entsteht, die nichtlineare Federkennlinie der Fahrzeugattrappe berechnet.

Abbildung 3.12 stellt das Kräftegleichgewicht zwischen der äußeren Kraft F_{iF} und der Druckkraft F_{ip} grafisch dar.

$$F_{ip} = p_{i2(s)} * A_{Kolben} \quad (3.7)$$

$$F_{iF} = F_{ip} = p_{i2(s)} * A_{Kolben} \quad (3.8)$$

Die Variable A_{Kolben} in (3.8) bezeichnet die Kolbenfläche, welche direkt abhängig vom Durchmesser des Zylinders ist.

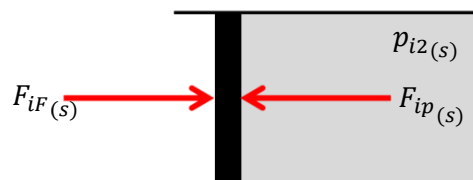


Abbildung 3.12: Kräftegleichgewicht zwischen Druckkraft F_{ip} und äußerer Kraft F_{iF}

Die gesamte Federsteifigkeit der Attrappe ergibt sich nun aus der Summe aller 4 Zylinder.

$$F_F = \sum_{i=1}^4 F_{Fi} \quad (3.9)$$

Das Ergebnis des rechnerisch abgeschätzten Federsteifigkeitsverlaufes als Summe aller 4 Zylinder, und des Druckanstieges über dem Verformungsweg ist in Abbildung 3.13 dargestellt.

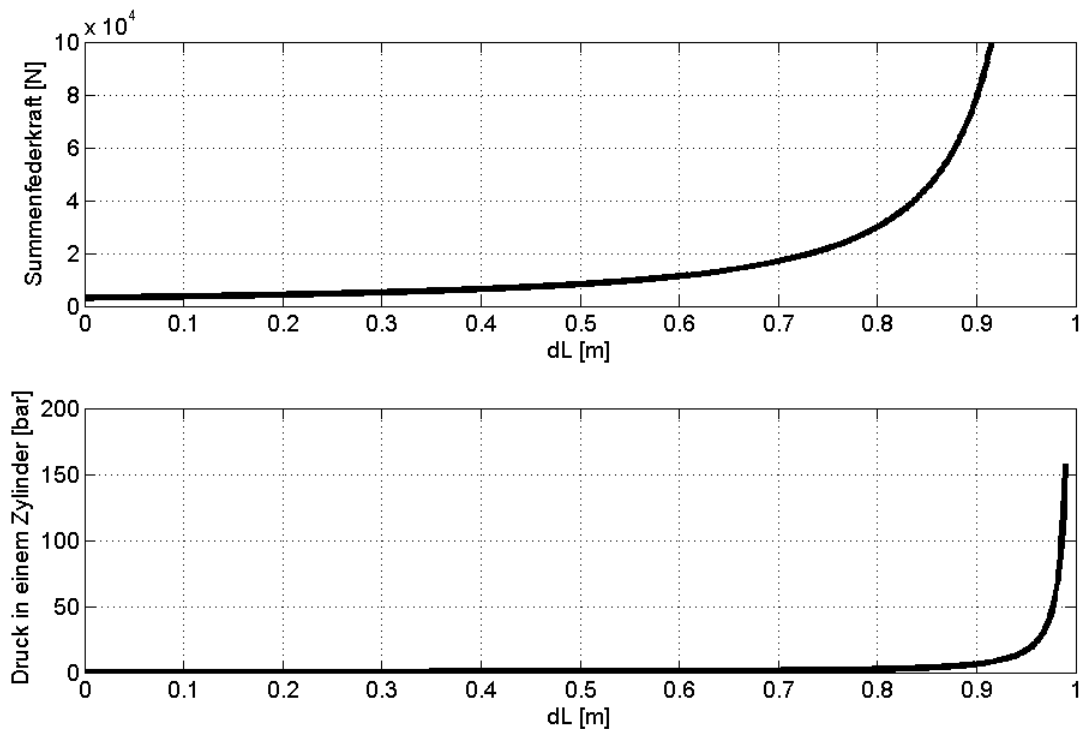


Abbildung 3.13: Abgeschätzter Verlauf der Federkennlinie und des Druckanstiegs im Inneren eines Zylinders

Für die Berechnung der Dämpferkraft war es notwendig die Dämpfungskonstante d für die Fahrzeugattrappe abzuschätzen. Da die Fahrzeugattrappe nicht zu Verfügung stand, und auch der Hersteller dieser Attrappe keine Angaben über das Dämpfungsverhalten machen konnte, wurde auf Grund der Ähnlichkeit des Aufbaus der Attrappe und eines Fahrzeugreifens die Dämpfungskonstante d wie in [54] auf Seite 8 beschrieben, auf ein tausendstel der Federsteifigkeit in SI-Einheiten abgeschätzt.

Somit ließ dich die resultierende Dämpferkraft mit der Verformungsgeschwindigkeit $\dot{\Delta L}$ und der Dämpfungskonstanten d nach Gleichung 3.10 berechnen.

$$F_D = \dot{\Delta L} * d \quad (3.10)$$

3.3.2 Bewegungsgleichungen für die Berechnung

Um die Bewegung der einzelnen Körper mathematisch beschreiben zu können, ist es notwendig die Bewegungsgleichungen jedes Körpers aufzustellen. Es werden im folgenden Abschnitt die Bewegungsgleichungen für das Ego-Fahrzeug, sowie für jedes der 3 zu untersuchenden Konzepte der Reihe nach aufgestellt und beschrieben.

3.3.2.1 Bewegungsgleichung des Ego-Fahrzeugs

Um die Bewegungsgleichung für das Ego-Fahrzeug aufstellen zu können, wurde es im ersten Schritt freigeschnitten und die in Längsrichtung auf das Fahrzeug wirkenden Kräfte während der Kollision eingetragen. (s. Abbildung 3.14) Danach konnte durch Bildung des Kräftegleichgewichts die Bewegungsgleichung aufgestellt werden.

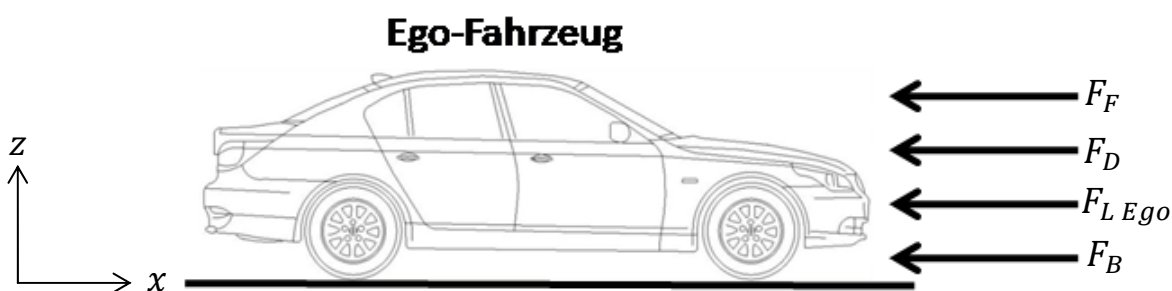


Abbildung 3.14: Auf das Ego-Fahrzeug wirkende Kräfte

Wie in Abbildung 3.14 ersichtlich wurde bei der Modellierung der Rollwiderstand der Reifen, sowie der Steigungswiderstand nicht einzeln Modelliert, sondern indirekt mit der Bremskraft F_B mitberücksichtigt. Da die Verzögerung des Ego-Fahrzeuges, wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben, vorgegeben ist, ergibt sich die Kraft $F_{Bremskraft}$ mit dem 2ten Newtonschen Gesetz nach Gleichung 3.11.

$$F_{B(t)} = m_{Ego} * a_{Ego(t)} \quad (3.11)$$

In dieser Gleichung bezeichnen m_{Ego} und $a_{Ego(t)}$ die Masse und den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung des Ego-Fahrzeuges. F_F und F_D stehen für die Federkraft und Dämpfungskraft der Fahrzeugattrappe, deren Berechnung bereits in Kapitel 3.3.1 besprochen wurde. Der Luftwiderstand des Fahrzeuges $F_{L Ego}$ kann nach [55] mittels Gleichung 3.12 berechnet werden.

$$F_{L Ego} = \frac{1}{2} * A_{Ego} * v_{Ego}^2 * c_W * \rho_L \quad (3.12)$$

Der, in Gleichung 3.12 beschriebene, Luftwiderstand des Ego-Fahrzeuges ist abhängig von der Geschwindigkeit v_{Ego} , von der Dichte der Luft ρ_L , des Widerstandbeiwerts c_W und der Stirnfläche A_{Ego} des Fahrzeuges.

Mit diesen Informationen lässt sich die Bewegungsgleichung als Summe aller am Fahrzeug angreifender Kräfte aufstellen. (s. Gleichung 3.13)

$$\sum F = m_{Ego} * \ddot{x}_{Ego} = -F_F - F_D - F_{L Ego} - F_B \quad (3.13)$$

Durch Umformung von Gleichung 3.13 erhält man die resultierende Beschleunigung des Ego-Fahrzeuges als Differentialgleichung, die mittels Matlab/Simulink gelöst werden kann. (Gleichung 3.14)

$$\ddot{x}_{Ego} = \frac{-F_F - F_D - F_{L Ego} - F_B}{m_{Ego}} \quad (3.14)$$

3.3.2.2 Bewegungsgleichung des Konzeptes 1

Für das Aufstellen der Bewegungsgleichung des Konzeptes 1 wurde die selbe Vorgehensweise wie bereits in Kapitel 3.3.2.1 beschrieben gewählt.

Die Versuchsanlage wurde, wie in Abbildung 3.15 dargestellt, freigeschnitten und die an ihr angreifenden Kräfte eingetragen.

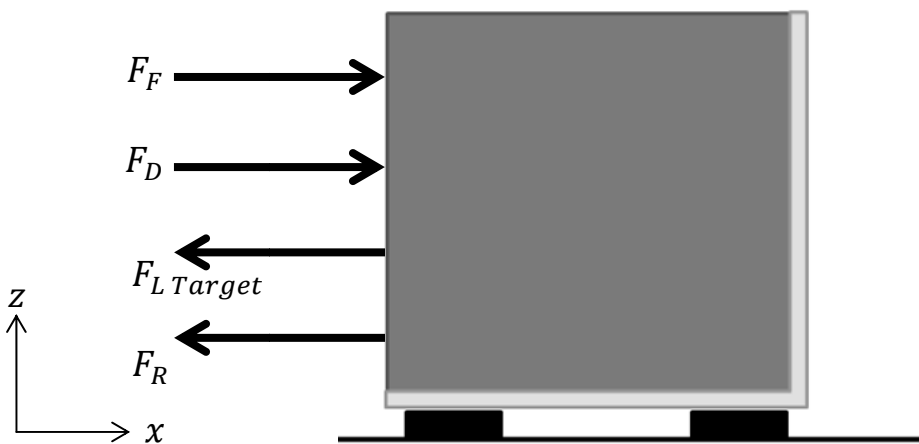


Abbildung 3.15: Freigeschnittene Versuchsanlage des Konzeptes 1

Die in Abbildung 3.15 eingetragenen Kräfte F_F und F_D geben die Feder- und Dämpferkraft der Fahrzeugattrappe an, während $F_{LTarget}$ den Luftwiderstand der Versuchsanlage wiedergibt.

$$F_{LTarget} = \frac{1}{2} * A_{Target} * v_{Target}^2 * c_W * \rho_{Luft} \quad (3.15)$$

Die Reibkraft F_R zwischen Fahrbahn und Reibelementen wurde so modelliert, dass sich deren Wert in Abhängigkeit der Geschwindigkeit mit der sich die Versuchsanlage bewegt, zwischen einer Haftreibung μ_H und Gleitreibung μ_G ändern kann.

$$F_R = \begin{cases} \mu_H * m_{Target} * g & \text{für } |\dot{x}| = 0 \\ \mu_G * m_{Target} * g & \text{für } |\dot{x}| > 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

Das Produkt aus m_{Target} und der Erdbeschleunigung g bildet in Gleichung 3.16 die Normalkraft zwischen Fahrbahn und Reibelementen.

Da das Verzögerungsverhalten möglichst dem eines realen Fahrzeuges entsprechen sollte, wurde als Werkstoff der Reibelemente ein Gummi mit einer Härte von zirka 65Shore verwendet, was in etwa einem Sommerreifen entspricht. (56)

Für den Haftreibungskoeffizient μ_H wurde bei einer Reibpaarung von Autoreifen auf trockenem Asphalt laut Literatur [55] ein Wert von $\mu_H = 1,1$ verwendet. Der Gleitreibungskoeffizient wurde mit $\mu_G = 0,8$ eingesetzt.

Durch Bildung der Summe aller Kräfte und anschließender Umformung ergibt sich, wie in Kapitel 3.3.2.1, die Bewegungsgleichung für das Target zu:

$$\ddot{x}_{Target} = \frac{+F_F + F_D - F_{LTarget} - F_R}{m_{Target}} \quad (3.17)$$

3.3.2.3 Bewegungsgleichung des Konzeptes 2

Für das Aufstellen der Bewegungsgleichungen des Konzeptes 2 ist es notwendig die Fahrzeugattrappe und die Plattform getrennt voneinander zu betrachten und freizuschneiden, wie es in Abbildung 3.16 dargestellt ist.

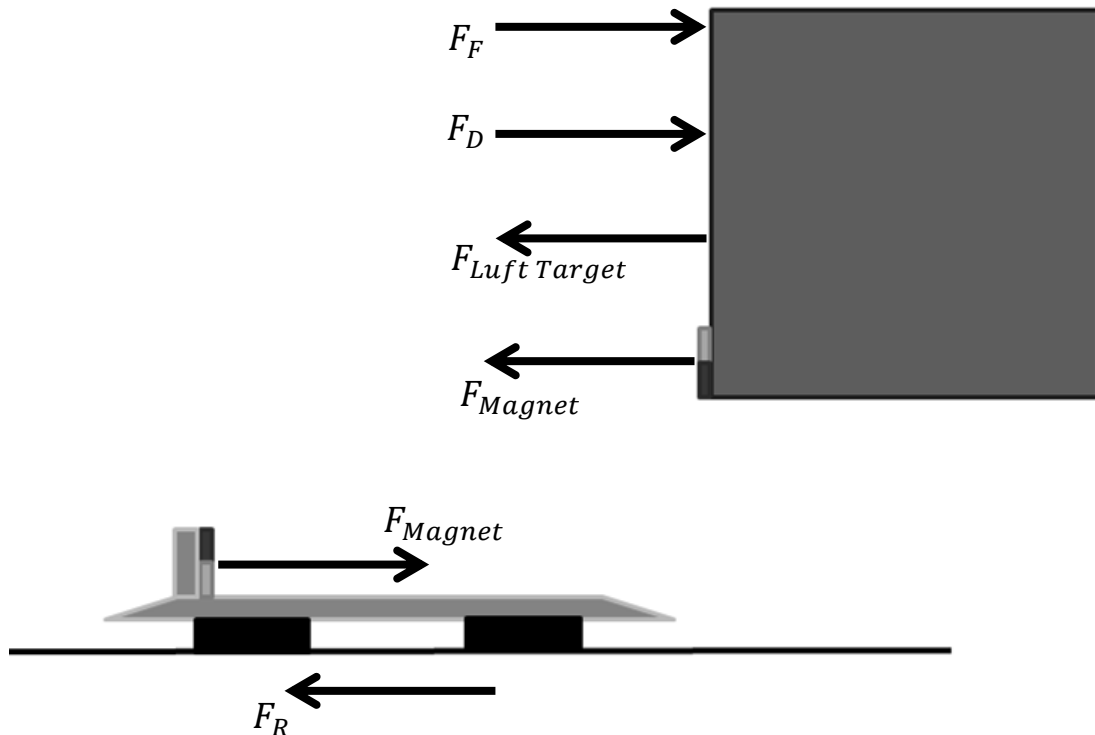


Abbildung 3.16: Freigeschnittene Versuchsanlage des Konzeptes 2

F_F und F_D stehen in Abbildung 3.16 erneut für die Feder- und Dämpferkraft, sowie $F_{L Target}$ für den Luftwiderstand. Das Formelzeichen F_M steht für die Haltekraft der Permanentmagnete zwischen Fahrzeugattrappe und Plattform. Diese Magnetkraft F_M wurde gerade so groß gewählt, dass sich bei einer Verzögerung von $2g$ die Fahrzeugattrappe mit ihrem Gewicht m_{Target} nicht von der Plattform löst und kann mit Gleichung (3.18) abgeschätzt werden.

$$F_{Magnet} = m_{Target} * 2 * g \quad (3.18)$$

Die Bewegungsgleichungen für Attrappe und Plattform ergeben sich wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt zu:

$$\ddot{x}_{Target} = \frac{+F_F + F_D - F_{L Target} - F_M}{m_{Target}} \quad (3.19)$$

$$\ddot{x}_{Pl} = \frac{F_M - F_R}{m_{Pl}} \quad (3.20)$$

Für die Berechnung der Reibkraft wurde das in Kapitel 3.3.2.2 beschriebene Reibkraftmodell eingesetzt. Die Formelzeichen \ddot{x}_{Pl} und m_{Pl} stehen in (3.20) für die Beschleunigung und Masse der Plattform.

3.3.2.4 Bewegungsgleichung des Konzeptes 3

Um Konzept 3 mit den beiden bereits besprochenen Konzepten vergleichen zu können, wurde eine "reduzierte" Masse berechnet, deren translatorisches Verhalten sich gleich verhält, wie die drehbar gelagerte Auslegerkonstruktion.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die folgende Abschätzung nur für sehr kleine Verdrehwinkel des Auslegers Gültigkeit besitzt. Für die hier durchgeführte Abschätzung wurden die Lager des Auslegers mit ihrer Lagerreibung vernachlässigt.

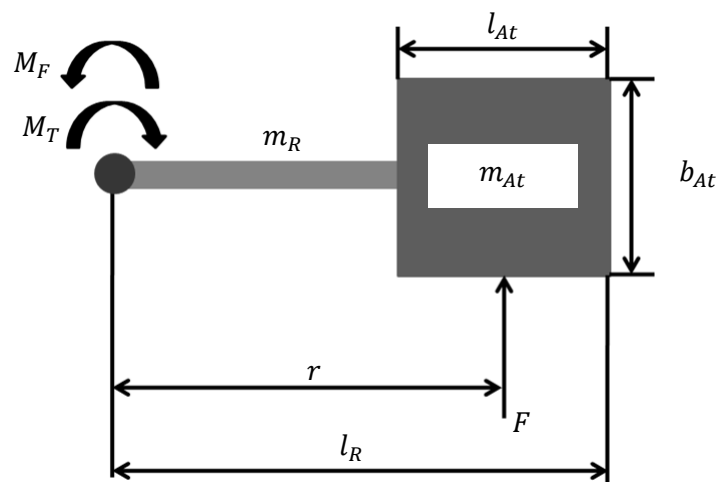


Abbildung 3.17: Momentengleichgewicht an der Auslegerkonstruktion

In der Berechnung wurde ein Stahlrohr mit einem Außendurchmesser von 200mm, einer Wandstärke von 5mm und einer Länge von 3500mm angenommen, an dessen Ende die Fahrzeugattrappe montiert wird. Danach wurde das Trägheitsmoment des Rohres I_{R0} , sowie das Trägheitsmoment des Targets I_{At} um ihre Hauptträgheitsachsen berechnet, damit diese im Anschluss mit Hilfe des Steineranteils um die vertikale Drehachse des Auslegers umgerechnet werden können. (s. Gleichungen 3.21 bis 3.25)

Trägheitsmoment des
Hohlzylinders:
(vgl. [52])

$$I_{R0} = \frac{m_R}{12} * [3 * R^2 + 3 * r^2 + l_R^2] \quad (3.21)$$

Trägheitsmoment des Rohres
um die Drehachse des

$$I_R = I_{R0} + m_R * \left(\frac{l_R}{2}\right)^2 \quad (3.22)$$

Auslegers:

Trägheitsmoment der
Attrappe:
(vgl. [52])

$$I_{At 0} = \frac{m_{At}}{12} * [l_{At}^2 + b_{At}^2] \quad (3.23)$$

Trägheitsmoment der
Attrappe
um die Drehachse des
Auslegers:

$$I_{At} = I_{At 0} + m_{At} * (l_R - \frac{l_{At}}{2})^2 \quad (3.24)$$

Das gesamte Trägheitsmoment um die Drehachse des Auslegers wurde durch Addition der beiden Ergebnisse aus den Gleichungen (3.22) und (3.24) erhalten.

Gesamtes
Trägheitsmoment um die
Drehachse des Auslegers:

$$I = I_R + I_{At} \quad (3.25)$$

Stellt man, wie in Abbildung 3.17 dargestellt, das Momentengleichgewicht zwischen dem Drehmoment der trägen Masse und dem auf Grund der Kraft F entstehenden Drehmoments M_F auf, so erhält man Gleichung (3.26).

$$M_F = M_T \quad (3.26)$$

Das Drehmoment auf Grund der Trägheit lässt sich auch schreiben als,

$$M_T = I * \alpha = I * \ddot{\varphi} \quad (3.27)$$

während das Drehmoment auf Grund der Kraft F mittels

$$M_F = F * r \quad (3.28)$$

berechnet werden kann. Formelzeichen "r" steht in dieser Gleichung für den horizontalen Abstand zwischen dem Kraftangriffspunkt in der Mitte des weichen Zieles und der Drehachse des Auslegers.

Die Kraft F kann dabei auch noch als das Produkt aus Masse und Beschleunigung geschrieben werden, womit sich Gleichung (3.28) auch ausdrücken lassen kann als:

$$M_F = m * a * r \quad (3.29)$$

Ausgehend von der Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn,

$$v = \omega * r \quad (3.30)$$

lässt sich die Beschleunigung auf einer Kreisbahn berechnen.

$$a = \ddot{\varphi} * r \quad (3.31)$$

Setzt man nun die gewonnenen Ausdrücke (3.27) und (3.29) in das Momentengleichgewicht ein, so erhält man den Ausdruck:

$$I * \ddot{\varphi} = m * a * r \quad (3.32)$$

Nach Einsetzen von (3.31) in (3.32), Kürzen von $\ddot{\varphi}$ und Umformung der erhaltenen Gleichung, lässt sich die "reduzierte" Masse als:

$$m = \frac{I}{r^2} \quad (3.33)$$

anschreiben.

In Abbildung 3.18 ist der Verlauf der "reduzierten" Masse, über der Masse der Fahrzeugattrappe aufgetragen. Man kann erkennen, dass sich das drehbar gelagerte System mit einem Attrappengewicht von 75kg, wie ein sich translatorisch bewegendes System mit einem Gewicht von 129kg verhält.

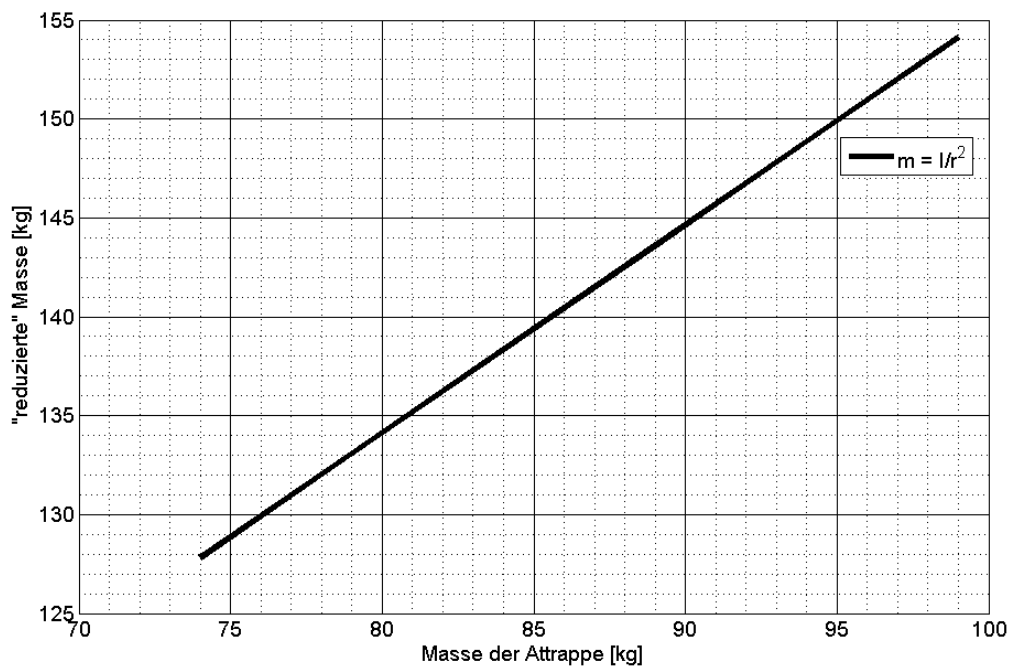


Abbildung 3.18: Verlauf der "Reduzierten" Masse über dem Attrappengewicht

Für die Simulation des Konzeptes 3 wurde die Bewegungsgleichung (3.17) unter Verwendung der "reduzierten" Masse hergenommen, jedoch in der Berechnung der Reibkraft, die Werte für den Haftreibungskoeffizienten $\mu_H = 0,3$ sowie $\mu_G = 0,1$ anstelle der für PKW-Reifen gültigen $\mu_H = 1,1$ und $\mu_G = 0,8$ verwendet. Dies wurde gemacht um auch etwas Lagerreibung bei der Berechnung zu berücksichtigen.

3.3.3 Annahmen für die Berechnungen

Bei der Durchführung der Simulation wurde ein Fahrzeuggewicht des Ego-Fahrzeuges von 1500 kg angenommen. Das Gewicht der Versuchsanlage wurde zwischen 74 kg und 124 kg in 5 kg Schritten variiert, um den Gewichtseinfluss auf die entstehenden Kollisionskräfte zu untersuchen. In dem Gewicht für die Versuchsanlage ist bereits das Attrappengewicht von 44 kg mit berücksichtigt.

Für das Konzept 2 wurde ein Gewicht der Plattform von 100 kg verwendet. Die Haltekraft der Permanentmagnete wurde mittels Gleichung (3.18) berechnet und als konstanter Wert der Berechnung hinterlegt.

Konzept 3 wurde mit einem aus der Abschätzung der "reduzierten" Masse (s. Kapitel 3.3.2.4) stammendem Gewicht zwischen 128 kg und 154 kg berechnet.

Aus der Abschätzung der Kollisionsgeschwindigkeiten war der Geschwindigkeitsbereich zwischen 0km/h und zirka 62 km/h bekannt. Daher wurde die Berechnung mit Kollisionsgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 17 m/s mit einer Schrittweite von 1 m/s durchgeführt.

Für die Berechnung der Federkraft innerhalb der Simulation wurde der Verlauf der nichtlinearen Federkennlinie in einem "Lookup-Table" hinterlegt und für die Berechnung der Dämpferkraft die abgeschätzte Dämpferkonstante aus Kapitel 3.3.1, als Konstanter Wert abgelegt.

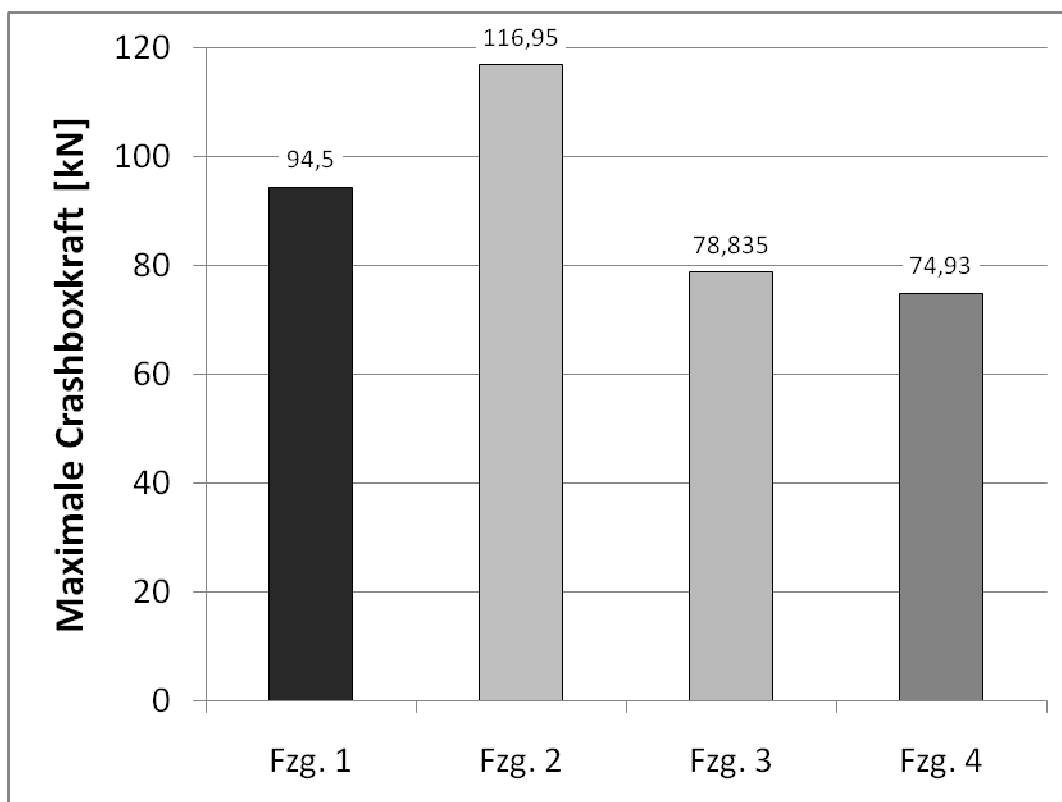


Abbildung 3.19: Maximale Crashboxkräfte

Für die Festlegung der maximal erlaubten Kontaktkraft zwischen Ego- und Target-Fahrzeug wurden Ergebnisse aus der Crashberechnung vier verschiedener Fahrzeuge herangezogen. Diese Berechnungsergebnisse wurden von der Abteilung für Fahrzeugsicherheit zu Verfügung gestellt, und beinhalten Fahrzeuge der oberen Mittelklasse und Sport Utility Vehicle. Aus Gründen der Geheimhaltung dürfen die Bezeichnungen der Fahrzeuge in dieser Diplomarbeit nicht veröffentlicht werden und werden daher in weiterer Folge als Fzg.1 bis Fzg.4 bezeichnet.

Abbildung 3.49 zeigt die maximalen Crashbox-Schnittkräfte der 4 Fahrzeuge, die in einem Bereich zwischen 74,93 kN und 116,95 kN liegen. Um auch Fahrzeuge mit weniger stabilen Crashboxen zu berücksichtigen, wurde eine maximal ertragbare Crashboxkraft von 60 kN angenommen. Da sich in jedem Fahrzeug zwei Crashboxen, je eine auf der rechten und der linken Seite des Fahrzeugvorderbaus befinden, würde dies eine maximal erlaubte Kollisionskraft von 120 kN ergeben.

Um aber im ersten Schritt eine ausreichende Sicherheit für Fahrer und Fahrzeug gewährleisten zu können, wurde mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 gerechnet und so die in der Berechnung verwendete maximal erlaubte Kontaktkraft von 80 kN erhalten.

3.3.4 Berechnungsergebnisse

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse aus der Kollisionssimulation kurz besprochen werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden in Abbildung 3.23 a.) bis c.) der Verlauf der Kollisionskraft bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 8 m/s und eines Gewichtes der Versuchsanlage von 95 kg für die Konzepte 1 und 2 verwendet, was einem Gewicht für Konzept 3 von 150 kg entspricht.

In Abbildungen 3.20, 3.21 und 3.22 wurden die Verläufe der Maximalkräfte während der Kollision für die verschiedenen Kombinationen von Targetgewicht und Kollisionsgeschwindigkeit aufgetragen.

Es ist dabei zu erkennen, dass selbst bei den Konzepten 1 und 2 bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von über 12m/s es in Abhängigkeit des Targetgewichts zur Überschreitung der erlaubten Maximalkraft kommen kann und dies bei Konzept 3 bei noch geringeren Kollisionsgeschwindigkeiten auftreten kann.

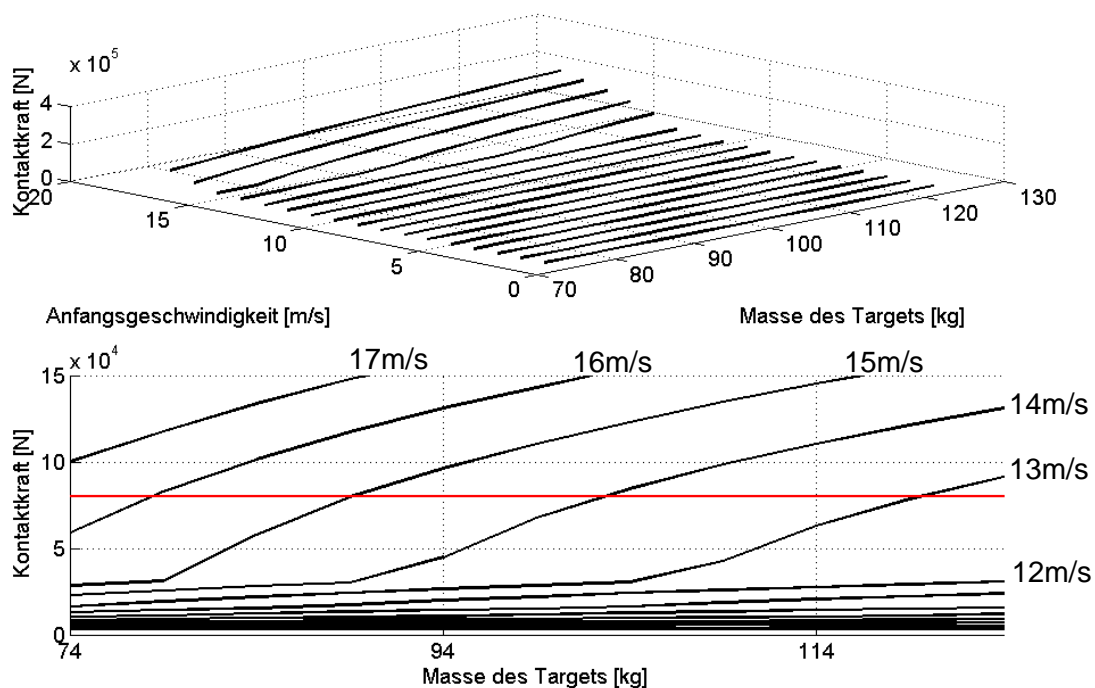


Abbildung 3.20: Maximale Kontaktkräfte Konzept 1

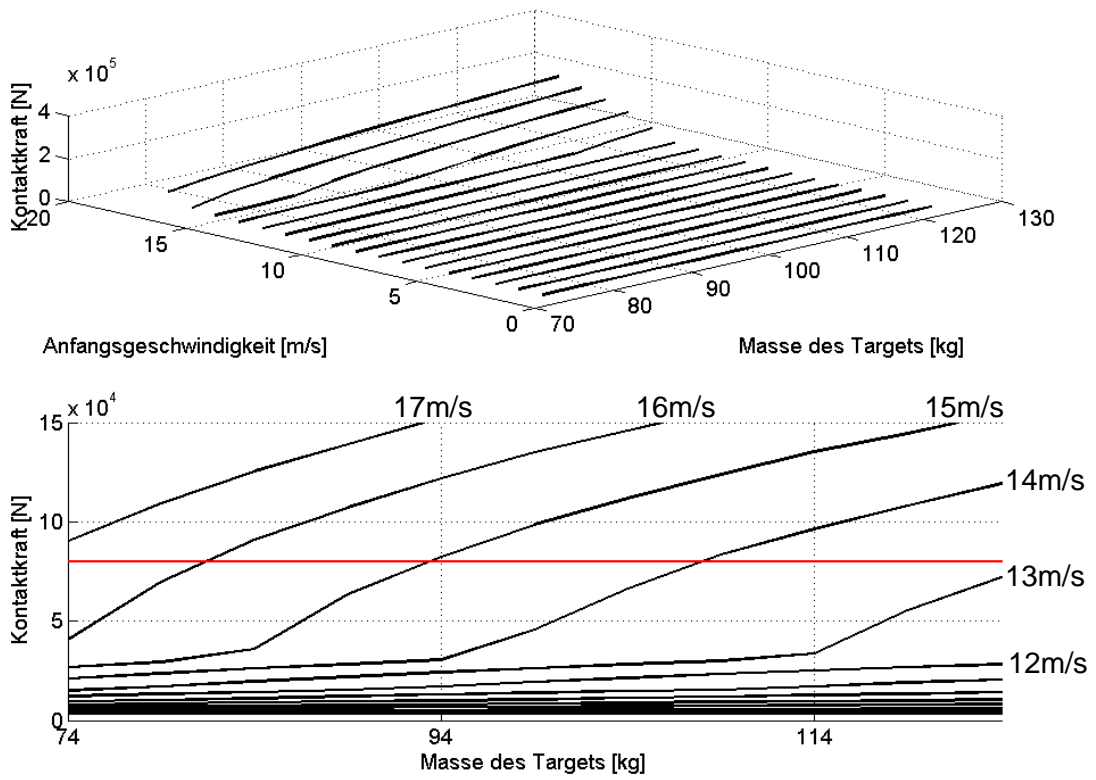


Abbildung 3.21: Maximale Kontaktkräfte Konzept 2

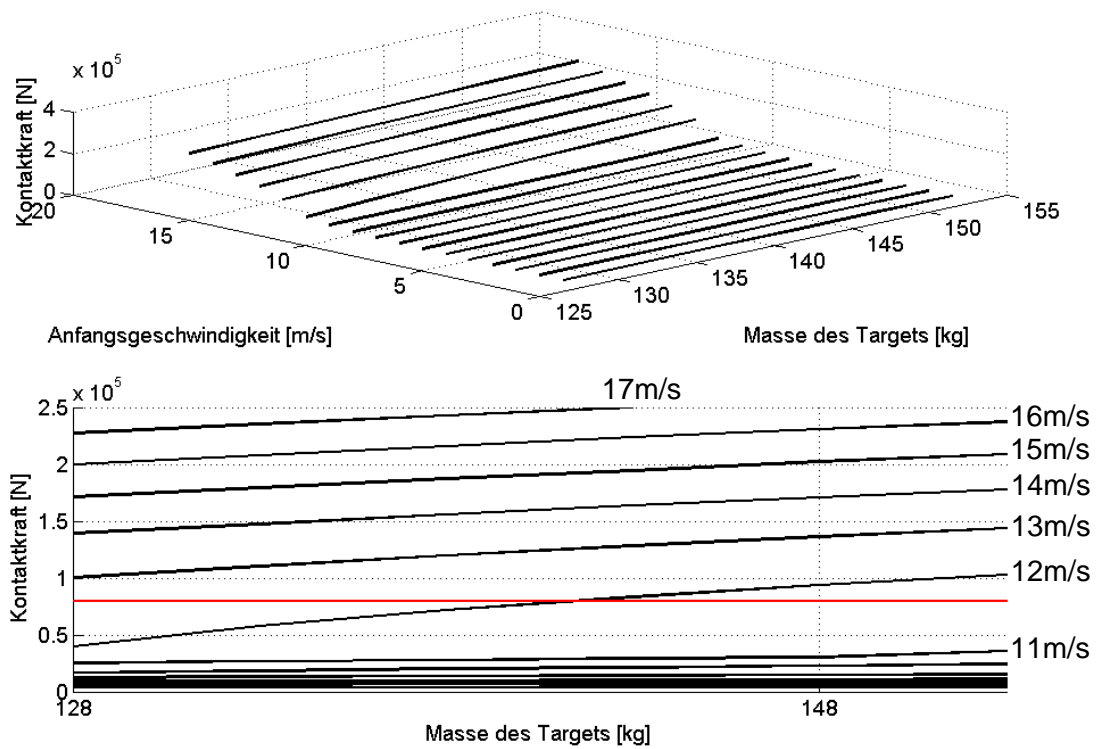
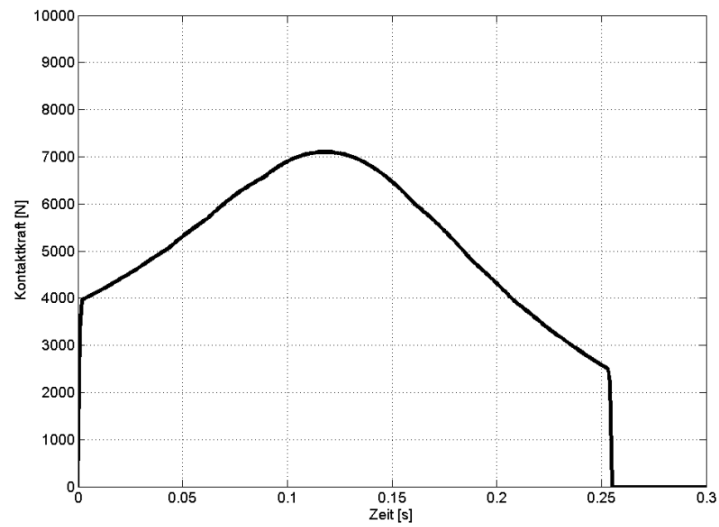
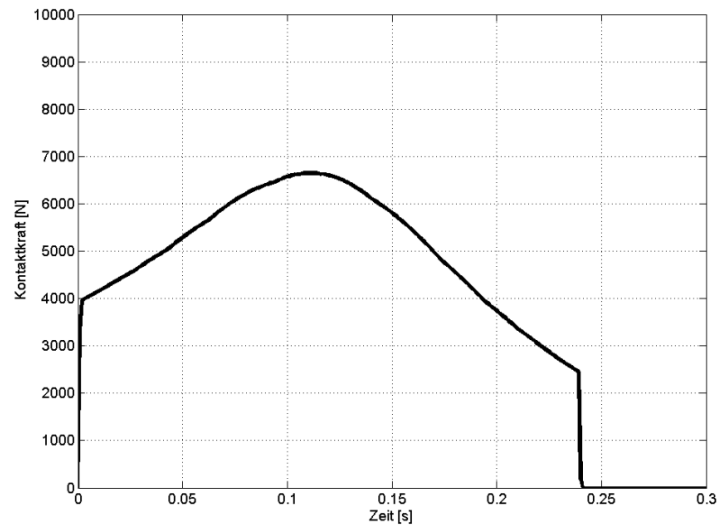


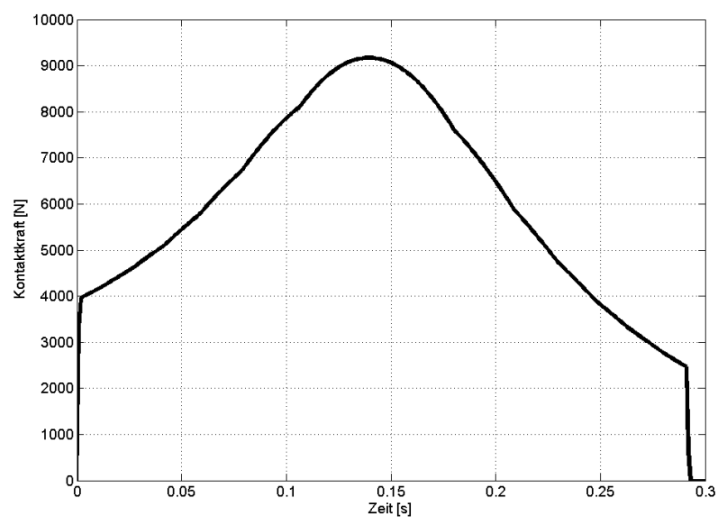
Abbildung 3.22: Maximale Kontaktkräfte Konzept 3



a.)



b.)



c.)

Abbildung 3.23: Vergleich der Kollisionskraftverläufe der 3 Konzept

Mit Hilfe der Simulation hat sich gezeigt, dass sich die Kollisionskräfte der Konzepte 1 und 2 kaum unterscheiden, jedoch die des Konzeptes 3, erwartungsgemäß deutlich höhere Werte annehmen.

Daher sind aus Sicht der Kollisionskräfte die Konzepte 1 und 2 zu bevorzugen.

3.3.5 Validierung der Simulationsergebnisse

Um die Plausibilität der Berechnungsergebnisse zu überprüfen wurden die Ergebnisse, der hier durchgeführten Simulation, mit den Ergebnissen der Berechnung eines geraden, zentralen, elastischen Stoßes, unter Verwendung der in Kapitel 2.8 hergeleiteten Gleichungen 2.37 und 2.38, verglichen.

Dabei muss das Ergebnis der Simulation, bei Vernachlässigung aller Fahrwiderstände, die gleichen Endgeschwindigkeiten ergeben, wie die Berechnung mit Hilfe der Impuls- und Energieerhaltungsgleichungen liefert.

In Abbildung 3.24 sind die Geschwindigkeitsverläufe des Ego-Fahrzeuges und des Target-Fahrzeuges für das Manöver "Auffahren auf ein stehendes Hindernis" mit einer Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges von 50 km/h, eines Gewichtes von 1500 kg, und eines Gewichtes des Targets von 74 kg dargestellt.

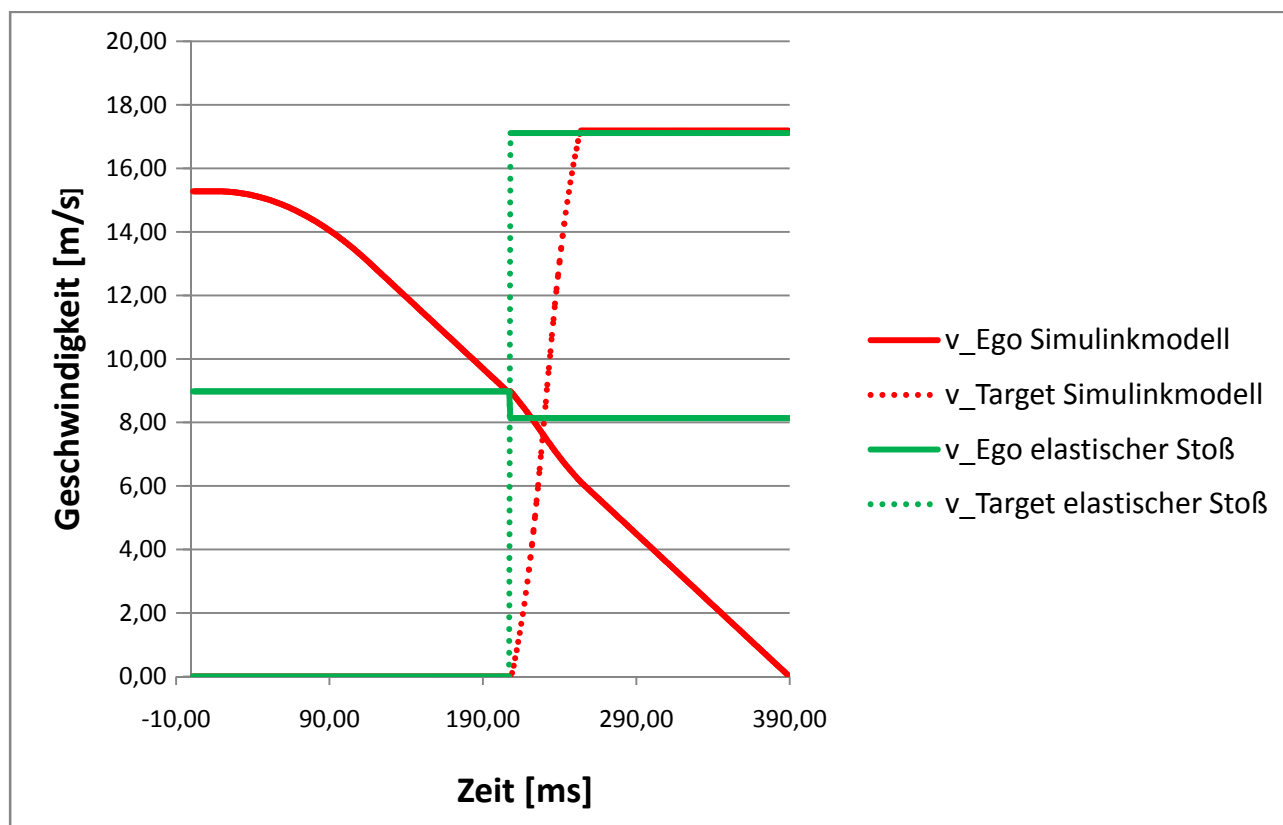


Abbildung 3.24: Vergleich Simulationsergebnisse ohne Berechnung der Fahrwiderstände, mit dem Rechenergebnis des elastischen Stoßes

Da die Endgeschwindigkeiten beider Berechnungsmethoden die gleichen Ergebnisse liefern, sind die Ergebnisse der Simulinkmodelle als korrekt einzuordnen. Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf sind in den Vereinfachungen des Stoßmodells begründet.

Die Berechnung der Geschwindigkeiten unter Verwendung des Impuls- und Energiesatzes, liefern in Abhängigkeit der Eingangsgeschwindigkeiten und der Massen der beteiligten Körper, lediglich die Ausgangsgeschwindigkeiten nach dem Stoß. Über den Verlauf der Geschwindigkeiten wird keine Information gewonnen. Dies begründet die sprunghafte Änderung der Geschwindigkeiten des Ego- und Target-Fahrzeuges in Tabelle 3.24.

3.4 Nutzwertanalyse der Konzepte

Ziel dieser Nutzwertanalyse ist es, aufbauend auf Ergebnissen einer Bachelorarbeit [58], die verschiedenen, sich am Markt befindlichen Versuchsanlagen mit Hilfe von gewichteten Kriterien untereinander auf ihren Nutzen hin zu vergleichen.

Dazu wurden im ersten Schritt, teilweise basierend auf der Untersuchung der in Kapitel 2.5 besprochenen Manöverkataloge, die folgenden Kriterien für die Bewertung definiert:

- Annäherung an ein langsam fahrendes Target-Fahrzeug
- Annäherung an ein konstant verzögerndes Target-Fahrzeug
- Annäherung an ein stehendes Target-Fahrzeug
- Annäherung an ein in einer Kurve fahrendes Target
- Lateraler- und Winkelversatz
- Entgegenfahrendes Target-Fahrzeug
- Manöver im Kreuzungsbereich
- Erkennbarkeit für Sensoren
- Minimale TTC
- Anschaffung des Targets
- Wiederverwendbarkeit der Versuchsanlage
- Wendbarkeit der Versuchsanlage
- Rüstzeit der Anlage
- Reparaturaufwand der Versuchsanlage
- Transportierbarkeit der Versuchsanlage
- Anforderungen an die Prüffläche
- Schutz der Messtechnik
- Schutz des Ego-Fahrzeuges
- Sicherheit für das Personal

Diese wurden, wie in Tabelle A.29 gezeigt, in einer Tabelle eingetragen und im Anschluss jedes Kriterium einzeln mit allen definierten Kriterien verglichen. Dabei wurde die Wichtigkeit jedes einzelnen Kriteriums gegenüber den anderen mit den Optionen:

- wichtiger (2 Punkte)
- gleichwichtig (1 Punkt)
- weniger wichtig (0 Punkte)

bewertet.

Die Summe der erhaltenen Bewertungspunkte P_K jedes Kriteriums ergab infolge die Gewichtung g des einzelnen Kriteriums in Bezug auf die Gesamtpunktezahl G in % nach Gleichung (3.34).

$$g = \frac{G}{P_K} * 100\% \quad (3.34)$$

Diese Vorgehensweise soll kurz am Beispiel des Kriteriums mit der Nummer 1 vorgeführt werden:

Kriterium 1 bekam in Summe 27 Bewertungspunkte, von insgesamt 342 vergebenen Punkten. Setzt man dies nun in Gleichung 3.36 ein so erhält man:

$$g = \frac{27}{342} * 100\% = 7,89\%$$

Es sei hier erwähnt, dass die Gewichtungswerte in Tabelle A.29 auf ganze Zahlen gerundet wurden.

Im nächsten Schritt wurden die Versuchsanlagen bezüglich der einzelnen Kriterien und ihrer Zielerfüllung mit Punkten in Bereich von 0 bis 5 bewertet. Eine Bewertung von 0 Punkten bedeutet hierbei, dass das zu bewertende Kriterium von der gerade zur Bewertung stehenden Anlage nicht erfüllt werden kann, wohingegen eine Punktezahl von 5 Punkte die vollständige Erfüllung des Kriterium kennzeichnet.

Der Einzelnutzwert NW jedes einzelnen Kriteriums (in Tabellen A.30 und A.31 mit NW abgekürzt) wurde im Anschluss als Produkt aus Gewichtungsfaktor und erlangter Punktezahl der Anlage P_A für jedes Kriterium berechnet.

$$NW = g * P_A \quad (3.35)$$

Die Berechnung des Nutzwertes eines Kriteriums sei hier, für das Kriterium mit der Nummer 1 für das ADAC-Target exemplarisch durchgeführt:

$$NW = \frac{27}{342} * 5 = 0,39$$

Der Gesamtnutzwert GNW einer Anlage ergibt sich aus der Summe der Einzelnutzwerte der Kriterien.

$$GNW = \sum NW \quad (3.38)$$

Für das ADAC-Target ergibt sich so beispielsweise ein Nutzwert von:

$$\text{Gesamtnutzwert} = 4,357$$

In der in Tabellen A.30 und A.31 gezeigten Nutzwertermittlung sieht man, dass auch hier die Konzepte 1 und 2 nahe beieinander liegen, jedoch Konzept 1 die Nutzwertanalyse für sich entscheiden kann.

3.5 Anforderungen an die Versuchsanlage

Aus dem Studium der Manöverkataloge in Kapitel 2.5 und der vorangegangenen Untersuchungen haben sich die folgenden Wunschanforderungen an die Versuchsanlage ergeben:

- Heckaufprall mit 100 % lateraler Überdeckung
- Heckaufprall mit 50 % bzw. 25 % lateraler Überdeckung
- Heckaufprall unter einem Winkel von 45°
- Maximale Verzögerung der Versuchsanlage circa 7 m/s^2
- Kurvenfahrt soll möglich sein
- Radarreflexionsverhalten soll einem realen Fahrzeug entsprechen
- Der Versuchsaufbau soll von Kamerasystemen als reales Fahrzeug erkannt werden
- Die Versuchsanlage soll Kollisionskräften von mehr als 80 kN stand halten

3.6 Konzeptauswahl

Die Konzepte 1 und 2 haben zwar keinen signifikanten Unterschied in den entstehenden Kontaktkräften während der Kollision gezeigt, jedoch konnte Konzept 1 die Nutzwertanalyse recht deutlich für sich entscheiden. Es wurde auf Grund seines einfachen und damit im Vergleich kostengünstigen Anschaffungspreises in Kombination mit seiner Vielseitigkeit bzgl. der Abdeckung der Versuche aus den Manöverkatalogen für eine konstruktive Umsetzung ausgewählt.

4 Konstruktive Umsetzung des Konzeptes

Die konstruktive Umsetzung des gewählten Konzeptes hatte zum Ziel nach Möglichkeit alle Anforderungen an die Versuchsanlage zu erfüllen, dabei aber einen einfachen und dadurch kostengünstigen Aufbau zu entwickeln.

Da die Simulation der Kontaktkräfte während der Kollision erwartungsgemäß gezeigt hat, dass das Gewicht der im Falle einer Kollision zu beschleunigenden Anlage großen Einfluss hat, wurde versucht das Gewicht der Anlage ohne Verwendung von teuren und hochbelastbaren Werkstoffen, wie zum Beispiel Karbon, so gering als möglich zu halten.

4.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Aus oben genannten Gründen fiel die Entscheidung Aluminium-Strangpressprofile, mit einem großen Flächenwiderstandsmoment zu verwenden.

Der Aufbau der Anlage besteht aus einer Unterkonstruktion aus quadratischen Aluminium-Strangpressprofilen mit der Werkstoffbezeichnung EN: AW-6060, mit den Abmessungen 60 x 60 mm und einer Wandstärke von 4 mm. Darauf befindet sich eine sogenannte Bodenplatte aus 5 mm Aluminiumblech und eine Rückenplatte aus dem selben Werkstoff, an der sich die ADAC-Fahrzeugatruppe im Falle einer Kollision abstützt. Die Rückenplatte wird, wie in Abbildung 4.1 gezeigt, von einer "Gitterrohrkonstruktion" abgestützt.

Auf der Unterseite der Bodenplatte befinden sich auf der dem Ego-Fahrzeug zugewandten Seite vier Schwerlastrollen, die im Falle, dass das Ego-Fahrzeug bei Manövern mit 50 %iger lateraler Überdeckung auf die Versuchsanlage auffahren sollte, die Radaufstandskraft des Fahrzeuges übertragen können und bei Kurvenfahrt die Seitenführungskräfte übertragen.

Am anderen Ende der Versuchsanlage befinden sich auf der Unterseite des Unterbaus auf der linken und rechten Seite der Versuchsanlage Reibplatten aus Gummi bzw. Kunststoff, die durch Reibung die Verzögerung der Versuchsanlage sicherstellen.

Die Verbindung zwischen Zugfahrzeug und Versuchsanlage wird über Seile bzw. Ketten hergestellt, die in Abschleppösen, welche sich am "Gitterrohrrahmen" befinden, eingehängt werden.

Die in Abbildungen 4,1 bis 4.3 gezeigte Versuchsanlage hat ein, mittels der verwendeten CAD-Software errechnetes, Gewicht von zirka 116 kg inklusive der ADAC-Fahrzeugatruppe.

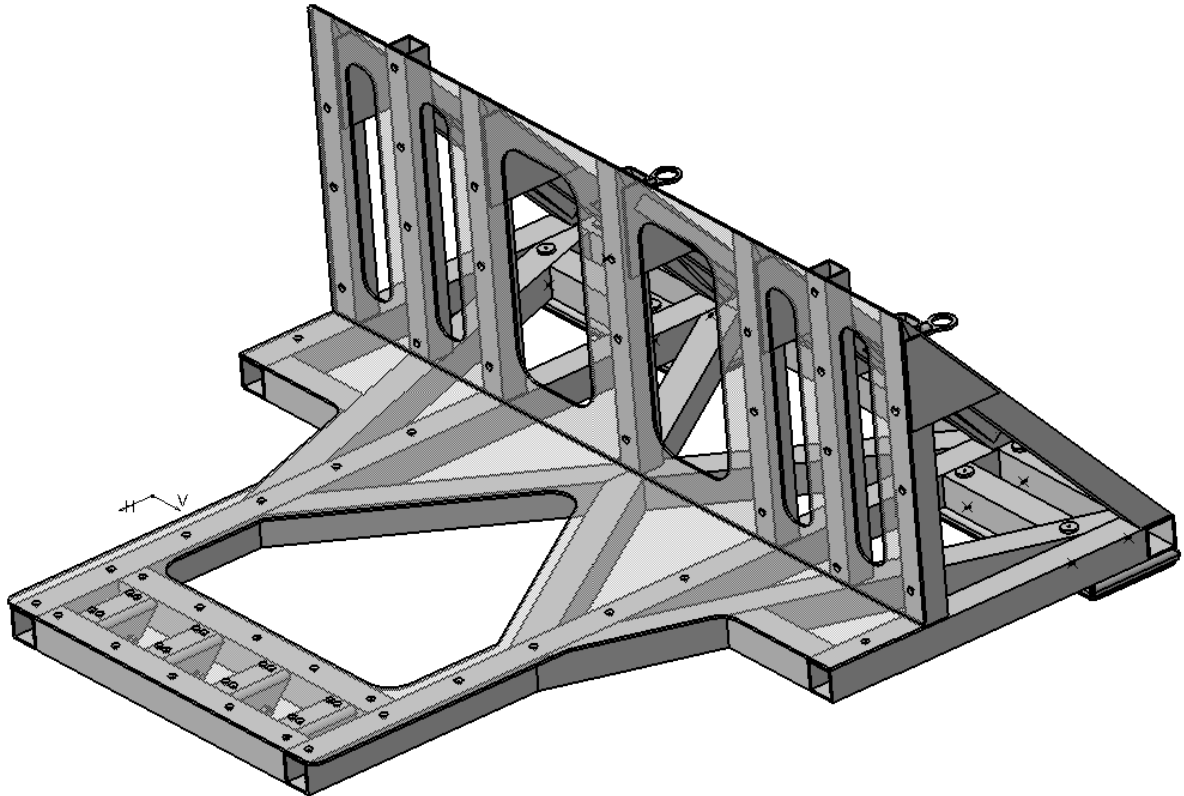


Abbildung 4.1: Ansicht der Versuchsanlage ohne Fahrzeugattrappe von hinten

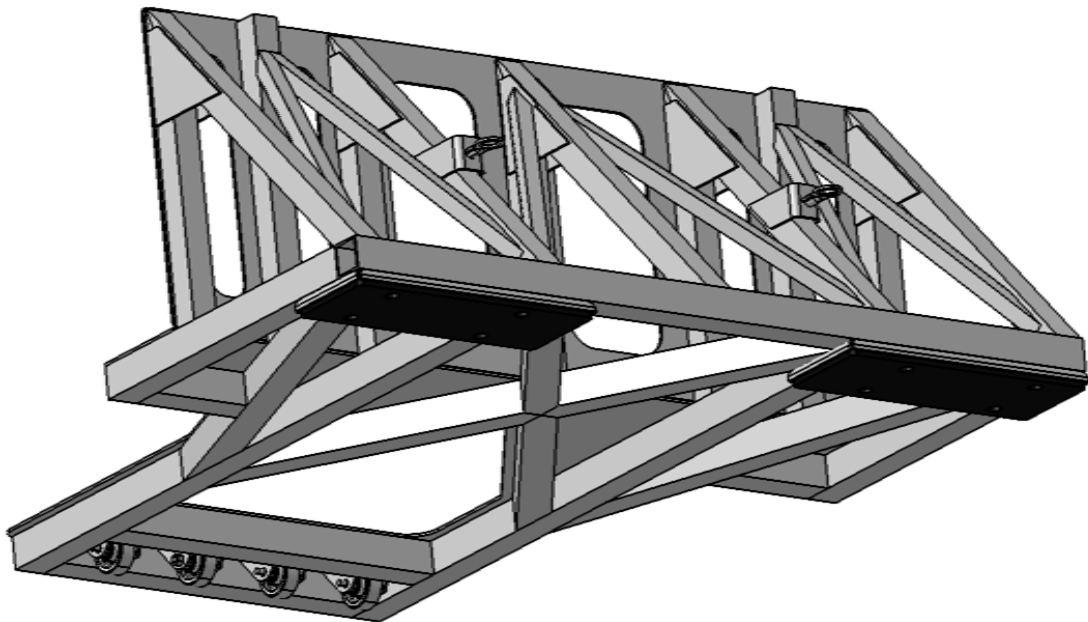


Abbildung 4.2: Ansicht der Versuchsanlage ohne Fahrzeugattrappe von vorne

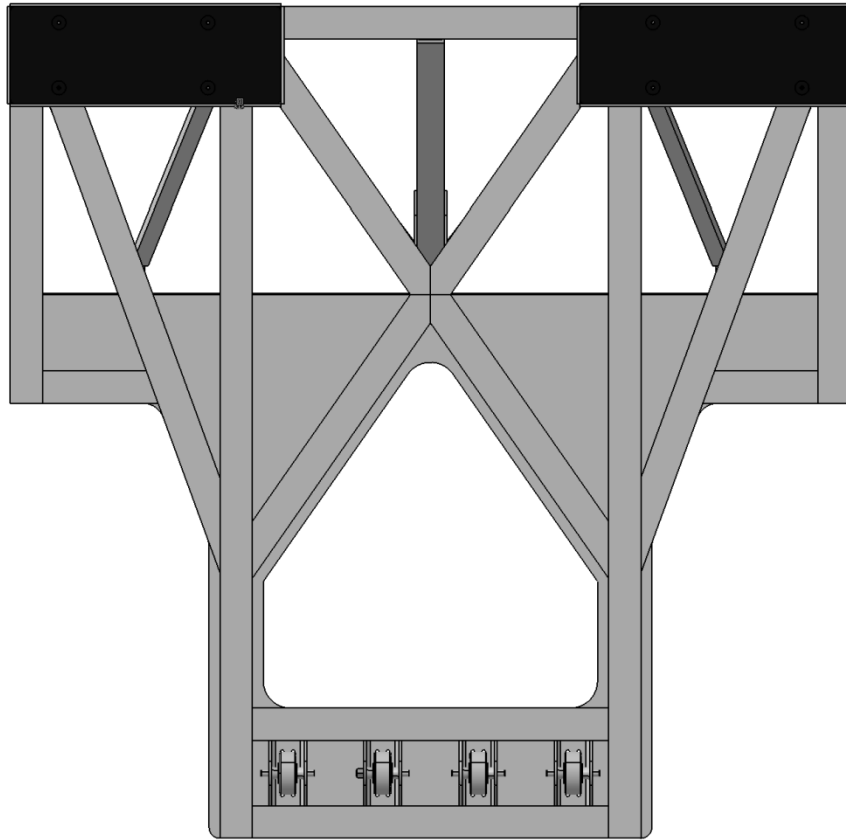


Abbildung 4.3: Ansicht der Unterseite

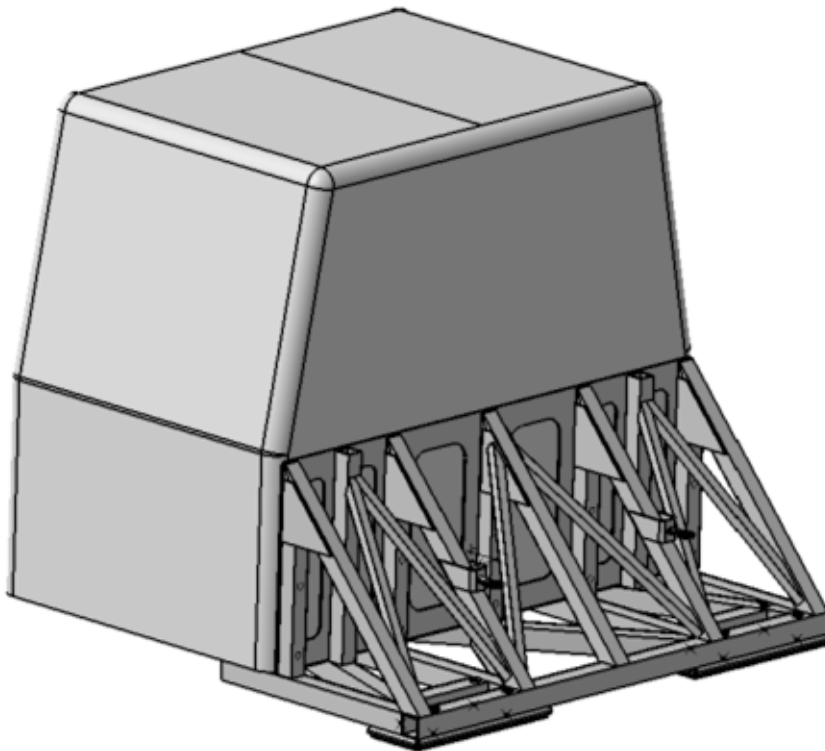


Abbildung 4.4: Versuchsanlage mit montierter Fahrzeugatruppe

4.2 Berechnung der Versuchsanlage

Die Berechnung der Bauteilbelastungen stellte den Abschluss der Konstruktion dar, um ein vorzeitiges Versagen der Anlage bei den ersten Versuchen verhindern zu können. Dazu wurde die Versuchsanlage mittels eines FE-Tools eines CAD-Systems nachgerechnet.

Für die Berechnung des Aluminiumrahmens wurde im ersten Schritt ein Flächenmodell der Versuchsanlage erstellt, um dieses in weiterer Folge mittels einer Schalenvernetzung für die FE-Rechnung vorbereiten zu können. (s. Abbildung 4.5)

Modellname: Versuchsanlage V3 final
Stuflennamen: feines Netz
Vernetzungstyp: Schalenvernetzung unter Verwendung von Oberflächen

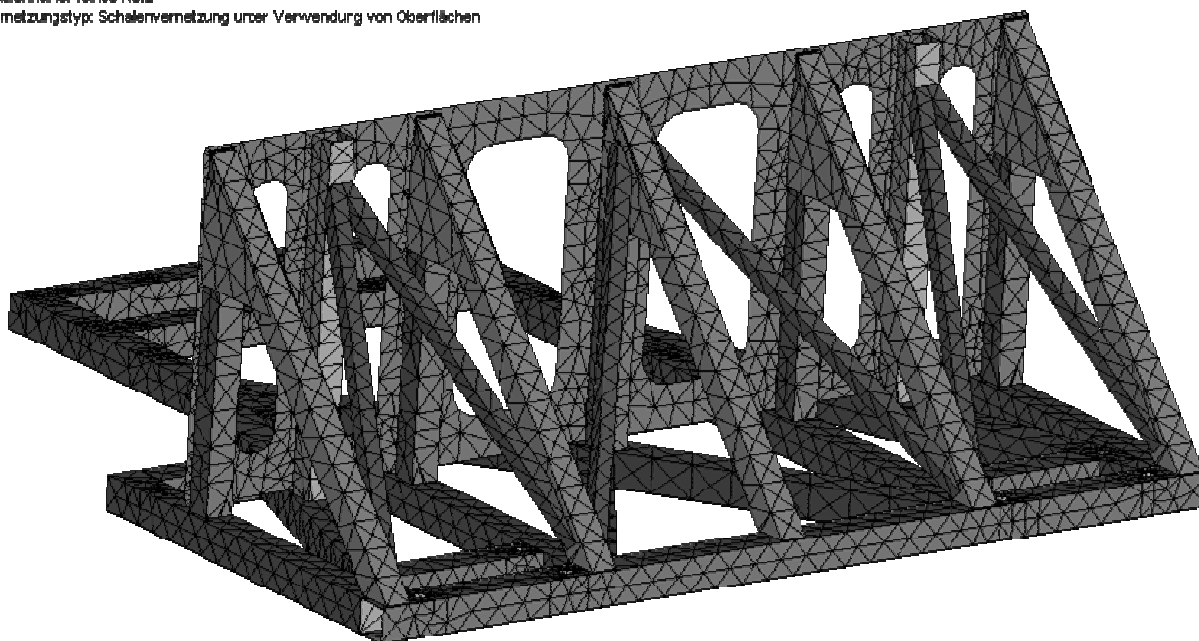


Abbildung 4.5: Schalennetz des Rahmens

Alternativ wäre es auch möglich gewesen ein Netz zu wählen, welches die Bauteile in Tetraeder unterteilt, was aber eine sehr große Anzahl an Gitterpunkten bewirkt hätte und eine unnötig verlängert Rechenzeit bewirkt hätte.

Für die Berechnung der Radträger wurde auf die Erstellung eines Flächenmodells und einer Schalenvernetzung auf Grund der geringen Baugröße verzichtet und anstatt dessen eine Vernetzung mittels Tetraedern gewählt. (s. Abbildung 4.6) Die Berechnung wurde anhand eines Radträgers mit der vierfachen von den Rädern maximal übertragbaren Kraft berechnet, um eine genügend hohe Sicherheit zu gewährleisten.

Modellname: Radbaugruppe
Studienname: Belastung 7200N
Vormozungstyp: Volumenkörperformsetzung

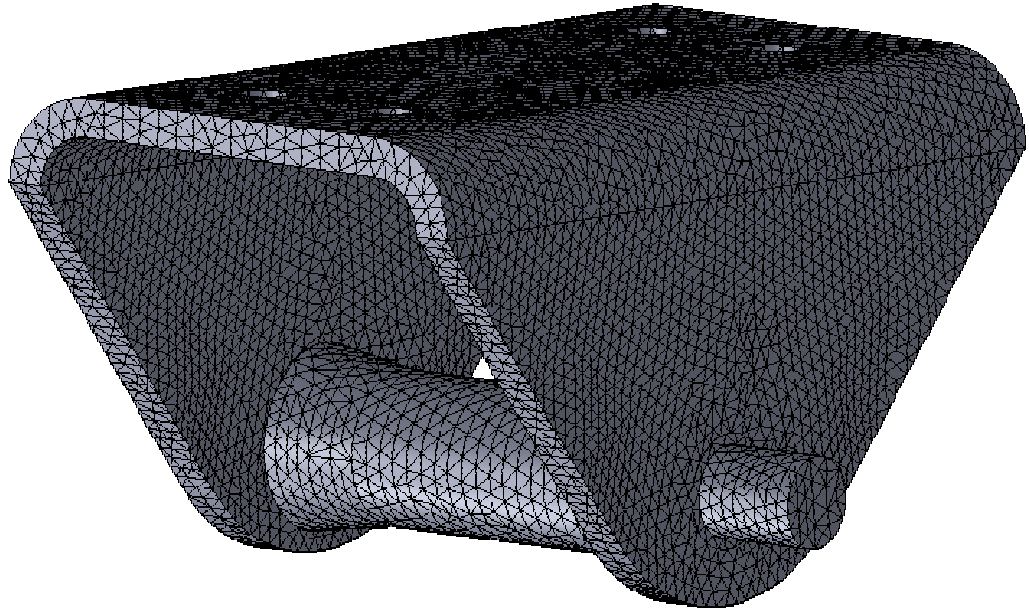


Abbildung 4.6: Vernetzung für Radträgerberechnung

Nach Definition der an den Bauteilen angreifenden Kräfte, und der für die FE-Rechnung zu verwendenden Materialkennwerte, wurden die Berechnungen mit den in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Einspannungen durchgeführt.

4.2.1 Beschreibung der Einspannung für die FE-Rechnung

Für die Berechnung des Rahmens wurde eine statische Berechnung gewählt, die bewusst zu einem Extremfall und im Vergleich zu den im Betrieb zu erwartenden Belastungen zu erhöhten Kräften in den Bauteilen führt. Daher wird erwartet, dass nach erfolgreicher FE-Berechnung noch zusätzliche Sicherheitsreserven für den realen Betrieb in den Bauteilen vorhanden sind.

Für die Berechnung des Aluminiumrahmens wurde die Unterseite des Unterbaus als fix eingespannt modelliert, während an der Rückenplatte gleichmäßig über die Platte verteilt die konstante Kollisionskraft angreift. Da die Rückenplatte mittels Schrauben mit dem Rahmen verbunden ist, wurden diese mittels einer Funktion des FE-Tools als Schraubenkraft modelliert und somit das Verrutschen der Rückenplatte in der Berechnung verhindert.

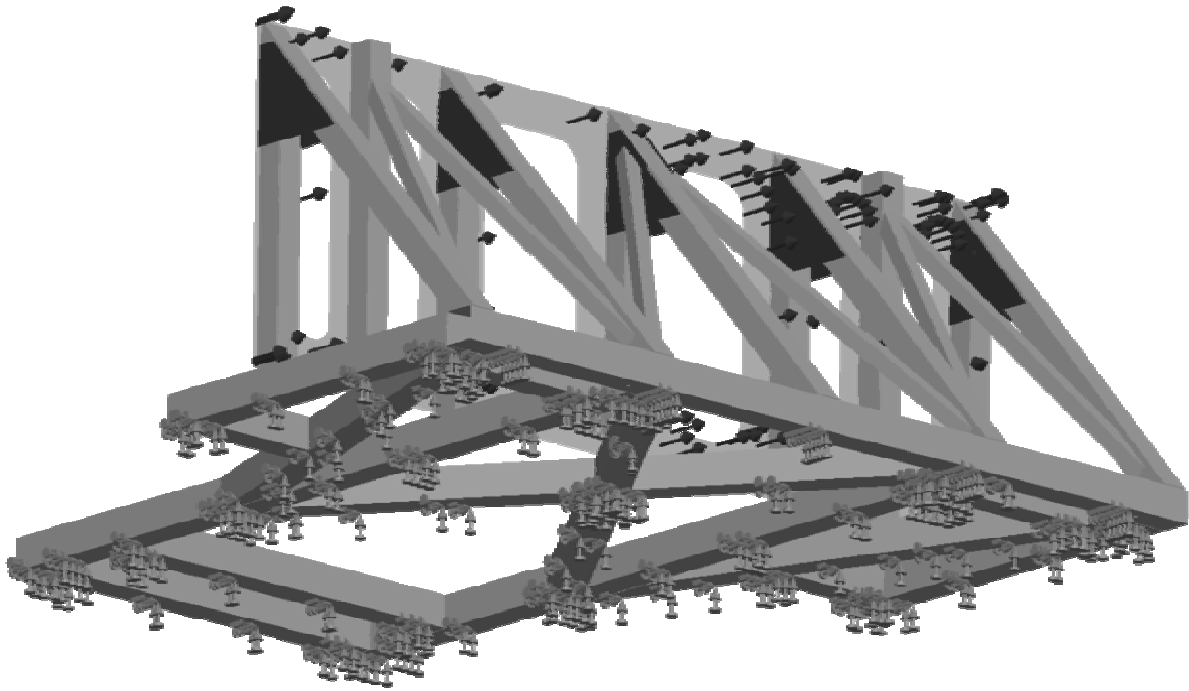


Abbildung 4.7: Einspannung und angreifende Last für die Rahmenberechnung

Für die Berechnung des Radträgers wurde das Rad durch eine Hülse ersetzt, die auf der Drehachse zwischen den beiden Distanzhülsen, die das Rad in seiner Position fixieren, sitzt. Diese Hülse wurde für die Rechnung als fix eingespannt definiert. Da sich der Radträger jedoch in der Berechnung noch um die Drehachse des Rades hätte drehen können, wurde wie in Abbildung 4.8 gezeigt die vordere Fläche als in Z- und Y-Richtung verschiebbar, jedoch in X-Richtung gesperrt definiert. Durch die bereits für die Verschraubung der Rückenplatte verwendeten Funktion wurde auch für die Berechnung des Radträgers eine Schraubkraft für die Radachse berücksichtigt. An der Oberfläche, welche im verbauten Zustand mit der Bodenplatte in Verbindung steht, wurde die mit der zu rechnenden Kraft gleichmäßig über die Oberfläche verteilt beaufschlagt.

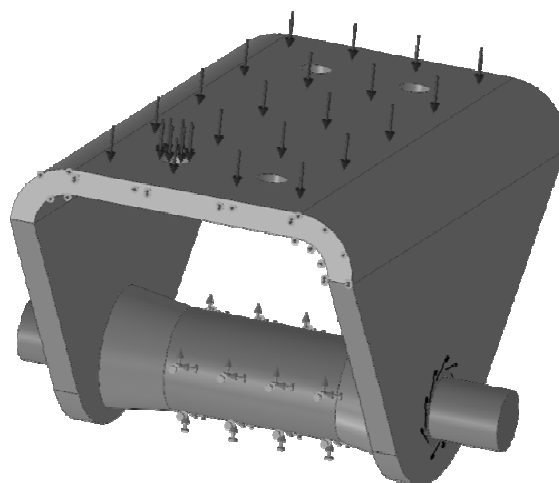


Abbildung 4.8: Kräfte und Einspannungen für die Radträgerberechnung

4.2.2 Ergebnisse der FE-Rechnung

Für die Berechnung des Rahmens wurden für die Aluminium-Strangpressprofile, sowie für die Knotenbleche der Werkstoff EN AW-6060 T6 verwendet, der laut Datenblatt eine Fließgrenze von 160 N/mm^2 aufweist.

Die Rückenplatte wurde mit dem Werkstoff En AW-6082 T6 berechnet, welcher eine Fließgrenze von rund 240 N/mm^2 aufweist.

In den folgenden Darstellungen der Ergebnisse wird jeweils als Spannung die von Mises-Spannung angegeben, welche eine fiktive, einachsige Spannung darstellt, die die selbe Materialbeanspruchung hervorruft, wie ein realer mehrachsiger Spannungszustand. Es ist damit möglich den real auftretenden dreidimensionalen Spannungszustand direkt mit den Kennwerten aus dem einachsigen Zugversuch zu vergleichen.

In Abbildung 4.9 ist das Berechnungsergebnis des Rahmens mit einer Belastung von 120 kN dargestellt.

Man kann erkennen, dass es bei diesem Ergebnis punktuell zu plastischen Verformungen der Rückenplatte kommen wird, da die hier dargestellten von Mises-Spannungen bereits in der Nähe der Fließgrenze des Plattenwerkstoffes sind. Die Spannungen des Rahmens sind jedoch noch unterhalb der Fließgrenze des Rahmenwerkstoffes, weshalb bei dieser Belastung noch nicht mit Problemen zu rechnen ist.

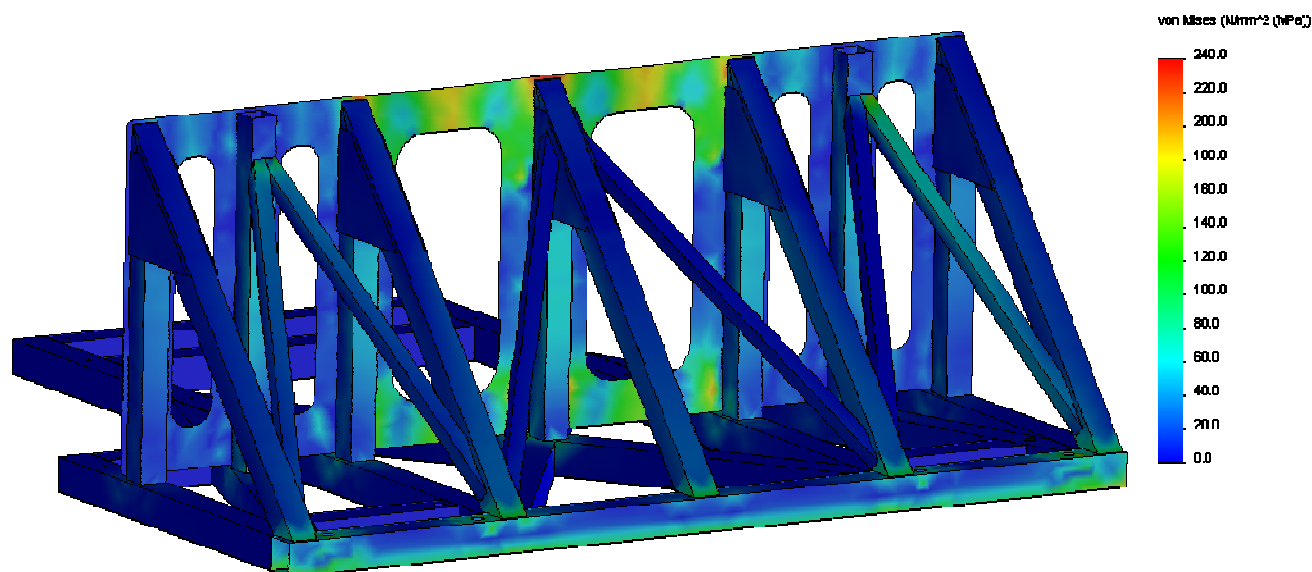


Abbildung 4.9: Berechnungsergebnis des Rahmens

Die in Abbildung 4.10 gezeigten Ergebnisse, stellen die von Mises-Spannungen der Radträgerberechnung dar. Es wurde für den Radträger als Aluminium-Blechbiegekonstruktion, sowie für die beiden Distanzhülsen der Werkstoff EN AW-6082 T6 mit einer Fließgrenze von 240 N/mm^2 verwendet. Sowohl die Radachse, als auch die das Rad mit seinen Kugellagern darstellende Hülse wurden mit dem Werkstoff 25CrMo4 und damit einer Fließgrenze von 450 N/mm^2 berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst unter einer Belastung eines Radträgers von 7200 N die von Mises-Spannungen deutlich unter der Fließgrenze der Werkstoffe bleibt und somit nicht mit einem Versagen der Radträger zu rechnen ist. Da die verwendeten Räder aber, laut Datenblatt, eine maximale Tragfähigkeit von 180 kg aufweisen, darf die Radaufstandskraft, des, auf die Versuchsanlage auffahrenden Fahrzeuges, 720 kg nicht überschreiten, da in diesem Fall mit Schäden an den Rädern zu rechnen ist.

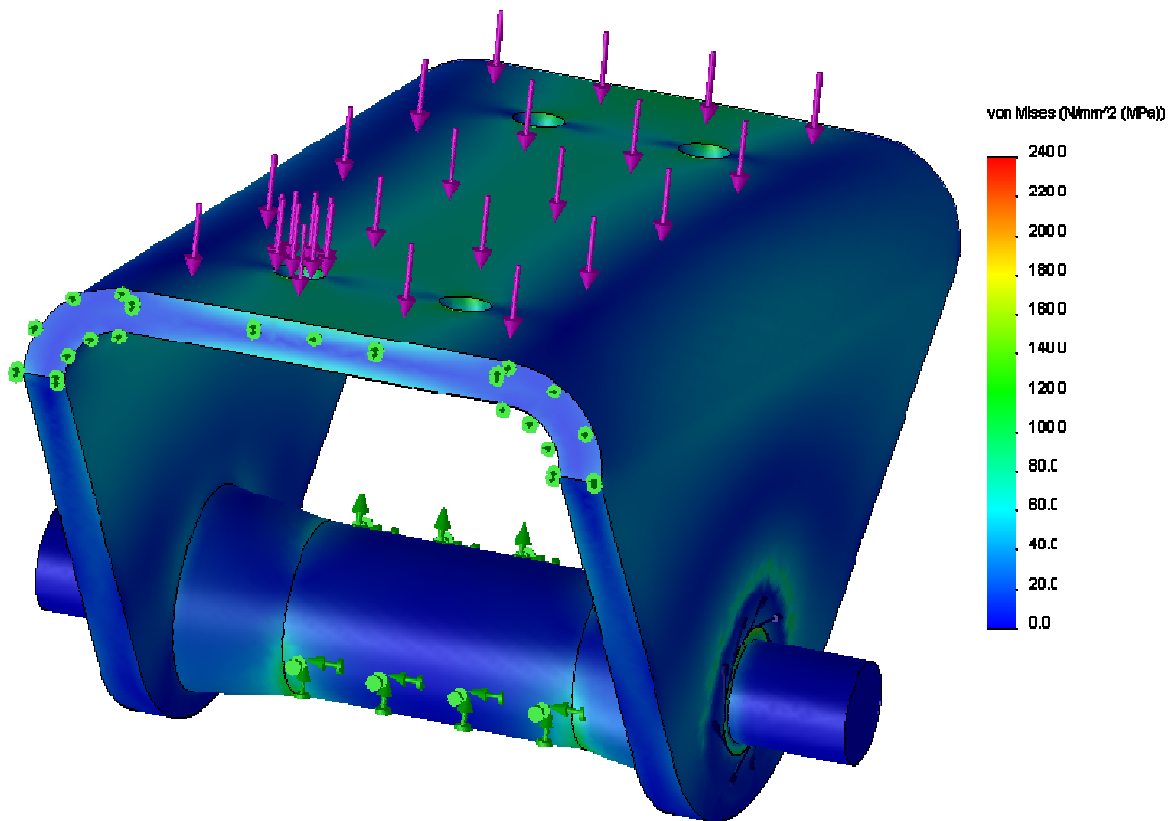


Abbildung 4.10: Berechnungsergebnis des Radträgers

4.2.3 Ergebnisse der Schweißnahtüberprüfung

Die Kontrolle der Schweißnähte wurde ebenfalls mit Hilfe des FE-Tools der CAD-Software durchgeführt. Dazu wurde entlang der Kanten die mit einer Schweißnaht zu versehen sind, Kehlnähte mit einer Schweißnahtdicke von 3mm definiert. Als Schweißdrahtwerkstoff wurde laut der Homepage des Schweißdrahtherstellers "MIG Weld" für die Materialpaarung EN AW-6060 - EN AW-6060 ein Schweißdraht mit der chemischen Zusammensetzung AlMg5Mn und einer Fließgrenze von 125N/mm^2 ausgewählt.

Die Berechnungsergebnisse haben gezeigt, dass bis zu einer Belastung von 90 kN, und einer Sicherheit von 1,25, mit keinem Versagen der Schweißnähte zu rechnen ist. (s. Abbildung 4.11)

Damit liegen alle Berechnungsergebnisse über der zu Beginn der Diplomarbeit definierten maximal erlaubten Kollisionskraft zwischen Ego-Fahrzeug und Versuchsanlage von maximal 80 kN.

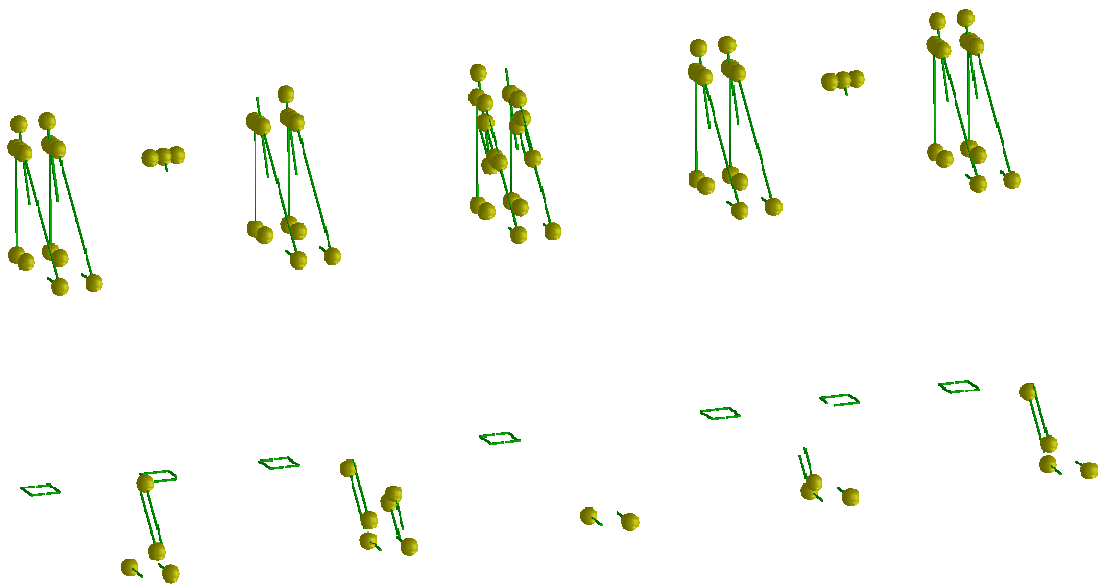


Abbildung 4.11: Ergebnis Schweißnahtkontrolle

5 Zusammenfassung und Ausblick

Nach umfangreicher Literaturrecherche und Erstellung eines Kataloges von Versuchsmanövern für den Test von Notbremsassistenzsystemen, wurden diese, mit einem, im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelten, Simulationstools auf das Auftreten von Kollisionen untersucht und gegebenenfalls die Kollisionsgeschwindigkeiten berechnet

Aufbauend auf den Ergebnissen der Manöverrecherche, sowie der Recherche nach bereits entwickelten Versuchsanlagen wurden drei Konzepte, welche zu einem späteren Zeitpunkt miteinander zu vergleichen waren, mit dem Ziel den Großteil der erarbeiteten Manöver damit abdecken zu können entwickelt.

Um die auf die Versuchsanlage wirkenden Kräfte in Abhängigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit und des Gewichtes der Anlage abschätzen zu können wurde ein Matlab/Simulinkmodell erstellt, mit dessen Hilfe es möglich war die Beschleunigungen der zu untersuchenden Körper zu berechnen. Mit der Information über den Verlauf der Beschleunigung der Versuchsanlage wurde unter Verwendung des zweiten Newtonschen Gesetzes der Verlauf der, auf das Target wirkenden Kraft berechnet. Zuvor war es aber noch notwendig den unbekanntem nichtlinearen Verlauf der Federkraft der Versuchsanlage, sowie deren Dämpferkonstante abzuschätzen. Zu diesem Zweck wurde auch ein einfaches Script entwickelt, dessen Ergebnisse des Verlaufes der Federkraft in einem Lookup-Table des Simulinkmodells abgelegt wurden.

Mit dem entwickelten Simulinkmodell war es nun möglich die 3 Konzepte bezüglich ihrer, bei der Kollision entstehenden, Kräfte zu vergleichen. Dabei stellte sich heraus, dass eines der drei Konzepte, seines Aufbaus bedingt deutlich höhere Kollisionskräfte aufwies als die beiden anderen, was in weiterer Folge dazu führte, dass dieses Konzept verworfen wurde.

Um die verschiedenen Versuchsanlagen mit den entwickelten Konzepten auf ihren Nutzwert hin vergleichen zu können, wurde eine auf Ergebnissen einer Vorgängerarbeit aufbauenden Nutzwertanalyse erstellt. Dabei wurde festgestellt das der Nutzwert des Konzeptes 1 den höchsten Wert der verglichenen Versuchsanlagen und Konzepte aufwies. Auf Grund dieser Erkenntnis wurde das Konzept 1 für eine konstruktive Umsetzung ausgewählt.

Nach der Konstruktion der Versuchsanlage mittels eines CAD-Programms wurde die Anlage mittels Finite Elemente Methode nachgerechnet.

Dabei hat sich herausgestellt, das es unter den zuvor abgeschätzten Maximalbelastungen zu keinem Versagen der Anlagen kommen wird.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit befindet sich die Versuchsanlage gerade in der Fertigung.

Da sich in den rechnerischen Abschätzungen gezeigt hat, dass mit dieser Anlage bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von mehr als 40km/h die maximal erlaubte Kollisionskraft überschritten wird und es zu Beschädigungen am Versuchsfahrzeug kommen kann, sowie der statischen Festigkeitsberechnung wird in weiterer Folge eine Absicherung der Prototypenanlage mit geringen Kollisionsgeschwindigkeiten durchgeführt werden. Mit Hilfe der Ergebnisse aus diesen ersten Versuchen sollen dann die Berechnung und die

getroffenen Abschätzungen abgeglichen werden und, falls möglich, die Anlage mit Verbesserungen bis zu einer möglichen Kollisionsgeschwindigkeit von 80km/h freigegeben werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Zweikreisbremsanlage mit Schwarzweiß-Aufteilung a.) und diagonaler Aufteilung b.) (1).....	9
Abbildung 1.2: Geschichtlicher Verlauf der Bremsenentwicklung [2].....	10
Abbildung 1.3: Pre-Safe Funktionen [3].....	11
Abbildung 1.4: Warnkaskade der Pre-Safe Bremse von Mercedes-Benz [3].....	12
Abbildung 1.5: Warnkaskade am Beispiel eines AEB-Systems der Firma Audi [57].....	13
Abbildung 1.6: Die 10 häufigsten Unfallursachen bei PKW Unfällen in der ADAC-Unfallforschung [6].....	14
Abbildung 2.1: Begriffsdefinition Ego- und Target-Fahrzeug.....	18
Abbildung 2.2: Rechtliche Übersicht.....	24
Abbildung 2.3: Euro-NCAP Bewertungsmatrix des Jahres 2012.....	34
Abbildung 2.4: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2012 und 2013.....	36
Abbildung 2.5: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2013 und 2014.....	38
Abbildung 2.6: Vergleich der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2014 und 2015.....	40
Abbildung 2.7: der Euro-NCAP Bewertungstabellen der Jahre 2015 und 2016.....	42
Abbildung 2.8: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit" [5].....	45
Abbildung 2.9: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung" [5].....	45
Abbildung 2.10: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein bewegtes Ziel welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird" [5].....	46
Abbildung 2.11: ADAC Versuchsaufbau "Auffahren auf ein stehendes Ziel" [5].....	47
Abbildung 2.12: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A1 [5].....	48
Abbildung 2.13: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A2 - Fliegendes Überholen [5].....	48
Abbildung 2.14: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A3 - unplausibles Bremsen [5].....	49
Abbildung 2.15: Versuchsaufbau ADAC Akzeptanztest A4 - vorbeifahren an stehendem Fahrzeug [5].....	50
Abbildung 2.16: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [27].....	52
Abbildung 2.17: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [27].....	53
Abbildung 2.18: Thatchamversuchsaufbau "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [27].....	54
Abbildung 2.19: Thatchamversuchsaufbau "Ein gut sichtbarer Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend" [27].....	55
Abbildung 2.20: Thatchamversuchsaufbau "Ein verdeckter Fußgänger betritt die Straße von der Beifahrerseite kommend" [27].....	56
Abbildung 2.21: Thatchamversuchsaufbau "Von der Fahrerseite kommender über die Straße laufender Fußgänger" [27].....	56
Abbildung 2.22: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Kreuzung mit freier Sicht" [31].....	64
Abbildung 2.23: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Kreuzung mit verdeckter Sicht" [31].....	65
Abbildung 2.24: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Unfall mit Gegenverkehr" [31].....	66
Abbildung 2.25: Versuchsaufbau Assess-Manöver "Einscheren des Gegenverkehrs" [31].....	67
Abbildung 2.26: Assess-Manöver "Einscheren durch Spurwechsel" [31].....	68

Abbildung 2.27: Versuchsaufbau eValue-Manöver "Unfall mit einem anderen Fahrzeug im Kreuzungsbereich" [35]	71
Abbildung 2.28: Versuchsaufbau eValue "Unfall mit einem Fußgänger im Kreuzungsbereich" [35]	72
Abbildung 2.29: Versuchsaufbau EU-Verordnung 347 "Fehlreaktionsprüfung" [19]	79
Abbildung 2.30: ADAC Target Abbildung 2.31: Ballooncar mit montierter "Stoßstange" ...	82
Abbildung 2.32: ADAC Target für stationäre Manöver [6]	82
Abbildung 2.33 a.) und b.): ADAC Target für bewegte Manöver	82
Abbildung 2.34: Aufbau des SCT [38]	83
Abbildung 2.35: Abmessungen des Aluminiumchassis [38]	84
Abbildung 2.36 a.: Luftgefüllte Kammer mit Ventilationsöffnungen Abbildung 39 b.: Assessor Gesamtfahrzeug [40]	85
Abbildung 2.37: BAST "MARVIN" [43]	87
Abbildung 2.38: Vergleich eines realen Fahrzeuges mit dem "b.target" [44]	88
Abbildung 2.39: "b.rabbit" [44]	89
Abbildung 2.40: "b.target" [44]	89
Abbildung 2.41: LPRV [45]	90
Abbildung 2.42: Dynamic Research Inc. Fahrzeugattrappe bei Kollision mit Ego-Fahrzeug [45]	90
Abbildung 2.43: Auf LPRV montierte Schaumstofffahrzeugattrappe [45]	91
Abbildung 2.44: Zugfahrzeug mit EVITA [46]	93
Abbildung 2.45: Aufbau des Zugfahrzeuges [46]	93
Abbildung 2.46: Aufbau von EVITA [46]	94
Abbildung 2.47: IDIADA "rabbit target" [47]	95
Abbildung 2.48: IDIADA Gitterrohrwagen [47]	95
Abbildung 2.49: Drehbargelagertes Thatcham Target-Fahrzeug [27]	96
Abbildung 2.50: Thatchams Ballooncar [48]	97
Abbildung 2.51: "UFO" [49]	98
Abbildung 2.52: Mögliche Targetkombinationen mit "UFO" [49]	99
Abbildung 2.53: Verläufe der Beschleunigung, Geschwindigkeit und des Wege über der Zeit für eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung	103
Abbildung 2.54: Linearer Anstieg der Beschleunigung über der Zeit	105
Abbildung 2.55: Verläufe der Beschleunigung, Geschwindigkeit und des Wege über der Zeit für eine Bewegung mit linearem Anstieg der Beschleunigung	106
Abbildung 2.56: Gerader zentraler elastischer Stoß	107
Abbildung 3.1: Konzept 1	111
Abbildung 3.2: Konzept 2	112
Abbildung 3.3: Konzept 3	113
Abbildung 3.4: Anordnung der Fahrzeuge für die Kollisionsberechnung	114
Abbildung 3.5: Ergebnis eines Manövers ohne zu erwartender Kollision	115
Abbildung 3.6: Ergebnis eines Manövers mit zu erwartender Kollision	116
Abbildung 3.7: Simulinkmodell der Kollisionsrechnung	123
Abbildung 3.8: Fahrzeugattrappe des ADAC	124
Abbildung 3.9: Idealisieretes Modell der Fahrzeugattrappe	125
Abbildung 3.10: Blick von der Unterseite ins Innere der ADAC-Fahrzeugattrappe	126
Abbildung 3.11: Verformung der ADAC Fahrzeugattrappe bei Kollision [5]	126
Abbildung 3.12: Kräftegleichgewicht zwischen Druckkraft F_{ip} und äußerer Kraft F_{if}	127
Abbildung 3.13: Abgeschätzter Verlauf der Federkennlinie und des Druckanstiegs im Inneren eines Zylinders	128

Abbildung 3.14: Auf das Ego-Fahrzeug wirkende Kräfte	129
Abbildung 3.15: Freigeschnittene Versuchsanlage des Konzeptes 1	130
Abbildung 3.16: Freigeschnittene Versuchsanlage des Konzeptes 2	132
Abbildung 3.17: Momentengleichgewicht an der Auslegerkonstruktion	133
Abbildung 3.18: Verlauf der "Reduzierten" Masse über dem Attrappengewicht	135
Abbildung 3.19: Maximale Crashboxkräfte.....	137
Abbildung 3.20: Maximale Kontaktkräfte Konzept 1.....	138
Abbildung 3.21: Maximale Kontaktkräfte Konzept 2.....	139
Abbildung 3.22: Maximale Kontaktkräfte Konzept 3.....	139
Abbildung 3.23: Vergleich der Kollisionskraftverläufe der 3 Konzept.....	140
Abbildung 3.24: Vergleich Simulationsergebnisse ohne Berechnung der Fahrwiderstände, mit dem Rechenergebnis des elastischen Stoßes	141
Abbildung 4.1: Ansicht der Versuchsanlage ohne Fahrzeugattrappe von hinten.....	147
Abbildung 4.2: Ansicht der Versuchsanlage ohne Fahrzeugattrappe von vorne	147
Abbildung 4.3: Ansicht der Unterseite	148
Abbildung 4.4: Versuchsanlage mit montierter Fahrzeugattrappe	148
Abbildung 4.5: Schalennetz des Rahmens	149
Abbildung 4.6: Vernetzung für Radträgerberechnung.....	150
Abbildung 4.7: Einspannung und angreifende Last für die Rahmenberechnung.....	151
Abbildung 4.8: Kräfte und Einspannungen für die Radträgerberechnung.....	151
Abbildung 4.9: Berechnungsergebnis des Rahmens	152
Abbildung 4.10: Berechnungsergebnis des Radträgers.....	153
Abbildung 4.11: Ergebnis Schweißnahtkontrolle.....	154

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Gemessene Warnkaskaden verschiedener Fahrzeuge, bei Auffahren mit 100 km/h auf ein sich mit 60 km/h bewegendes Fahrzeug [5]	13
Tabelle 2.1: Fahrzeugklassen (12).....	19
Tabelle 2.2: Vorgegebene Zielwerte für das Bestehen/Nichtbestehen der Genehmigungsstufe 1 [19]	77
Tabelle 2.3: Vorgegebenen Zielwerte für das Bestehen/Nichtbestehen der Genehmigungsstufe 2 [19]	77
Tabelle 2.4: Daten des ADAC-Targets	81
Tabelle 2.5: Technische Daten des SCT Quelle [38]	84
Tabelle 2.6: Daten der Fahrzeugattrappe Assessor [40].....	86
Tabelle 2.7: Daten der BASt Versuchsanlage für Notbremsassistentensysteme [42].....	87
Tabelle 2.8: Daten der von Bertand entwickelten Versuchsanlage [44].....	89
Tabelle 2.9: Daten der von Dynamic Research Inc. entwickelten Versuchsanlage [45]	91
Tabelle 2.10: Technischedaten von EVITA [46]	94
Tabelle 2.11: Technische Daten des IDIADA "rabbit target" [47]	96
Tabelle 2.12: Technische Daten von "UFO" [49].....	99
Tabelle 3.1: Vergleich der Berechnungsergebnisse der Gesamtfahrzeugsimulation mit der vereinfachten Berechnung	118
Tabelle 3.2: Definition der Manövernamen	119
Tabelle 3.3: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug"	120
Tabelle 3.4: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit"	121
Tabelle 3.5: Rechenergebnisse der Kollisionsüberprüfung "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung"	122
Tabelle A.1: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit" (26).....	XII
Tabelle A.2: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung" (26)	XII
Tabelle A.3: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird" (26).....	XII
Tabelle A.4: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein stehendes Ziel" (26).....	XII
Tabelle A.5: Parameter des ADAC Akzeptanztests A1 (26)	XII
Tabelle A.6: Versuchsparameter ADAC Akzeptanztest A2 - Fliegendes Überholen (26)	XII
Tabelle A.7: Versuchsparameter ADAC Akzeptanztest A3 - unplausibles Bremsen (26)	XIII
Tabelle A.8: Versuchsparameter ADAC Akzeptanzstest A4 - vorbeifahren an stehendem Fahrzeug (5).....	XIII
Tabelle A.9: Manövervariationen Thatcham "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" (28).XIV	
Tabelle A.10: Manövervariationen Thatcham "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" (28).....	XIV
Tabelle A.11: Manövervariationen Thatcham "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" (27)	XIV
Tabelle A.12: Manövervariationen und dabei erreichbare Punktezahlen des Euro-NCAP-Manövers "AEB-City" (29)	XV

Tabelle A.13: Manövervariationen und mögliche Punktezahl für korrekte Kollisionswarnung, bei "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" (28)	XV
Tabelle A.14: Manövervariationen und erreichbare Punktzahlen für Kollisionsvermeidung und Kollisionswarnung des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" (28).....	XVI
Tabelle A.15: Manövervariationen und erreichbare Punktezahlen für Kollisionsvermeidung und Kollisionswarnung des Euro-NCap-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" (28).....	XVI
Tabelle A.16: Manöverparameter des Assess-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeuge mit konstanter Geschwindigkeit" (32).....	XVII
Tabelle A.17: Manövervariationen des Assess-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" (32)	XVII
Tabelle A.18: Manövervariationen des Assess-Manövers " Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" (31).....	XVIII
Tabelle A.19: Manövervariationen des Assess-Manövers "Kreuzung mit freier Sicht" (31)	XVIII
Tabelle A.20: Manövervariationen des Assess-Manövers "Kreuzung mit verdeckter Sicht" (32)	XVIII
Tabelle A.21: Manövervariationen des Assess-Manövers "Unfall mit Gegenverkehr" (32).....	XVIII
Tabelle A.22: Manövervariationen des Assess-Manövers "Einscheren des Gegenverkehrs" (31)	XIX
Tabelle A.23: Manövervariationen des Assess-Manövers "Einscheren durch Spurwechsel" (31)	XX
Tabelle A.24: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" (35).....	XXI
Tabelle A.25: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" (35).....	XXI
Tabelle A.26: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" (35)	XXII
Tabelle A.27: Manövervariationen des eValue-Manövers " Unfall mit einem anderen Fahrzeug im Kreuzungsbereich" (35).....	XXII
Tabelle A.28: Manövervariationen des eValue-Manövers " Unfall mit einem Fußgänger im Kreuzungsbereich" (35).....	XXIII
Tabelle A.29: Gewichtung der Kriterien für die Nutzwertanalyse	XXIV
Tabelle A.30: Nutzwertermittlung Teil 1	XXV
Tabelle A.31: Nutzwertermittlung Teil 2	XXVI

Literaturverzeichnis

- [1] Breuer/Bill (Hrg): *Bremsenhandbuch*. Vieweg, 2006.
- [2] Hochschule Weingarten: *Fahrerassistenzsysteme - Übersicht*.
Verfügbar unter: <http://www.hs-weingarten.de/~nosper/public/Download/Kapitel%205.1%20ABS%20Neues%20Layout.pdf>.
(Zugriff am 28.03.2013)
- [3] Mercedes-Benz: Themenspecials.
Verfügbar unter: <http://www.daimler.com/unternehmen/tradition/themenspecials>, 2013
(Zugriff am 28.03.2013)
- [4] Heißing/Ersoy: *Fahrwerkhandbuch*. Vieweg, 2007.
- [5] Allgemeiner Deutscher Automobilclub: *ADAC Vergleichstest von Notbremsassistenten*
Verfügbar unter: http://www.adac.de/_mmm/pdf/Testbericht%20AEBS-Internet_75482.pdf, 2012
(Zugriff am 03.04.2013)
- [6] Allgemeiner Deutscher Automobilclub: *Reduzierung von Unfällen durch Notbremssysteme bei Pkw*.
Verfügbar unter:
http://www.adac.de/_mmm/pdf/fv_8adac_bast_symposium_kolke_149074.pdf, 2012
(Zugriff am 03.04.2013)
- [7] TRW: Vorausschauende Kollisionswarnung.
Verfügbar unter: http://www.trw.de/integrated_systems/driver_assist_systems/forward_collision_warning.
(Zugriff am 06.04.2013)
- [8] Winner/Hakuli/Wolf: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner, 2009.
- [9] Euro-NCAP: *Autonomous Emergency Braking*.
Verfügbar unter: <http://www.euroncap.com/Content-Web-Page/2788ff8c-788d-468e-996b-7405569412b1/autonomous-emergency-braking---aeb.aspx>.
(Zugriff am 06.04.2013)
- [10] Euro-NCAP: *Assessment Protocol - Safety Assist*.
Verfügbar unter: <http://euroncap.com/files/Euro-NCAP-Assessment-Protocol---SA---v5-3---0-7829f458-a48e-49bd-ae26-bd6fc00f8461.pdf>.
(Zugriff am 06.04.2013)

- [11] Euro-NCAP: Speed Assistance Systems.
Verfügbar unter: <http://www.euroncap.com/Content-Web-Page/b103e5e1-b536-4298-b563-3aed74e4be62/speed-assistance-systems.aspx>.
(Zugriff am 06.04.2013)
- [12] Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: *Gesamte Rechtsvorschrift für Kraftfahrgesetz 1967*.
Verfügbar unter:
<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384>.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [13] Das Aussenministerium: *Völkerrecht*.
Verfügbar unter:
<http://www.bmeia.gv.at/aussenministerium/aussenpolitik/voelkerrecht.html>.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [14] Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: *Wiener Überinkommen über den Straßenverkehr*, Juni 1982
Verfügbar unter:
http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1982_289_0/1982_289_0.pdf.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [15] Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: *Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr*, Jänner 1986.
Verfügbar unter:
http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1993_585_0/1993_585_0.pdf.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [16] Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem: *Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr*, August 1993.
Verfügbar unter:
http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1993_585_0/1993_585_0.pdf.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [17] EUR-Lex Der Zugang zum EU-Recht: *Verordnung (EG) Nr. 661/2009*, Juli 2009.
Verfügbar unter:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:200:0001:0001:DE:PDF>.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [18] EUR-Lex Der Zugang zum EU-Recht: *Richtlinie 2007/46/EG*, September 2007.
Verfügbar unter:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:263:0001:0001:DE:PDF>.
(Zugriff am 07.04.2013)

-
- [19] EUR-Lex Der Zugang zum EU-Recht: *Verordnung (EU) Nr.: 347/2012*, April 2012.
Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:109:0001:0017:DE:PDF>.
(Zugriff am 07.04.2013)
- [20] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Rechtsakte von Gremien, die im Rahmen internationaler Übereinkünfte eingesetzt wurden (Regelung Nr. 13-H)*, August 2010
Verfügbar unter: <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/44836/publicationFile/41718/r-13-h-harmonisierte-bremsen-pdf.pdf>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [21] Mittelstandswiki: Normen, Richtlinien und Gesetze, Teil 1
Verfügbar unter: http://www.mittelstandswiki.de/wissen/Normen,_Richtlinien_und_Gesetze,_Teil_1.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [22] International Organization for Standardization: About us.
Verfügbar unter: <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [23] Society of Automotive Engineers: Über SAE.
Verfügbar unter: <http://de.sae.org/about/>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [24] Euro-NCAP: *Euro NCAP Rating Review*, Juni 2012.
Verfügbar unter: <http://www.euroncap.com/files/Ratings-Group-Report---Version-2-1--with-Appendix-with-excel-reference---0-88abbc2e-5137-46fb-9895-8e83a33645b5.pdf>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [25] Allgemeiner Deutscher Automobilclub: Wir über uns.
Verfügbar unter: <http://www.adac.de/wir-ueber-uns/default.aspx?ComponentId=73372&SourcePageId=88036>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [26] Thatcham: About us
Verfügbar unter: <http://www.thatcham.org/about/>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [27] Thatcham: *AEB Test Procedures*, 2011
Verfügbar unter: http://www.thatcham.org/safety/pdfs/AEB_test_procedures_aug12.pdf.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [28] Euro-NCAP: *AEB City Assesment Protocol (Protocol for 2014 Implementation*, März 2013.
Euro-NCAP (Hrg), März 2013

- [29] Assess: The Project
Verfügbar unter: <http://www.assess-project.eu/site/en/about.php>.
(Zugriff am 08.04.2013)
- [30] Assess: *Specifications for scenario definitions*, 21.12.2010.
Verfügbar unter: <http://www.assess-project.eu/downloadables/Public%20Deliverables/ASSESS%20D1.2%20-%20FINAL-Detailed%20analysis%20of%20field%20data-PUBLIC-2010.12.21.pdf>.
(Zugriff am 09.04.2013)
- [31] Assess: *Action plan pre-crash evaluation*, Februar 2010
Verfügbar unter: http://www.assess-project.eu/downloadables/Public%20Deliverables/ASSESS%20D4.1b%20-%20FINAL%20-%20Action%20plan%20pre_crash%20evaluation-PUBLIC-2010-03.01.pdf.
(Zugriff am 09.04.2013)
- [32] Assess: *Pre-crash evaluation - final status*, 04.07.2012
Verfügbar unter: <http://www.assess-project.eu/downloadables/Public%20Deliverables/ASSESS%20D4.3b%20-%20FINAL%20Public%20version%20-%20Pre-crash%20evaluation-2012.07.04.pdf>.
(Zugriff am 15.04.2013)
- [33] eValue: *Deliverable D5.2 Final Report*, 21.02.2011.
Verfügbar unter: <http://www.evaluate-project.eu/pdf/evaluate-101231-d52-v10-final.pdf>.
(Zugriff am 10.04.2013)
- [34] eValue: Partners.
Verfügbar unter: <http://www.evaluate-project.eu/partners.php>.
(Zugriff am 10.04.2013)
- [35] eValue: *Deliverable D3.2 Final Testing Protocols*.
Verfügbar unter: <http://www.evaluate-project.eu/pdf/evaluate-101031-d32-v20-final.pdf>.
(Zugriff am 10.04.2013)
- [36] National Highway Traffic Safety Administration: *NCAP FCW Test Procedure*, März 2010.
Verfügbar unter: <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=NHTSA-2006-26555-0128>.
(Zugriff am 10.04.2013)
- [37] Allgemeiner Deutscher Automobilclub: *ADAC AEBS Testsystem Imagebroschüre*,
Von ADAC per Email erhaltene Imagebroschüre, Februar 2013
- [38] Ab Dynamics: Soft Crash Vehicles
Verfügbar unter: http://www.abd.uk.com/en/soft_crash_vehicles/11_pick_softcrash.pdf, Oktober 2012
(Zugriff am 10.10.2012)

- [39] Assess: *Introduction and Status* August 2010, 01.10.2010
Verfügbar unter: <http://www.assess-project.eu/downloadables/Project%20Status/WS1-ASSESS-Introduction%20and%20status-FTSS-2010-10-01.pdf>.
(Zugriff am 10.03.2013)
- [40] Active Test: *Assessment of integrated Vehicle Safety Systems*, September 2011.
Verfügbar unter: http://www.activetest.eu/pdf/workshop1/12_aparicio_assess.pdf.
(Zugriff am 11.04.2013)
- [41] Technische Universität München: *Ein validiertes Testverfahren für Notbremssysteme - Ergebnisse des ASSESS-Projekts*, 16.05.2012
Verfügbar unter: http://www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/26_Seiniger.pdf.
(Zugriff am 12.04.2013)
- [42] National Highway Traffic Safety Administration: *Development of a target propulsion system for Assess*
Verfügbar unter: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv22/22ESV-000187.pdf>.
(Zugriff am 13.04.2013)
- [43] Active. Test: *BASt Approach: Overview*, 27.09.2011.
Verfügbar unter: http://www.activetest.eu/pdf/workshop1/13_seininger_bast.pdf.
(Zugriff am 13.04.2013)
- [44] Golowko/Szolnoki/Schreiber: *Fahrerassistenzsysteme reproduzierbar testen in ATZ- Automobiltechnische Zeitschrift 04 (2013), S.274 - 279.*
- [45] Dynamic Research Inc.: *Special Purpose Test Systems in Support of Services*. Verfügbar unter: http://www.dynres.com/prod_guidedtarget.html.
(Zugriff am 15.10.2012)
- [46] Technische Universität Darmstadt: *Das Darmstädter Dummy Target EVITA - Ein Werkzeug zur Beurteilung von Antikollisionssystemen.*
Verfügbar unter: http://www.fzd.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet_fzd/publikationen_3/2007/2007_hoffmann_vdi.pdf.
(Zugriff am 15.04.2013)
- [47] Assess: *Pre-crash evaluation - final status*, 04.07.2012.
Verfügbar unter: <http://www.assess-project.eu/downloadables/Public%20Deliverables/ASSESS%20D4.3b%20-%20FINAL%20Public%20version%20-%20Pre-crash%20evaluation-2012.07.04.pdf>.
(Zugriff am 15.04.2013)
- [48] Tatcham: *Understanding technological advances in vehicle safety to reduce claims costs in the future*, 2008
Verfügbar unter: http://db.riskwaters.com/global/events/im_post_claimsclub2008/past_meetings/2008/conference091008/Matthew-Avery-workshop3.ppt
(Zugriff am 15.04.2013)

-
- [49] Institut für Kraftfahrzeuge RWTH AACHEN: *ADAS Experimental testing with an Ultra Flat Runoverable Target Carrier*, 04.10.2010.
Verfügbar unter: <http://www.ika.rwth-aachen.de/veranstaltung/2010/10-04/pdf/ufo-earpa-10-2010.pdf>.
(Zugriff am 15.04.2013)
- [50] Sachs/Brommundt: *Technische Mechanik*. Springer, 1988.
- [51] Weigand/Köhler/Wolfersdorf: *Thermodynamik kompakt.*: Springer, 2008.
- [52] Böge: *Handbuch Maschinenbau*. Springer Vieweg, 2013.
- [53] Allgemeiner Deutscher Automobilclub: *Zeichnung der ADAC Fahrzeugattrappe*
Von ADAC per Email erhalten, Februar 2013
- [54] Waser: *TM-Easy Application Manual*. FTG Graz (Hrg.), 2005.
- [55] Haken: *Grundlagen der Kraftfahrzeugtechnik*. Hanser, 2008.
- [56] Reifen Haub: Lexikon.
Verfügbar unter: [http://www.reifen-haub.de/lexikon/?tx_indislexikon_pi1\[showUid\]=69&cHash=a883fcd761](http://www.reifen-haub.de/lexikon/?tx_indislexikon_pi1[showUid]=69&cHash=a883fcd761).
(Zugriff am 15.04.2013)
- [57] Auto Motor und Sport: *Assistenzsysteme von Audi: Oh Helferlein kommt*.
Verfügbar unter: http://www.auto-motor-und-sport.de/bilder/assistsenzsysteme-von-audi-oh-helferlein-kommet-4144667.html?fotoshow_item=2#fotoshow_item=19.
(Zugriff am 05.05.2013)
- [58] Alen Omerovic: *Konzept für eine Versuchsanlage zur Entwicklung von automatischen Bremsassistsenzsystemen*. FTG, 2012
- [59] Euro-NCAP: *AEB Inter-Urban Assessment Protocol (Protocol for 2014 Implementation)*, März 2013.
Euro-NCAP (Hrg), März 2013

A. Anhang

A.1 Übersicht der Manövervariationen

ADAC:

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
B1_1	50	20	200	0
B1_2	100	60	200	0

Tabelle A.1: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Geschwindigkeit" [26]

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
B2_1	60	60	40	-3

Tabelle A.2: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel mit konstanter Verzögerung" [26]

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
B3_1	50	40	120	-3

Tabelle A.3: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein bewegtes Ziel welches mit konstanter Verzögerung bis zum Stillstand abgebremst wird" [26]

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
B4_1	20	0	250	0
B4_2	30	0	250	0
B4_3	40	0	250	0
B4_4	70	0	250	0

Tabelle A.4: ADAC Manövervariationen "Auffahren auf ein stehendes Ziel" [26]

v_{Ego}	60km/h
v_{Target}	30km/h
Kurvenradius	100m
Breite der Fahrspuren	3,5 m

Tabelle A.5: Parameter des ADAC Akzeptanztests A1 (26)

v_{Ego}	130 km/h
v_{Target}	90 km/h
x_0	50 m
Dauer für Spurwechsel	1 Sekunde

Tabelle A.6: Versuchsparameter ADAC Akzeptanztest A2 - Fliegendes Überholen [26]

V_{Ego}	50 km/h
V_{Target}	50 km/h
a_{Target}	-3 m/s ²
x_0	30 m

Tabelle A.7: Versuchsparameter ADAC Akzeptanztest A3 - unplausibles Bremsen [26]

V_{Ego}	50 km/h
V_{Target}	0 km/h
x_0	30 m

Tabelle A.8: Versuchsparameter ADAC Akzeptanztest A4 - vorbeifahren an stehendem Fahrzeug [5]

Thatcham:

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
Thatcham_10_0_0_x	10	0	Nicht definiert	0
Thatcham_20_0_0_x	20	0	Nicht definiert	0
Thatcham_30_0_0_x	30	0	Nicht definiert	0
Thatcham_40_0_0_x	40	0	Nicht definiert	0
Thatcham_50_0_0_x	50	0	Nicht definiert	0
Thatcham_60_0_0_x	60	0	Nicht definiert	0
Thatcham_70_0_0_x	70	0	Nicht definiert	0
Thatcham_80_0_0_x	80	0	Nicht definiert	0

Tabelle A.9: Manövertypen Thatcham "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [27]

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]
Thatcham_50_0_0_x	50	20	Nicht definiert	0
Thatcham_60_0_0_x	60	20	Nicht definiert	0
Thatcham_70_0_0_x	70	20	Nicht definiert	0
Thatcham_80_0_0_x	80	20	Nicht definiert	0

Tabelle A.10: Manövertypen Thatcham "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [27]

v_{Ego}	50km/h
v_{Target}	50km/h
a_{Target}	2 und 6m/s ²
x_0	12 und 40m

Tabelle A.11: Manövertypen Thatcham "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [27]

Euro-NCAP:

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]	Punkte für Unfallvermeidung
EuroNCAP_10_0_0_x	10	0	Nicht definiert	0	1
EuroNCAP_15_0_0_x	15	0	Nicht definiert	0	2
EuroNCAP_20_0_0_x	20	0	Nicht definiert	0	2
EuroNCAP_25_0_0_x	25	0	Nicht definiert	0	2
EuroNCAP_30_0_0_x	30	0	Nicht definiert	0	2
EuroNCAP_35_0_0_x	35	0	Nicht definiert	0	2
EuroNCAP_40_0_0_x	40	0	Nicht definiert	0	1
EuroNCAP_45_0_0_x	45	0	Nicht definiert	0	1
EuroNCAP_50_0_0_x	50	0	Nicht definiert	0	1

Tabelle A.12: Manövervariationen und dabei erreichbare Punktezahlen des Euro-NCAP-Manövers "AEB-City" [28]

Test-Nr.	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]	Punkte für Kollisionswarnung	Punkte für Kollisionsvermeidung
EuroNCAP_30_0_0_x	30	0	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_35_0_0_x	35	0	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_40_0_0_x	40	0	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_45_0_0_x	45	0	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_50_0_0_x	50	0	Nicht definiert	0	3	-
EuroNCAP_55_0_0_x	55	0	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_60_0_0_x	60	0	Nicht definiert	0	1	-
EuroNCAP_65_0_0_x	65	0	Nicht definiert	0	1	-
EuroNCAP_70_0_0_x	70	0	Nicht definiert	0	1	-
EuroNCAP_75_0_0_x	75	0	Nicht definiert	0	1	-
EuroNCAP_80_0_0_x	80	0	Nicht definiert	0	1	-

Tabelle A.13: Manövervariationen und mögliche Punktezahl für korrekte Kollisionswarnung, bei "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [28]

Test-Nr.	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	x_0 [m]	a_{Target} [m/s ²]	Punkte für Kollisionswarnung	Punkte für Kollisionsvermeidung
EuroNCAP_30_20_0_x	30	20	Nicht definiert	0	-	1
EuroNCAP_35_20_0_x	35	20	Nicht definiert	0	-	1
EuroNCAP_40_20_0_x	40	20	Nicht definiert	0	-	1
EuroNCAP_45_20_0_x	45	20	Nicht definiert	0	-	1
EuroNCAP_50_20_0_x	50	20	Nicht definiert	0	1	1
EuroNCAP_55_20_0_x	55	20	Nicht definiert	0	1	1
EuroNCAP_60_20_0_x	60	20	Nicht definiert	0	1	1
EuroNCAP_65_20_0_x	65	20	Nicht definiert	0	2	2
EuroNCAP_70_20_0_x	70	20	Nicht definiert	0	2	2
EuroNCAP_75_20_0_x	75	20	Nicht definiert	0	2	-
EuroNCAP_80_20_0_x	80	20	Nicht definiert	0	2	-

Tabelle A.14: Manöर्वariationen und erreichbare Punktzahlen für Kollisionsvermeidung und Kollisionswarnung des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [28]

Test-Nr.	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	x_0 [m]	Punkte für Kollisionswarnung	Punkte für Kollisionsvermeidung
EuroNCAP_50_50_-2_12	50	50	-2	12	1	1
EuroNCAP_50_50_-2_40	50	50	-2	40	1	1
EuroNCAP_50_50_-6_12	50	50	-6	12	1	1
EuroNCAP_50_50_-6_40	50	50	-6	40	1	1

Tabelle A.15: Manöर्वariationen und erreichbare Punktezahlen für Kollisionsvermeidung und Kollisionswarnung des Euro-NCAP-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [28]

Assess:

Innerstädtischer Bereich					
Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A1A1	50	10	100%	>> 33	keine
A1A2	50	10	100%	>> 33	langsam
A1A3	50	10	100%	>> 33	schnell
A1B1	50	10	50%	>> 33	keine
A1B2	50	10	50%	>> 33	langsam
A1B3	50	10	50%	>> 33	schnell
Autobahnbereich					
Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A1C1	100	20	100%	>> 67	keine
A1C2	100	20	100%	>> 67	langsam
A1C3	100	20	100%	>> 67	schnell

Tabelle A.16: Manöverparameter des Assess-Manövers "Auffahren auf ein Fahrzeuge mit konstanter Geschwindigkeit" [31]

Innerstädtischer Bereich						
Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A2A1	50	50	-4	100%	14	keine
A2A2	50	50	-4	100%	14	langsam
A2A3	50	50	-4	100%	14	schnell
A2B1	50	50	-7	100%	14	keine
A2B3	50	50	-7	100%	14	schnell
Autobahnbereich						
Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A2C1	80	80	-4	100%	45	keine
A2C2	80	80	-4	100%	45	langsam
A2C3	80	80	-4	100%	45	schnell
A2D1	80	80	-7	100%	45	keine
A2D3	80	80	-7	100%	45	schnell

Tabelle A.17: Manövervariationen des Assess-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [31]

Innerstädtischer Bereich					
Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A3A1	50	0	100%	>> 42	keine
A3A2	50	0	100%	>> 42	langsam
A3A3	50	0	100%	>> 42	schnell
A3B1	50	0	50%	>> 42	keine
A3B2	50	0	50%	>> 42	langsam
A3B3	50	0	50%	>> 42	schnell
Autobahnbereich					
Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	Seitliche Überdeckung	x_0 [m]	Fahrerreaktion
A1C1	80	0	100%	>> 67	keine
A1C2	80	0	100%	>> 67	langsam
A1C3	80	0	100%	>> 67	schnell

Tabelle A.18: Manövervariationen des Assess-Manövers "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [31]

Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	Fahrerreaktion
B1A1	50	10	keine
B1A2	50	10	langsam
B1A3	50	10	schnell

Tabelle A.19: Manövervariationen des Assess-Manövers "Kreuzung mit freier Sicht" [31]

Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	Fahrerreaktion
B2B1	50	10	keine
B2B3	50	10	schnell

Tabelle A.20: Manövervariationen des Assess-Manövers "Kreuzung mit verdeckter Sicht" [31]

Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	Fahrerreaktion
C1A1	40	40	>>67	keine
C1A2	40	40	>>67	langsam
C1A3	40	40	>>67	schnell
C1B1	64	64	>>107	keine
C1B2	64	64	>>107	langsam
C1B3	64	64	>>107	schnell

Tabelle A.21: Manövervariationen des Assess-Manövers "Unfall mit Gegenverkehr" [31]

Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	Fahrerreaktion
D1A1	50	10	3sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	keine
D1A2	50	10	3sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	langsam
D1A3	50	10	3sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	schnell
D1B1	50	10	1sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	keine
D1B2	50	10	1sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	langsam
D1B3	50	10	1sec. um 50% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego-Fahrzeuges nicht reagiert	schnell

Tabelle A.22: Manövervariationen des Assess-Manövers "Einscheren des Gegenverkehrs" [31]

Manöverbezeichnung	v_{Ego} [km/h]	v_{Target} [km/h]	x_0 [m]	Fahrerreaktion
D2A1	80	40	1sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	keine
D2A2	80	40	1sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	langsam
D2A3	80	40	1sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	schnell
D2B1	80	40	3sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	keine
D2B2	80	40	3sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	langsam
D2B3	80	40	3sec. um 0% Offset bei Kollision zu erreichen falls, der Fahrer des Ego- Fahrzeuges nicht reagiert	schnell

Tabelle A.23: Manövervariationen des Assess-Manövers "Einscheren durch Spurwechsel" [31]

eValue:

Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	x_0 [m]	Fahrerreaktion Ego-Fahrzeug	Straßenverlauf
1.1.1	50	0	0	150	Keine	gerade
1.1.2	50	0	0	150	Starkes Bremsen	gerade
1.1.3	50	0	0	150	Schwaches Bremsen	gerade
1.2.1	70	0	0	150	Keine	gerade
1.2.2	70	0	0	150	Starkes Bremsen	gerade
1.2.3	70	0	0	150	Schwaches Bremsen	gerade
1.7.1	50	0	0	150	Keine	Linkskurve
1.7.2	50	0	0	150	Starkes Bremsen	Linkskurve
1.7.3	50	0	0	150	Schwaches Bremsen	Linkskurve
1.8.1	50	0	0	150	Keine	Rechtskurve
1.8.2	50	0	0	150	Starkes Bremsen	Rechtskurve
1.8.3	50	0	0	150	Schwaches Bremsen	Rechtskurve

Tabelle A.24: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug" [35]

Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	x_0 [m]	Fahrerreaktion	Straßenverlauf
1.3.1	70	30	0	100	Keine	gerade
1.3.2	70	30	0	100	Starkes Bremsen	gerade
1.3.3	70	30	0	100	Schwaches Bremsen	gerade
1.4.1	70	50	0	100	Keine	gerade
1.4.2	70	50	0	100	Starkes Bremsen	gerade
1.4.3	70	50	0	100	Schwaches Bremsen	gerade
1.9.1	70	30	0	100	Keine	Linkskurve
1.9.1	70	30	0	100	Starkes Bremsen	Linkskurve
1.9.3	70	30	0	100	Schwaches Bremsen	Linkskurve
1.10.1	70	30	0	100	Keine	Rechtskurve
1.10.2	70	30	0	100	Starkes Bremsen	Rechtskurve
1.10.3	70	30	0	100	Schwaches Bremsen	Rechtskurve

Tabelle A.25: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit" [35]

Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	a_{Target} [m/s ²]	x_0 [m]	Fahrerreaktion	Straßenverlauf
1.5.1	70	70	3	40	Keine	gerade
1.5.2	70	70	3	40	Starkes Bremsen	gerade
1.5.3	70	70	3	40	Schwaches Bremsen	gerade
1.6.1	70	70	5	40	Keine	gerade
1.6.2	70	70	5	40	Starkes Bremsen	gerade
1.6.3	70	70	5	40	Schwaches Bremsen	gerade
1.11.1	70	70	5	40	Keine	Linkskurve
1.11.2	70	70	5	40	Starkes Bremsen	Linkskurve
1.11.3	70	70	5	40	Schwaches Bremsen	Linkskurve
1.12.1	70	70	5	40	Keine	Rechtskurve
1.12.2	70	70	5	40	Starkes Bremsen	Rechtskurve
1.12.3	70	70	5	40	Schwaches Bremsen	Rechtskurve

Tabelle A.26: Manövervariationen des eValue-Manövers "Auffahren auf ein langsames Fahrzeug mit konstanter Verzögerung" [35]

Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	x_0 [m]	x_1 [m]	Fahrerreaktion Ego-Fahrzeug
1.1.1	30	15	30	15	Keine
1.1.2	30	15	30	15	Starkes Bremsen
1.1.3	30	15	30	15	Schwaches Bremsen
1.2.1	30	30	30	30	Keine
1.2.2	30	30	30	30	Starkes Bremsen
1.2.3	30	30	30	30	Schwaches Bremsen
1.3.1	50	30	50	30	Keine
1.3.2	50	30	50	30	Starkes Bremsen
1.3.3	50	30	50	30	Schwaches Bremsen

Tabelle A.27: Manövervariationen des eValue-Manövers "Unfall mit einem anderen Fahrzeug im Kreuzungsbereich" [35]

Manöverbezeichnung	V_{Ego} [km/h]	V_{Target} [km/h]	x_0 [m]	x_1 [m]	Fahrerreaktion Ego-Fahrzeug
1.1.1	15	5	15	5	Keine
1.1.2	15	5	15	5	Starkes Bremsen
1.1.3	15	5	15	5	Schwaches Bremsen
1.2.1	30	5	30	5	Keine
1.2.2	30	5	30	5	Starkes Bremsen
1.2.3	30	5	30	5	Schwaches Bremsen
1.3.1	50	5	50	5	Keine
1.3.2	50	5	50	5	Starkes Bremsen
1.3.3	50	5	50	5	Schwaches Bremsen

Tabelle A.28: Manövervariationen des eValue-Manövers " Unfall mit einem Fußgänger im Kreuzungsbereich" [35]

A.2 Nutzwertanalyse

<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>Kriterien für die NWA</p> <p>zulässige Punktwerte für die Bewertungsskala</p> <p>2= wichtiger</p> <p>1=gleichwichtig</p> <p>0= weniger wichtig</p> </div>				Kriterien für die NWA																		
				Annäherung an langsam fahrendes Target	Annäherung an ein konstant verzögerndes Target	Annäherung an ein stehendes Target	Annäherung in einer Kurve fahrendes Target	Lateraler- und Winkelversatz	Entgegenfahrendes Target	Kreuzungen	Erkennbarkeit für Sensoren	Minimale Zeitlücke (TTC)	Anschaffung des Targets	Wiederverwendbarkeit	Wendbarkeit	Rüstzeit	Reparaturaufwand	Transportierbarkeit	Anforderungen an die Prüffläche	Schutz der Messtechnik	Schutz des Testfahrzeugs (EGO)	Sicherheit für das Personal (Zugfahrzeug)
Kriterien	Gewicht %	Summe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1 Annäherung an langsam fahrendes Target	8%	27		1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	
2 Annäherung an ein konstant verzögerndes Target	8%	27	1		1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	
3 Annäherung an ein stehendes Target	8%	27	1	1		2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	
4 Annäherung in einer Kurve fahrendes Target	1%	3	0	0	0		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5 Lateraler- und Winkelversatz	7%	25	1	1	1	1		2	2	0	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	
6 Entgegenfahrendes Target	0%	1	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7 Kreuzungen	4%	14	0	0	0	1	0	2		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8 Erkennbarkeit für Sensoren	8%	28	1	1	1	2	2	2	2		2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	
9 Minimale Zeitlücke (TTC)	6%	20	0	0	0	2	0	2	1	0		1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
10 Anschaffung des Targets	6%	21	0	0	0	2	0	2	1	1	1		2	2	2	2	1	2	1	1	1	
11 Wiederverwendbarkeit	6%	22	1	1	1	2	1	2	1	1	0	0		2	2	1	2	2	1	1	1	
12 Wendbarkeit	2%	8	0	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0		1	1	1	0	0	0	0	
13 Rüstzeit	2%	7	0	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	1		0	1	0	0	0	0	
14 Reparaturaufwand	3%	11	0	0	0	2	0	2	1	0	0	0	1	1	2		1	1	0	0	0	
15 Transportierbarkeit	3%	9	0	0	0	2	0	2	1	0	0	1	0	1	1	1		0	0	0	0	
16 Anforderungen an die Prüffläche	5%	17	1	1	1	2	1	2	1	0	1	0	0	2	2	1	2		0	0	0	
17 Schutz der Messtechnik	7%	25	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2		1	1	
18 Schutz des Testfahrzeugs (EGO)	7%	25	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1		
19 Sicherheit für das Personal (Zugfahrzeug)	7%	25	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	
Summen	100,0%	342																				

Tabelle A.29: Gewichtung der Kriterien für die Nutzwertanalyse

Nutzwertermittlung

Skala der Zielerfüllungsfaktoren

0-1 Punkte: "schlecht"

2-3 Punkte: "mittel"

4-5 Punkte: "gut"

	Kriterien	Gewicht %	ADAC	Nw	THATCHAM	Nw	EMTA	Nw	IDIADA	Nw	UFO	Nw
1	Annäherung an langsam fahrendes Target	8%	5	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,39	3	0,24
2	Annäherung an ein konstant verzögertes Target	8%	5	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,39	3	0,24
3	Annäherung an ein stehendes Target	8%	5	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,39	3	0,24
4	Annäherung in einer Kurve fahrendes Target	1%	2	0,02	4	0,04	1	0,01	3	0,03	1	0,01
5	Lateraler- und Winkelversatz	7%	3	0,22	4	0,29	1	0,07	3	0,22	4	0,29
6	Entgegen fahrendes Target	0%	0	0,00	4	0,01	0	0,00	0	0,00	3	0,01
7	Kreuzungen	4%	2	0,08	4	0,16	0	0,00	1	0,04	5	0,20
8	Erkennbarkeit für Sensoren	8%	5	0,41	4	0,33	4	0,33	4	0,33	3	0,25
9	Minimale Zeitlücke (TTC)	6%	4	0,25	3	0,18	3	0,18	5	0,29	4	0,23
10	Anschaffung des Targets	6%	5	0,31	3	0,18	2	0,12	4	0,25	2	0,12
11	Wiederverwendbarkeit	6%	5	0,32	4	0,26	5	0,32	5	0,32	5	0,32
12	Wendbarkeit	2%	3	0,07	3	0,07	5	0,12	5	0,12	5	0,12
13	Rüstzeit	2%	5	0,10	3	0,08	5	0,10	4	0,08	4	0,08
14	Reparaturaufwand	3%	4	0,13	3	0,10	1	0,03	3	0,10	4	0,13
15	Transportierbarkeit	3%	5	0,13	3	0,08	5	0,13	4	0,11	5	0,13
16	Anforderungen an die Prüffläche	5%	4	0,20	2	0,10	5	0,25	5	0,25	2	0,10
17	Schutz der Messtechnik	7%	5	0,37	3	0,22	5	0,37	5	0,37	4	0,29
18	Schutz des Testfahrzeugs (EGO)	7%	4	0,29	4	0,29	4	0,29	5	0,37	4	0,29
19	Sicherheit für das Personal (Zugfahrzeug)	7%	4	0,29	4	0,29	3	0,22	5	0,37	5	0,37
	Summe	100%	78,947%	4,3567	73,684%	3,8421	67,368%	3,7222	80,000%	4,4035	72,632%	3,6579

Tabelle A.30: Nutzwertermittlung Teil 1

Nutzwertermittlung

Skala der Zielerfüllungsfaktoren

0-1 Punkte: "schlecht"

2-3 Punkte: "mittel"

4-5 Punkte: "gut"

	Kriterien	Gewicht %	BASt	Nw	Bertrandt	Nw	Konzept 1	Nw	Konzept 2	Nw	Konzept 3	Nw
1	Annäherung an langsam fahrendes Target	8%	2	0,16	3	0,24	5	0,39	5	0,39	5	0,39
2	Annäherung an ein konstant verzögertes Target	8%	2	0,16	3	0,24	5	0,39	5	0,39	5	0,39
3	Annäherung an ein stehendes Target	8%	2	0,16	3	0,24	5	0,39	5	0,39	5	0,39
4	Annäherung in einer Kurve fahrendes Target	1%	2	0,02	3	0,03	3	0,03	5	0,04	5	0,04
5	Lateraler- und Winkelversatz	7%	2	0,15	2	0,15	5	0,37	3	0,22	5	0,37
6	Entgegen fahrendes Target	0%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
7	Kreuzungen	4%	1	0,04	1	0,04	5	0,20	5	0,20	5	0,20
8	Erkennbarkeit für Sensoren	8%	2	0,16	2	0,16	5	0,41	5	0,41	4	0,33
9	Minimale Zeitlücke (TTC)	6%	3	0,18	3	0,18	4	0,23	4	0,23	4	0,23
10	Anschaffung des Targets	6%	2	0,12	2	0,12	5	0,31	4	0,25	3	0,18
11	Wiederverwendbarkeit	6%	3	0,19	4	0,26	4	0,26	4	0,26	5	0,32
12	Wendbarkeit	2%	4	0,09	4	0,09	5	0,12	3	0,07	5	0,12
13	Rüstzeit	2%	3	0,06	3	0,06	5	0,10	5	0,10	3	0,06
14	Reparaturaufwand	3%	3	0,10	3	0,10	4	0,13	4	0,13	5	0,16
15	Transportierbarkeit	3%	4	0,11	4	0,11	5	0,13	4	0,11	5	0,13
16	Anforderungen an die Prüffläche	5%	3	0,15	3	0,15	4	0,20	4	0,20	5	0,25
17	Schutz der Messtechnik	7%	3	0,22	3	0,22	5	0,37	5	0,37	5	0,37
18	Schutz des Testfahrzeugs (EGO)	7%	3	0,22	4	0,29	5	0,37	5	0,37	3	0,22
19	Sicherheit für das Personal (Zugfahrzeug)	7%	5	0,37	5	0,37	4	0,29	3	0,22	5	0,37
	Summe	100%	51,579%	2,6433	57,895%	3,0263	87,368%	4,6901	82,105%	4,3538	86,316%	4,5351

Tabelle A.31: Nutzwertermittlung Teil 2