

Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeug- rückhaltesysteme

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 192

bast

Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeug- rückhaltesysteme

von

Marcus Gärtner
Markus Egelhaaf

DEKRA Automobil GmbH
Stuttgart

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 192

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.337/2007:
Anprall mit Pkw unter großen Winkeln
gegen Fahrzeugrückhaltesysteme

Projektbetreuung
Ralf Klöckner

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-999-0

Bergisch Gladbach, August 2010

Kurzfassung – Abstract

Anprall mit Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme

Straßenseitige Fahrzeug-Rückhaltesysteme haben entsprechend der Richtlinie für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS) die Aufgabe, die Folgen von Verkehrsunfällen so gering wie möglich zu halten. Sie kommen dabei sowohl zum Schutz unbeteiligter Personen, des Gegenverkehrs bei zweibahnigen Straßen sowie schutzbedürftiger Bereiche neben der Straße als auch zum Schutz der Fahrzeuginsassen vor schweren Folgen infolge Abkommens von der Fahrbahn zum Einsatz.

Vor dem Einsatz der unterschiedlichen Systeme muss die Wirksamkeit des jeweiligen Systems für den entsprechenden Anwendungsfall nachgewiesen werden. Dabei regeln die RPS, welche Anforderungen an welchen örtlichen Gegebenheiten erfüllt sein müssen. In DIN EN 1317 sind die zugehörigen Prüfverfahren beschrieben.

Da ein normiertes Prüfverfahren nicht alle real auftretenden Unfallszenarien abdecken kann, stellte sich die Frage, wie sich Stahlschutzplanken und Betonschutzwände beim großwinkligen Anprall kleiner und leichter Fahrzeuge verhalten und wie es um die Insassensicherheit bestellt ist.

Eine im Rahmen des resultierenden Forschungsprojektes durchgeführte Analyse des Unfallgeschehens ergab für das Jahr 2007 die Zahl von 25.038 polizeilich registrierten Unfällen mit Anprall gegen eine Schutzeinrichtung [Statistisches Bundesamt]. Angaben zu Anprallwinkel, Kollisionsgeschwindigkeit und Fahrzeugmasse können dieser Statistik nicht entnommen werden. Für die In-depth-Analyse wurden daher 69 Unfallgutachten zu Kollisionen mit großem Anprallwinkel ($\geq 25^\circ$) aus der DEKRA-Unfalldatenbank herangezogen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf 39 Unfälle gelegt, die sich auf Bundesautobahnen ereignet hatten.

Mit zunehmendem Anprallwinkel nahm die Unfallhäufigkeit ab. Der größte Winkel lag bei 60° . Die Masse der anprallenden Fahrzeuge lag zwischen 750 kg und 1.935 kg. Auffällig war die Häufung von Schleuderunfällen. In 29 Fällen kam es zu einem prekollisionären Schleudervorgang.

Die Analyse des Unfallgeschehens hat so gezeigt, dass Anpralle gegen passive Schutzeinrichtungen auf Bundesautobahnen mit zunehmendem Anprallwinkel seltener werden und dass der in der Norm für die Systemprüfung geforderte Maximalwinkel von 20° das Gesamtunfallgeschehen sehr gut abdeckt.

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse erfolgte die Festlegung einer Crash-Test-Konfiguration zur Erlangung von Erkenntnissen über die Insassensicherheit bei großwinkligen Anprallen. Dabei wurde als Grundlage der Anprallversuch TB 11 verwendet, wobei der Anprallwinkel von 20° auf 45° erhöht wurde. Die Kollisionsgeschwindigkeit von 100 km/h sowie die Fahrzeugmasse von 900 kg blieben unverändert.

Die Anpralltests erfolgten gegen eine simulierte Ort betonwand sowie gegen eine Stahlschutzplanke vom Typ Super-Rail®. Die Versuchsfahrzeuge waren typgleich mit den Modellen, die für die ursprüngliche TB-11-Prüfung der Systeme verwendet wurden.

Die Versuche haben gezeigt, dass beide Systeme die Rückhaltung der anprallenden Fahrzeuge sicher gewährleisten. Für die Fahrer beider Fahrzeuge hätte aber keine Überlebenschance bestanden.

Über das Schutzniveau der Fahrzeuginsassen entscheiden bei derartigen Anprallkonstellationen letztendlich das Niveau der passiven Sicherheit der anprallenden Fahrzeuge sowie das Energieabsorptionsvermögen der die Fahrgastzelle umschließenden Strukturen.

Large angle impacts of passenger cars against road side barriers

According to the “Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeugrückhaltesysteme” (RPS) road side barriers are used to minimise the negative accident outcomes. Their purpose contains the protection of uninvolved persons, of oncoming traffic on double track roads, and of sensitive areas besides the road as of the car occupants in the case of an accidentally leaving of the road.

The effectivity of the chosen barrier has to be proofed before its use. Two regulations apply here. The RPS, which regulates the requirements that have to be fulfilled related to the local circumstances, and the DIN EN 1317, which defines the related testing criteria.

Because a standardized testing procedure cannot cover all accident scenarios, the question came up how steel or concrete barriers would behave if a small and fast vehicle would impact at a large angle. What about the safety for the occupants?

Within the framework of the resulting research project a conducted analysis of the accident occurrence stated a number of 25,038 accidents recorded by the police with an impact against a road side barrier for the year 2007 [German Federal Statistical Office]. Unfortunately no detailed information such as impact angle, impact velocity, and vehicle mass is available. For this reason 69 accidents with collisions at a large angle ($\geq 25^\circ$) were filtered out of the DEKRA accident database for an In-depth-analysis. The main focus was set on 39 accidents which occurred on the federal highways.

The accident occurrence decreased with increasing impact angle. The largest angle was 60° . The mass of impacting vehicles was between 750 and 1,935 kg. Noticeable was the frequency of skidding accidents. In 29 accidents there has been a skidding movement before the collision.

The analysis of the accident data showed that the number of impacts against road side barriers on federal highways decreases with increasing impact angle. It also showed that the required maximum angle of 20° at the barrier tests covers most of the accident occurrence.

On the basis of the gained data the definition of the crash test configuration to achieve results about the

occupant safety at impacts at large angle has been made. With the TB11-test in mind, the impact angle was increased from 20° to 45° . The impact velocity as well as the vehicle mass remained unchanged (100 km/h and 900 kg).

The tested barriers have been a simulated cast in situ concrete barrier and a steel guard rail type Super-Rail®. The types of the test vehicles were the same that have been used for the certification tests of the systems.

The tests showed that both systems safely retained the impacting vehicles. But for both drivers there was no chance of surviving the impact.

At such impacts, the levels of passive safety as well as the energy absorption of the vehicle structures of the impacting vehicles decide the level of protection.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Unfallgeschehen	7
2.1	DEKRA-Unfallgutachten	8
2.2	Auftretende Winkel im Unfallgeschehen	8
2.3	Unfallgeschehen auf Autobahnen	9
2.4	Beispielunfälle	10
3	Bestehende Studien	14
4	Festlegung der Versuchsanordnung	15
4.1	Wahl des Fahrzeug-Rückhaltesystems	15
4.2	Fahrzeugwahl und Kollisionsgeschwindigkeit	15
4.3	Anprallwinkel	16
4.4	Messtechnik	17
5	Versuchsdurchführung	18
5.1	Versuch an Stahlschutzeinrichtung ...	18
5.2	Versuch an Betonschutzwand	21
5.3	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	25
6	Fazit	25
7	Literatur	26

Definitionen

Abkommen von der Fahrbahn nach rechts bzw. links

Bei diesen Unfallarten ist es nicht zu einem Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen. Es kann jedoch weitere Unfallbeteiligte geben, z. B. wenn das verunglückte Fahrzeug von der Straße abgekommen ist, weil es einem anderen Verkehrsteilnehmer ausgewichen ist, ohne ihn zu berühren [4].

Anprallheftigkeit

Theoretische Kennzeichnung zur Abschätzung der körperlichen Beanspruchung, Verletzungsschwere oder Tötungsgefahr von Pkw-Insassen beim Aufprall auf Fahrzeug-Rückhaltesysteme.

Aufhaltestufe

Die Aufhaltestufe einer Schutzeinrichtung definiert das Rückhaltepotenzial. Die Klassifizierung erfolgt anhand verschiedener Crashtests, die in DIN EN 1317 Teil 2 definiert sind.

Crashmasse

Gesamtmasse des betrachteten Unfallfahrzeugs im Moment der Kollision inklusive aller Zuladungen wie Insassen und Gepäck. Dieser Wert unterliegt bei der Rekonstruktion einer Toleranz, die in den meisten Fällen mit ± 50 kg betrachtet werden muss.

Prüfmasse

Gesamtmasse des Testfahrzeugs im Anprallversuch im crashbereiten Zustand. Zuladungen sind beispielsweise Dummy, Messtechnik oder Gewichtsballast.

Schwerpunktsbahn

Die Schwerpunktsbahn beschreibt den Weg des Schwerpunkts des betrachteten Fahrzeugs. Sie wird unter anderem zur Ermittlung des Anprallwinkels gegen die Schutzeinrichtung herangezogen, da sie der Richtung der Krafteinleitung entspricht. Der Winkel zwischen Fahrzeugslängsachse und Schutzeinrichtung ist hierfür aufgrund möglicher Schleuderbewegungen ungeeignet.

1 Einleitung

Entsprechend der Richtlinie für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS) [1] sollen passive Schutzeinrichtungen die Folgen von Unfällen so gering wie möglich halten. In Abhängigkeit der Straßenklasse, der gefahrenen Geschwindigkeit und anderer Einflussfaktoren werden Mindestanforderungen an die zu verbauenden Systeme gestellt.

Für die Klassifikation der Aufhaltstufe, welche als Mindestanforderung genannt wird, werden die Schutzeinrichtungen Crashtests entsprechend DIN EN 1317 [5] unterzogen. Die Testkonfigurationen beinhalten Anprallprüfungen mit Fahrzeugen unterschiedlicher Masse und Geschwindigkeit sowie mit unterschiedlichen Anprallwinkeln. Dauerhaft eingebaute Schutzeinrichtungen werden bei einem Anprallwinkel von 20° geprüft, abgesehen von einer Prüfung, die bei 15° durchgeführt wird. Größere Anprallwinkel sind nicht vorgesehen.

Die vorliegenden Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen deuten darauf hin, dass sich Schutzeinrichtungen bei flacherem Anprallwinkel eher günstiger als in der Prüfung verhalten. Bei sehr großen Anprallwinkeln ist hingegen häufiger eine sehr hohe Unfallschwere zu beobachten. Daten über das Verhalten von Schutzeinrichtungen bei großen Anprallwinkeln liegen nur in sehr begrenztem Maß vor. Die zur Analyse verwendeten Gutachten können dabei nicht als repräsentativer Querschnitt angesehen werden, da primär Unfälle mit hohem Sachschaden oder Personenschäden vorhanden sind. Dennoch sind sie gut geeignet, ein realistisches Bild des Unfallgeschehens zu vermitteln und so die unterschiedlichen Anprallszenarien und Folgen zu beleuchten.

Im Bericht der BASt V 112 „Einsatzkriterien für Betonschutzwände“ [2] werden Unterschiede bei Häufigkeit und Schwere von Anprallunfällen gegen Stahlschutzplanken und Betonschutzwände genannt. Gerade im Unfallgeschehen mit Getöteten spielen demnach große Anprallwinkel eine wichtige Rolle. Neben dem eigentlichen Anprall scheint dabei das Rückprallverhalten einen großen Einfluss zu haben. Dieses beeinflusst die fahrzeugseitig aufzunehmende Energie und die Belastungen für die Insassen. Auch das Risiko von Folgekollisionen und Umstürzen oder Überschlägen hängt mit davon ab. Eine Häufigkeitsverteilung der An- und Abprallmuster ist im Bericht der BASt V 6 „Schutzeinrich-

tungen an Bundesfernstraßen“ enthalten [3]. Demnach kam es bei etwa 15 % aller tödlichen Autobahnunfälle zu einer Reflexion an der Schutzplanke.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen auf Basis unfallanalytischer Gutachten weiterführende Erkenntnisse zu Unfällen mit großen Anprallwinkeln gegen passive Schutzeinrichtungen gewonnen werden, die in einem zweiten Schritt als Grundlage für die Definition von Anprallversuchen herangezogen werden. Kern des Projektes sind zwei daraus abgeleitete Crashtests gegen Schutzeinrichtungen mit großem Anprallwinkel. Die dabei auftretenden Kollisionsabläufe und abgeleiteten Insassenbelastungswerte werden mit denen aus den Normversuchen verglichen.

2 Unfallgeschehen

Die Festlegung einer Testkonfiguration zur Prüfung von straßenseitigen Schutzeinrichtungen beim Anprall von Fahrzeugen unter einem Winkel von über den bei der Zulassung geforderten 20° bedarf einer grundlegenden Analyse des Unfallgeschehens. Der amtlichen Verkehrsunfallstatistik des Statistischen Bundesamts [4] können hierzu nur in sehr begrenztem Umfang Daten entnommen werden. In der zugrunde liegenden amtlichen Verkehrsunfallanzeige werden die Sachverhalte Abkommen von der Fahrbahn nach links bzw. rechts sowie der Anprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn mit der Auswahloption Schutzeinrichtung erfasst. Das Abkommen von der Fahrbahn könnte ein Indiz für die Häufigkeit dieses Unfallverlaufs und damit die Relevanz von Stahlschutzeinrichtungen oder Betonschutzwänden geben, allerdings werden hiermit nur Unfälle klassifiziert, bei denen es zu keinem Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug gekommen ist. Rückschlüsse auf die Abkommenshäufigkeit sind daher nur begrenzt möglich.

Insgesamt wurden im Jahr 2007 durch die Polizei 25.038 Unfälle mit Anprall gegen eine Schutzeinrichtung registriert. In etwa der Hälfte der Fälle (12.655) handelte es sich um Unfälle mit Personenschaden. 488 Personen kamen ums Leben. Entsprechend der infrastrukturellen Ausstattung und bedingt durch die hohen Geschwindigkeiten und die hohe Verkehrsdichte ereigneten sich die meisten der Unfälle auf Bundesautobahnen (64 %). Hier kam es zu 7.393 Unfällen mit Personenschaden

und zu 8.638 schwerwiegenden Unfällen mit Sachschaden.

Die Statistik erlaubt aber keine Rückschlüsse dahingehend, bei wie vielen Unfällen der Anprall gegen die Schutzeinrichtung Einfluss auf die Verletzungsschwere hatte. Auch sind die Anprallwinkel nicht erfasst.

Um dennoch aussagekräftiges Datenmaterial zu erhalten, wurde die Datenbank der DEKRA-Unfallforschung auf Unfälle mit Anprall gegen eine Schutzeinrichtung ausgewertet. Insgesamt konnten so 69 Unfallgutachten herausgefiltert werden (davon 39 auf Bundesautobahnen), bei denen ein Pkw mit mindestens 20 km/h und einem Winkel der Schwerpunktsbahn von mindestens 25° gegen eine Stahlschutzeinrichtung oder Betonschutzwand geprallt ist.

Die Mindestgeschwindigkeit wurde gewählt, da ab diesem Bereich mit einem stärker werdenden Einfluss der Rückhalteeinrichtung auf das Deformations- und Bewegungsverhalten auszugehen ist.

Da die Ermittlung des Anprallwinkels im Rahmen der Unfallrekonstruktion in den meisten Fällen eine Toleranz von etwa $\pm 2^\circ$ beinhaltet, wurde die Untergrenze auf 25° festgelegt. So ist sichergestellt, dass der Anprallwinkel in allen Fällen über 20° liegt. Dieser ist in der DIN EN 1317-2 als größter Anprallwinkel für Anprallversuche gegen Rückhaltesysteme an Straßen festgelegt [5]. Als Anprallwinkel wurde der Winkel der Schwerpunktsbahn betrachtet, da dieser der Richtung der Hauptkrafteinleitung entspricht. Durch prekollisionäre Schleuderbewegungen der anprallenden Fahrzeuge kann es zu erheblichen Abweichungen zwischen dem Winkel der Schwerpunktsbahn und dem Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Schutzeinrichtung kommen.

2.1 DEKRA-Unfallgutachten

Die DEKRA Automobil GmbH unterhält ein bundesweites Niederlassungsnetz mit unfallanalytischem Gutachtenbereich. Hier werden durch Sachverständige im Auftrag von Staatsanwaltschaften und Gerichten, der Polizei, von Versicherungen und Privateauftraggebern Unfallrekonstruktionen durchgeführt. Dabei wird die Unfallstelle entweder direkt im Rahmen der Rufbereitschaft angefahren und der Unfall gemeinsam mit der Polizei aufgenommen oder die Rekonstruktion erfolgt im Nachhinein auf Basis der

von der Polizei aufgenommenen Spuren, der Erkenntnisse der Fahrzeuguntersuchung und denen der Unfallstellennachbesichtigung.

Die DEKRA-Unfallforschung hat Zugriff auf diese Gutachten. Dabei stehen neben dem reinen Gutachten umfangreiches Bildmaterial, Skizzen und die Unterlagen der technischen Fahrzeuguntersuchungen zur Verfügung. Anhand dieser Informationen kann entsprechend dem Forschungsziel eine umfangreiche und sehr genaue Analyse der einzelnen Unfälle erfolgen, die dann in einem weiteren Schritt miteinander verglichen werden, um Gemeinsamkeiten, Auffälligkeiten oder Risikoschwerpunkte zu ermitteln.

Da die Beauftragung eines unfallanalytischen Gutachtens in der Regel nur bei schweren Unfällen mit Personenschaden, hohem Sachschaden oder unklarem Unfallablauf erfolgt, liegen in erster Linie auch nur solche Fälle vor. Repräsentativität ist damit nicht gegeben. Die Fälle sind zu Forschungszwecken dennoch sehr gut geeignet, da es gerade die schweren Unfälle sind, bei denen erkannte Vermeidungsmöglichkeiten ein hohes Nutzenpotenzial aufweisen.

2.2 Auftretende Winkel im Unfallgeschehen

Zur Schaffung eines Gesamtüberblicks wurden im ersten Schritt alle ausgewählten Unfälle, unabhängig von Ortslage und Straßenklasse, analysiert. Dabei zeigte sich, dass die Bandbreite der Anprallwinkel bis zu 90° reicht. Winkel von über 60° traten dabei aber nur außerhalb von Autobahnen auf. Insbesondere Streckenabschnitte mit engen Kurven oder Kreuzungen waren hiervon betroffen.

In 64 % aller Fälle kam es vor der Kollision mit der Schutzeinrichtung zu einem Schleudern des Fahrzeugs (bei 44 von 69 Unfällen). Außerhalb von Autobahnen kam es in 8 von 30 Fällen dazu, dass der Pkw nach einer Kollision vom Unfallgegner in die Schutzeinrichtung „geschoben“ wurde. Primär ist dies im Kreuzungs- und Einmündungsbereich zu beobachten. Auf Autobahnen erfolgte dies nur in 3 Fällen.

Die Masse der anprallenden Fahrzeuge lag zwischen 740 kg und 1.935 kg. Bei der Mittelwertbetrachtung ließen sich keine deutlichen Unterschiede zwischen Autobahnen und den übrigen Strecken feststellen (in etwa 1.200 kg).

2.3 Unfallgeschehen auf Autobahnen

Entsprechend der Zielsetzung des Projekts ist eine Limitierung der Unfallauswahl auf Autobahnunfälle sinnvoll. Durch das hier vorherrschende hohe Geschwindigkeitsniveau, die vorhandene große Fahrbahnbreite und die Ähnlichkeit der Streckenabschnitte lassen sich diese Unfälle besonders gut vergleichen. So lassen sich auftretende Risiken besonders gut erkennen und die Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen abschätzen.

Insgesamt konnte für die Studie auf 39 Unfälle zurückgegriffen werden. Dabei wurden sowohl Unfälle mit Anprall gegen die Mittelschutzeinrichtung als auch solche mit Anprall gegen eine seitlich montierte Schutzeinrichtung verwendet. Insgesamt kam es zu 24 Kollisionen mit der Schutzeinrichtung im Mittelstreifen und 15 Kollisionen mit Schutzeinrichtungen am rechten Fahrbahnrand. Den zugehörigen Streckenverlauf zeigt Tabelle 1.

Die überproportionale Häufigkeit von Anprallen gegen die Mittelschutzeinrichtung auf geraden Streckenabschnitten lässt sich damit erklären, dass diese durchgehend vorhanden ist, während rechtsseitig nur im Bedarfsfall eine Rückhalteeinrichtung montiert wird.

In 11 Fällen erfolgte der Anprall gegen eine Einfache Schutzplanke (ESP), in 12 Fällen gegen eine Einfache Distanzschutzplanke (EDSP). Doppelte Distanzschutzplanke (DDSP) waren bei 16 der Unfälle verbaut.

In Tabelle 2 sind die einführung erwähnten Schleuderunfälle näher aufgeschlüsselt.

Eine Abhängigkeit der Drehrichtung beim Schleudern und des fahrtrichtungsbezogenen Anpralls am Fahrbahnrand lässt sich erkennen. Insbesondere bei Schleuderbewegungen entgegen dem Uhrzeigersinn und dem Anprall gegen die linksseitige Schutzeinrichtung fällt die Verteilung eindeutig aus. Der Zusammenhang lässt sich aber auch bei Unfällen mit Drehrichtung im Uhrzeigersinn feststellen, wenn die Häufigkeit montierter Schutzeinrichtungen am linken bzw. rechten Fahrbahnrand mit einbezogen wird.

Etwa 60 % der Anprallunfälle ereigneten sich auf Streckenabschnitten ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Die genaue Verteilung zeigt Tabelle 3.

Das Netz der Bundesautobahnen umfasste Ende 2006 insgesamt 12.531 km [6]. Laut Auskunft des

Bundesverkehrsministeriums besteht auf über einem Drittel der deutschen Autobahnen ein permanentes Tempolimit, auf bis zu 15 Prozent ein temporäres, zum Beispiel wegen Baustellen oder bei Nässe. Die Verteilung der Unfälle entspricht damit relativ genau der Verteilung auf deutschen Bundesautobahnen. Signifikante Einflussfaktoren sind nicht zu erkennen.

Eine relevante Größe für die Definition einer realistischen Testanordnung ist die Kollisionsgeschwindigkeit der anprallenden Pkw gegen die Schutzeinrichtung. Tabelle 4 zeigt diese in 20-km/h-Schritten.

Die meisten Anpralle (14) ereigneten sich im Geschwindigkeitsbereich zwischen 81 und 100 km/h, davon 9 im Bereich 95 bis 100 km/h.

Streckenverlauf	Anprall an Fahrbahnrand	
	rechts	links
Gerade	6 (15 %)	15 (38 %)
Linkskurve	4 (10 %)	3 (8 %)
Rechtskurve	4 (10 %)	5 (13 %)
Verschwenkung	0	1 (3 %)
Baustelle	1 (3 %)	0

Tab. 1: Anprall an Fahrbahnrand in ursprünglicher Fahrtrichtung des anprallenden Fahrzeugs, aufgeschlüsselt nach Streckenverlauf im Bereich der Unfallstelle

	Anprall an Fahrbahnrand	
	rechts	links
ohne Schleudern	2 (5 %)	8 (20 %)
Uhrzeigersinn	9 (23 %)	4 (10 %)
Gegenuhrzeigersinn	1 (3 %)	11 (28 %)
geschoben	2 (5 %)	1 (3 %)
unbekannt	1 (3 %)	0

Tab. 2: Drehrichtung der vorkollisionären Schleuderbewegung und Anprall an Fahrbahnrand

v_{\max} zul in km/h	Anzahl	[%]
60	1	2,5
80	4	10
100	7	18
120	3	8
130	1	2,5
frei	23	59

Tab. 3: Im Bereich der Unfallstelle zulässige Höchstgeschwindigkeit

v_K in km/h	Anzahl	[%]
20	1	2,5
40	1	2,5
60	8	20,5
80	4	10
100	14	36
120	3	8
140	7	18
160	1	2,5

Tab. 4: Kollisionsgeschwindigkeiten gegen die Schutzeinrichtung

Crashmasse	Anzahl	[%]
bis 900 kg	9	23
bis 1.300 kg	17	44
bis 1.500 kg	6	15
über 1.500 kg	3	8

Tab. 5: Masse der anprallenden Fahrzeuge

Anprallwinkel	Anzahl	[%]
25	19	49
30	6	15
35	4	10
40	4	10
45	3	8
50	2	5
55	0	0
60	1	3

Tab. 6: Häufigkeitsverteilung der Anprallwinkel

Eine weitere relevante Einflussgröße ist die Crashmasse des anprallenden Fahrzeugs. Unter Einrechnung einer Toleranz von ± 50 kg ergab sich in Anlehnung an die Gewichtsklassen nach DIN EN 1317 Teil 2 [5] die in Tabelle 5 dargestellte Verteilung. In vier Fällen war die Masse nicht exakt zu rekonstruieren.

Durch die Anwendung einer Filterregel auf die Unfalldatenbank wurde ein Großteil der Gutachten aussortiert, bei denen ein kleiner Anprallwinkel vorlag. Da für diese Fälle keine Einzelanalyse durchgeführt wurde, kann keine Aussage dahingehend erfolgen, wie innerhalb des DEKRA-Datenpools das Verhältnis von Anprallwinkeln bis 20° zu Unfällen mit größerem Anprallwinkel ist. Die große Mehrheit der Unfälle weist Anprallwinkel bis 20° auf. Die

Verteilung der größeren Anprallwinkel ist in Tabelle 6 dargestellt.

Die Analyse von ortszulässiger Höchstgeschwindigkeit, Kollisionsgeschwindigkeit und Anprallwinkel ließ keine Zusammenhänge erkennen. Der im Autobahnbereich größte Anprallwinkel lag bei 60° . Der Unfall ereignete sich auf einem Streckenabschnitt ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Die Kollisionsgeschwindigkeit des 1.050 kg schweren Pkw lag bei rekonstruierten 60 km/h.

2.4 Beispielunfälle

Nachfolgend werden zwei der für die Studie verwendeten Unfälle detailliert dargestellt, um ein besseres Verständnis für die Unfallabläufe und die Wechselwirkungen zu erhalten. Die Unfälle wurden ausgewählt, da Geschwindigkeit und Anprallwinkel relativ nahe an der ausgewählten Testkonfiguration liegen. Ein Unfall mit einem 900 kg schweren Fahrzeug, das unter 45° und einer Geschwindigkeit von 100 km gegen eine Schutzeinrichtung kollidierte, war im Datenpool nicht enthalten.

Unfall 1

Der Unfall aus der DEKRA-Datenbank ereignete sich auf einer zweistreifig ausgebauten Bundesautobahn mit rechtsseitigem Standstreifen. Der Fahrer eines auf dem linken Fahrstreifen befindlichen Pkw reagierte mit einer Ausweichbewegung nach links auf die Schwenkbewegung eines auf dem rechten Streifen fahrenden Lkw. Durch einen zu starken Lenkradeinschlag mit parallel eingeleiteter Vollbremsung bei einer Fahrgeschwindigkeit zwischen 150 und 170 km/h geriet das Fahrzeug in einen instabilen Zustand und driftete nach links. Durch erneutes Gegenlenken und einen leichten Kontakt mit der verbauten EDSP wurde das Fahrzeug auf die Fahrbahn zurückgeführt und in eine Schleuderbewegung im Uhrzeigersinn versetzt. Die Drehrichtung ließ sich eindeutig durch Schleuderspuren auf der Fahrbahn ermitteln, Bild 2. Nach Überqueren der gesamten Fahrbahn und des Standstreifens kollidierte das Fahrzeug unter einem Winkel der Schwerpunktsbahn von etwa 40° . Die Kollisionsgeschwindigkeit konnte zu 80 bis 90 km/h rekonstruiert werden. Durch die Schleuderbewegung erfolgte der Erstkontakt des Fahrzeugs mit der verbauten EDSP-BW (Pfostenabstand 1,33 m) im Bereich des rechten Teils des Frontstoßfängers, der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und

Schutzeinrichtung betrug etwa 70°. Der schematische Ablauf ist in Bild 1 skizziert.

Durch die bestehende Drehrichtung und die beim Anprall vorne rechts erfolgte Verzögerung wurde die Rotation verstärkt, die Hauptkrafteinleitung erfolgte auf der Fahrerseite. Ein weiterer starker Anstoß gegen die Stahlschutzeinrichtung erfolgte anschließend mit der linken hinteren Fahrzeugecke, Bild 5 bis Bild 7. Der Fahrer des Pkw erlitt schwere Verletzungen, der Beifahrer blieb unver-

letzt. Im Auslauf wurde ein Straßenarbeiter erfasst und tödlich verletzt.

Die Stahlschutzeinrichtung wurde auf einer Länge von etwa 20 m beschädigt. 11 Pfosten lösten sich von den Holmen und wurden abgeknickt, die bleibende Deformationstiefe der Stahlschutzeinrichtung betrug etwa 1 m.

Die Fahrzeugfront wurde durch die Drehbewegung und ein leichtes Unterfahren des Holms stark deformiert. Es kam zu keiner Airbagauslösung.

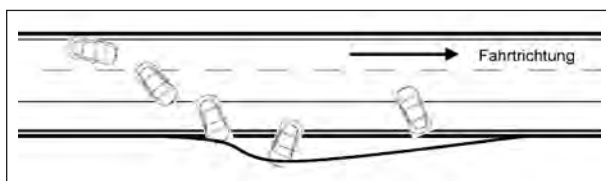


Bild 1: Schematische Skizze des Unfallablaufs



Bild 2: Unfallstelle in Fahrtrichtung mit Schleuderspuren und beschädigter Stahlschutzeinrichtung



Bild 3: Endstellung des Fahrzeugs und deformierter Bereich der Stahlschutzeinrichtung



Bild 4: Beschädigungen an der EDSP 1,33 m



Bild 5: Beschädigungen am Unfallfahrzeug

Eine Vergleichbarkeit mit den durchgeführten Crashtests ist durch das prekollisionäre Schleudern des Fahrzeugs nur bedingt gegeben. Die Rotation im Uhrzeigersinn begünstigt ein Herausdrehen des Fahrzeugs aus der Schutzeinrichtung und wirkt so einem Verhaken entgegen. Zusätzlich erfolgt die Krafteinleitung an der Fahrzeugfront nicht punktuell, vielmehr findet eine, wenn auch zeitlich abgestufte, Krafteinleitung an der gesamten Fahrzeugfront statt.

Einen weiteren Unterschied stellt das Rückhaltesystem dar. Da die Kollisionsstelle auf einer Brücke liegt, war rechtsseitig eine EDSP-BW mit dahinter-



Bild 6: Motorraum des angeprallten Fahrzeugs



Bild 7: Beschädigte Hinterradaufhängung, hervorgerufen durch die zweite Kollision mit der EDSP nach Drehung

liegendem Geländer montiert. Laut der Liste der bei der BASt positiv geprüften Schutzeinrichtungen [8] erfüllt dieses System die Kriterien der Aufhaltstufe H2 bei einer Wirkungsbereichsklasse W7, Bild 3 und Bild 4.

Unfall 2

Der Unfall ereignete sich auf einer dreistreifig ausgebauten Bundesautobahn mit rechtsseitigem Einfädelstreifen. Die Fahrbahn wies im Bereich der Unfallstelle ein Gefälle von etwa 4 % auf. Der im Bereich der Unfallstelle gerade Streckenabschnitt liegt eingangs einer leichten Linkskurve vor einer Senke. Der Unfall ereignete sich bei Tageslicht auf trockener Fahrbahn.

Nach Verlust eines Dachgepäckträgers stoppte der Fahrer eines Nissan Sunny auf dem linken Fahrstreifen und verließ das Fahrzeug. Der Fahrer eines nachfolgenden Pkw reagierte zu spät auf das Hindernis und kollidierte während eines beginnenden Ausweichmanövers nach rechts mit der linken Fahrzeugfront gegen das Heck des stehenden Pkw.

Durch die Geschwindigkeit des auffahrenden Pkw von nachweisbar mindestens 130 km/h und den großen Massenunterschied (Nissan etwa 1.000 kg, Mercedes 1.600 kg) wurde der stehende Nissan auf 32 bis 36 km/h beschleunigt und in eine Rotation im Gegenuhrzeigersinn versetzt.

Durch den Standort auf dem linken Fahrstreifen kam es unmittelbar nach der Kollision zum Kontakt des Nissan mit der auf dem betonierten Mittelstreifen montierten DDSP 2 m, Bild 8 bis Bild 10.

Kollisionsbedingt kam es beim Mercedes zu einem Blockieren des linken Vorderrades und einem Ein-



Bild 8: Durch den Anprall des Nissan beschädigte Schutzplanke

geschlagen nach links, Bild 12. Das gesamte Fahrzeug wurde nach rechts versetzt.

Durch die erhöhte Reibung vorne links und den Lenkeinschlag fuhr das Fahrzeug einen Linksbogen. Dabei kreuzte es den linken Fahrstreifen und kollidierte unter einem Winkel von etwa 40° und einer rekonstruierten Geschwindigkeit von mindestens 97 km/h gegen die Mittelschutzplanke. Im Anstoßbereich befand sich ein zwischen den Holmen stehender Lichtmast, Bild 14.



Bild 9: Endstellung des Nissan



Bild 10: Beschädigungen des Nissan



Bild 11: Beschädigung des Mercedes durch die Kollision mit dem Nissan und der DDSP

Begünstigt durch die aussteifende Wirkung des Lichtmastes und den keilförmigen Vorschaden an der Pkw-Front im Anstoßbereich wurde der Mercedes in die ursprüngliche Fahrtrichtung zurückgeleitet. Die Restgeschwindigkeit wurde durch eine eingeleitete Vollbremsung und ein Entlanggleiten an der Mittelschutzplanke über eine Wegstrecke von etwas über 100 m abgebaut, Bild 11 und Bild 13.

Während des Unfallablaufs kam es zur Auslösung des Fahrerairbags im Mercedes. Dies erfolgte aber



Bild 12: Eingeschlagenes und blockiertes Vorderrad und Streifschäden an der Fahrzeugseite



Bild 13: Endstellung des Mercedes an der Schutzplanke



Bild 14: Durch den Anprall des Mercedes beschädigte Schutzplanke, gestützt durch den mittig stehenden Lichtmast

bereits bei der Kollision mit dem Nissan. Seitenairbags waren nicht vorhanden.

Die Beifahrerin im Nissan verstarb auf dem Weg ins Krankenhaus, der Fahrer des Mercedes erlitt leichte Verletzungen.

Der Fall zeigt sehr deutlich, welchen Einfluss das Sicherheitsniveau der anprallenden Fahrzeuge sowie das Abgleiten an der Schutzeinrichtung haben. Bei der Fallauswahl wurde an dieser Stelle bewusst ein älteres Fahrzeugmodell gewählt, um eine Vergleichsmöglichkeit mit den im Versuch verwendeten Fahrzeugen zu schaffen.

3 Bestehende Studien

Eine umfangreiche Literatur- und Internetstudie im deutsch-, englisch- und französischsprachigen Raum ergab keine Hinweise auf ähnliche Versuche, bei denen die Insassenbelastung bei großen Anprallwinkeln gegen Schutzeinrichtungen überprüft wurde.

Einen theoretischen Ansatz verfolgen MONTELLA und PERNETTI in ihrem 2004 veröffentlichten Beitrag. Hierin beschreiben sie einen Ansatz zur rechnerbasierten Ermittlung von ASI, THIV und PHD bei einem Fahrzeuganprall gegen eine starre Wand mit der Software LS-Dyna. Die Ergebnisse für Fahrzeuge mit einer Masse von 900 kg sind in Tabelle 7 dargestellt [9, 10].

Der maximale Anprallwinkel lag dabei bei 30°. Bei allen drei Werten ließen sich deutliche Steigerungen gegenüber kleinen Anprallwinkeln feststellen.

Um beurteilen zu können, inwiefern diese theoretischen Werte auch für einen 45°-Anprall aussagekräftig sind, wurden lineare Ausgleichsgeraden in die berechneten Werte gelegt (Bilder 15 bis 17).

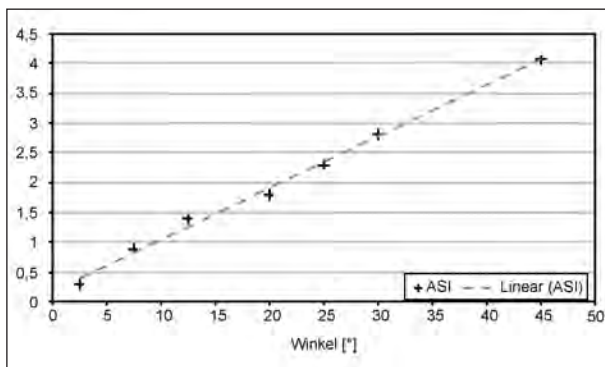


Bild 15: ASI bei 100 km/h, basierend auf den Daten von MONTELLA und PERNETTI mit linearer Näherung

V_K [km/h]	Anprallwinkel [°]					
	2,5	7,5	12,5	20	25	30
	ASI					
50	0,2	0,3	0,6	0,8	1,0	1,2
80	0,3	0,7	1,1	1,4	1,7	2,0
100	0,3	0,9	1,4	1,8	2,3	2,8
130	0,3	1,1	1,8	2,3	3,4	4,7
150	0,4	1,2	1,9	3,0	4,0	5,4
	THIV [km/h]					
50	1	5	10	13	21	25
80	3	11	17	21	29	35
100	5	13	21	27	36	40
130	7	16	28	34	47	51
150	9	19	32	40	52	56
	PHD [g]					
50	1	2	5	7	9	12
80	2	8	11	13	16	20
100	2	10	13	16	25	38
130	2	11	23	63	81	97
150	3	15	31	82	109	130

Tab. 7: Errechnete Werte für ASI, THIV und PHD [9, 10]

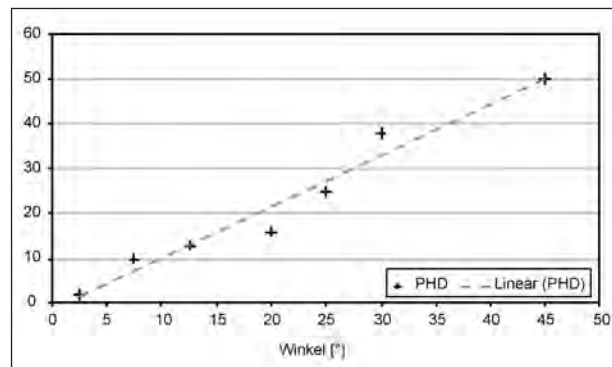


Bild 16: PHD bei 100 km/h basierend auf den Daten von MONTELLA und PERNETTI mit linearer Näherung

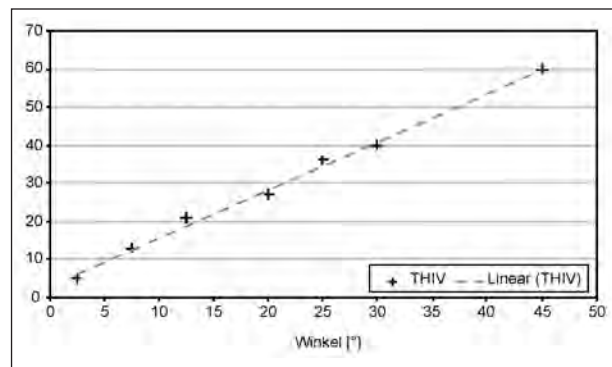


Bild 17: THIV bei 100 km/h basierend auf den Daten von MONTELLA und PERNETTI mit linearer Näherung

Folgende Werte würden sich – linear genähert – für einen Anprallwinkel von 45° ergeben: ASI = 4,1, PDH = 50,1 g, THIV = 59,9 km/h.

Wie man aus den Bildern 15 bis 17 entnehmen kann, ist eine lineare Abschätzung für den ASI und den THIV vermutlich relativ genau möglich. Der für 45° -genäherte PHD-Wert ist vermutlich aufgrund des polynomischen Verlaufs linear betrachtet nicht sehr genau. Außerdem muss beachtet werden, dass MONTELLA und PERNETTI nur den Anprall an eine starre Wand berechneten.

Der ASI-Wert, der sich beim Stand dieser Arbeit noch nach der alten Norm (DIN EN 1317-1, Stand 1998) berechnete, wurde ebenfalls weitere Untersuchungen unterzogen. So wurde der ASI nach dem Entwurf der neuen DIN EN 1317-1 [7], Stand September 2007 neu gefiltert und berechnet. Bei dieser Filterung ist zu bemerken, dass der vorliegende Normentwurf einen Fehler in der Koeffizienten-Berechnung enthält und die Berechnung daher nicht genau nach dem Normentwurf durchgeführt wurde. So wurde anstatt der im Entwurf vorgeschriebenen Berechnung des b_2 -Koeffizienten nicht die vorgeschriebene Formel

$$b_2 = \frac{-(1 + \sqrt{2}w_a - w_a^2)}{(1 + \sqrt{2}w_a + w_a^2)}$$

sondern die im Betreuerkreis als korrekt identifizierte Formel

$$b_2 = \frac{(-1 + \sqrt{2}w_a - w_a^2)}{(1 + \sqrt{2}w_a + w_a^2)}$$

verwendet.

4 Festlegung der Versuchsanordnung

Ziel der Versuche ist die Gewinnung von Erkenntnissen zum Verhalten aktueller Rückhaltesysteme beim Pkw-Anprall unter einem größeren Winkel als 20°. Die Ergebnisse sollen dabei mit denen vorangegangener Normtests an identischen Systemen verglichen werden.

4.1 Wahl des Fahrzeug-Rückhaltesystems

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung des Forschungsprojektes, Schutzeinrichtungen mit höherem Aufhaltevermögen, die zunehmend in Deutschland – insbesondere in Mittelstreifen von Autobahnen – eingesetzt werden, hinsichtlich ihres Verhaltens beim Fahrzeuganprall unter großem Winkel zu untersuchen, wurden ein Stahl- und ein Betonsystem für die Versuche gewählt. Um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der jeweiligen Fahrzeug-Rückhaltesysteme bei den Abnahmeprüfungen zu gewährleisten, wurden Schutzeinrichtungen herangezogen, die bei der BAST TB-11-Prüfungen nach DIN EN 1317 Teil 2 unterzogen wurden [8].

Da die Montage einer Ortbetonwand auf dem Versuchsgelände den Rahmen des Projektes gesprengt hätte, wird diese im Versuch durch miteinander vergossene Fertigteile auf eingelassenem Fertigteildament und Erdhinterfüllung im Anprallbereich ersetzt. Diese Anordnung wurde gewählt, um das Verhalten einer Ortbetonschutzwand zu simulieren.

Die Wahl fiel auf Varianten, die aktuell vermehrt in der Autobahnausstattung verbaut werden: das Stahlsystem Super-Rail® und eine simulierte Ortbetonwand im Step-Barrier-Profil.

4.2 Fahrzeugwahl und Kollisionsgeschwindigkeit

Da die Schutzeinrichtungen hinsichtlich der resultierenden Insassengefährdung bei einem Anprall überprüft werden sollen, wurde eine Anprallprüfung nach TB 11 als Basis verwendet. Diese Crash-Test-Konfiguration nach DIN EN 1317 Teil 2 besteht aus einem Anprall eines Pkw mit einer Prüfmasse von 900 kg, einer Geschwindigkeit von 100 km/h und einem Winkel von 20°. Dieser Versuch dient bei der Prüfung dauerhaft eingebauter Schutzeinrichtungen zur Ermittlung der Anprallheftigkeit.

Trotz der im Fahrzeugbau tendenziell zunehmenden Fahrzeugmassen fielen rund 20 % der untersuchten Unfälle in die Kategorie der Fahrzeugmasse bis 950 kg. Eine solche Testmasse (entsprechend TB 11) ist daher geeignet, einen Grenzfall darzustellen, der im Unfallgeschehen auftritt. Zugleich sind bei diesen Massen primär Kleinwagen und ältere Fahrzeuge anzutreffen, die in den meis-

ten Fällen ein vergleichsweise geringeres Energieabsorptionsvermögen aufweisen und damit höhere Insassenbelastungswerte erwarten lassen.

Seitens der BAST wurde mitgeteilt, mit welchen Fahrzeugmodellen und mit welchen genauen Anprallparametern die TB 11-Prüfungen an den jeweiligen Rückhalteeinrichtungen durchgeführt wurden.

Für Super-Rail® ist dies ein Opel Corsa A, für die simulierte Ortbetonwand ein Peugeot 205.

Der für die Versuche beschaffte Opel Corsa hat eine Prüfmasse von 890 kg, Bild 18.

Der Peugeot 205 weist eine Prüfmasse von 916 kg auf, Bild 19.

Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit mit den Erkenntnissen der Standardprüfungen zu gewährleisten, soll im Rahmen der Versuche nur der Parameter des Anprallwinkels variiert werden, sodass die Soll-Anprallgeschwindigkeit im Bereich zwischen 100 und 107 km/h liegen soll. Dies deckt sich zudem sehr gut mit den Ergebnissen der Unfall-



Bild 18: Opel Corsa A für Anprallversuch gegen die Super-Rail®



Bild 19: Peugeot 205 für Anprallversuch gegen die simulierte Ortbetonwand

analyse. Wie in Tabelle 4 gezeigt, fanden in diesem Geschwindigkeitsbereich die mit Abstand meisten Anpralle statt.

4.3 Anprallwinkel

Bezogen auf das Unfallgeschehen treten große Anprallwinkel gegen Schutzeinrichtungen vergleichsweise selten auf.

Dennoch kam es bei den analysierten Autobahnunfällen zu Anprallen unter Winkeln von zum Teil deutlich über den bei Zulassungstests durchgeführten 20°. Hier lagen häufig Primärkollisionen gegen Schutzeinrichtungen auf der anderen Fahrbahnseite oder mit anderen Fahrzeugen vor. In der Regel kam es zu einem schleudernden Anprall.

Die Analyse ergab eine deutliche Abnahme der Fallzahlen mit steigendem Anprallwinkel, wie Tabelle 6 zeigt. Wird der Winkel von 60° als Sonderfall außer Acht gelassen, so lässt sich ein Auftreten bis 50° auf Autobahnen als realistisch bezeichnen. Da im Rahmen des Projektes das Anprallverhalten bei großen Winkeln bei autobahnüblichen Geschwindigkeiten geprüft werden soll, wurde der Anprallwinkel von 50° als Diskussionsgrundlage herangezogen. Ein Anprallwinkel von 45° besitzt dagegen die Besonderheit, dass die im Moment des Erstkontakts mit der Schutzeinrichtung wirkenden Längs- und Querkraften gleich groß sind und es zu keinem eine zusätzliche Drehbewegung begünstigenden Moment kommt. Anpralle unter diesem Winkel sind damit eher reproduzierbar und weniger von der Wahl des Testfahrzeugs abhängig. Der Einfluss der Lage des Fahrzeugschwerpunkts wird geringer. Die Differenz von 5° fällt dabei nur untergeordnet ins Gewicht.

Die Festlegung erfolgte daher auf den Anprallwinkel von 45°.

Die durch das anprallende Fahrzeug eingeleiteten Energien (Gesamtenergie, Energie in Längsrichtung, Energie in Querrichtung) und Impulse (Gesamtimpuls, Impuls in Längsrichtung, Impuls in Querrichtung) bleiben bei dieser Konstellation deutlich unterhalb der Werte, die bei der normierten Anprallprüfung für H4b-Systeme, TB 81, erreicht werden. Damit ist sichergestellt, dass die getesteten Systeme den eingeleiteten Belastungen standhalten und von dieser Seite keine verfälschenden Einflüsse auf die Ergebnisse zu erwarten sind.

4.4 Messtechnik

Bei der Prüfung von Schutzeinrichtungen nach DIN EN 1317 werden keine Dummymesswerte erfasst, da diese sehr stark vom verwendeten Fahrzeug und der Sitzposition des Dummys im Fahrzeug abhängen. Außerdem gibt es momentan keinen Dummy, der speziell für die Anprallwinkel bei Anprallprüfungen nach DIN EN 1317 konzipiert ist. Somit können keine vergleichbaren Daten generiert werden. Als Kenngrößen werden stattdessen die berechneten Werte ASI (Acceleration Severity Index), THIV (Theoretical Head Impact Velocity) und PHD (Post-Impact Head Deceleration) verwendet. Diese werden anhand der x-, y- und z-Beschleunigungen und der Drehraten um die drei Achsen im Fahrzeugschwerpunkt berechnet. Zusätzlich zu den Messaufnehmern im Fahrzeugschwerpunkt wurde ein triaxialer Beschleunigungsaufnehmer direkt auf dem Tunnel angebracht. Dieser soll Vergleichswerte liefern, inwiefern die ermittelten Messgrößen im Fahrzeugschwerpunkt von denen auf dem Tunnel abweichen.

Da bei der in diesem Forschungsprojekt gewählten Anprallvariante mit einem sehr hohen ASI zu rechnen ist, hierzu aber keine Erkenntnisse zur Aussagekraft solch hoher Werte vorliegen, wird für die Versuche ein instrumentierter Dummy verwendet. Die Wahl fiel auf einen Hybrid-III-Frontalanprall-Dummy. Dieser Dummytyp wurde speziell für Frontal-Anprallversuche entwickelt. Der verwendete Typ 50th percentile male repräsentiert den durchschnittlichen männlichen Autofahrer mit 175 cm Größe und einem Gewicht von 78 kg.

Da der 45°-Anprall rein energetisch betrachtet frontal und lateral gleich ist, kam auch der SI-Dummy (Side Impact) in Frage. Die Entscheidung fiel aber für den Hybrid-III-Dummy, da der SI-Dummy weniger Beschleunigungswerte in x-Richtung liefert und eigentlich nur für den exakten 90°-Anprall (seitlicher Anprall) konzipiert ist.

In der Homologation für den US-Markt werden Fahrzeuge mit einem 30°-Frontanprall getestet – dies bedeutet einen Winkel von Anprallwand zu Fahrzeug von 60°. Da beim 45°-Anprall aufgrund von Reibung und der Knautschzone der Fahrzeuge eine resultierende Winkelerhöhung stattfindet, wird aus den real angefahrenen 45° schnell ein resultierend größerer Winkel und ähnelt dem 30°-Frontanprall. In den ersten Millisekunden des

Anpralls ist daher ein eher frontalanpralltypisches Verhalten des Fahrzeugs zu beobachten, bis schließlich eine Umlenkung erfolgt ist.

Der Hybrid-III-Dummy war ausgestattet mit verschiedener Messtechnik, die folgende Werte aufzeichnete:

- Kopfbeschleunigungen (a_x , a_y und a_z),
- Halskräfte (F_x , F_y und F_z) und -momente (M_x , M_y und M_z),
- Brustbeschleunigungen (a_x , a_y und a_z) und -eindringung (D_x),
- Beckenbeschleunigungen (a_x , a_y und a_z),
- Oberschenkeldruckkräfte (F_z).

Im Rahmen eines Vorversuches wurden die möglichen Fahrzeugbeschädigungen untersucht, um eine Festlegung für die Fahrzeugbeschleunigung und -führung treffen zu können. Hierbei wurde festgestellt, dass die Fahrzeuge im Bereich der Fahrgastzelle des Fahrers und besonders im Fußraum erhebliche Beschädigungen aufweisen. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde festgelegt, dass die Unterschenkel des Dummys vorsorglich demontiert werden, um irreparable Beschädigungen zu vermeiden. Eine Messaufnahme im Unterschenkel war überdies nicht vorgesehen, Bild 20.



Bild 20: Dummy Hybrid III 50th percentile male

5 Versuchsdurchführung

5.1 Versuch an Stahlschutzeinrichtung

Bild 21 zeigt die Anprallkonstellation für den Versuch an die Stahlschutzeinrichtung. Der Versuchsaufbau bestand hierbei aus (in Anprallrichtung von links nach rechts gesehen) einer 12-m-Regelabsenkung, an die ein 8 m Super-Rail-Anschluss ESP angeschlossen wurde. Dann folgte die eigentliche Stahlschutzeinrichtung, 32 m Super-Rail. Abgeschlossen wurde die Schutzeinrichtung mittels des bereits zuvor verwendeten 8 m Super-Rail-Anschlusses ESP.

Die Stellprobe für den Versuch ist in Bild 22 dargestellt. Der Soll-Anprallpunkt lag 21 cm hinter dem Stoß des Schutzplankenholms 3 und 4.

Der Versuchsablauf ist anhand der Videoaufnahmen in Bild 23 bis 25 dargestellt. Die tatsächliche

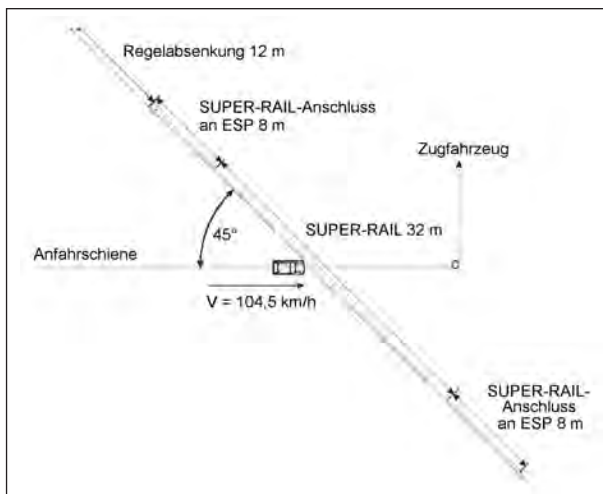


Bild 21: Anprallkonfiguration Stahlschutzwand



Bild 22: Stellprobe

Anprallgeschwindigkeit lag bei 104,5 km/h, der tatsächliche Anprallwinkel bei 45°. Der Erstkontakt bei $t = 0$ ms mit der Schutzeinrichtung erfolgte 1 cm vor dem Soll-Anprallpunkt, 20 cm hinter Holmstoß 3 und 4. Das Fahrzeug hebt in der Folge den unteren Schutzplankenholm an und beginnt sich darunter zu schieben. 100 ms nach dem Anprall findet nur eine minimale Umlenkung des Fahrzeuges statt, es kommt zu einem Kopfkontakt des Dummies mit der Schutzeinrichtung. Das Fahrzeug beginnt nun leicht einzudrehen und dringt im weiteren Verlauf bis auf Höhe der C-Säule unter dem System ein. Bereits nach 400 ms ist der Anprallvorgang nahezu abgeschlossen und das Fahrzeug in seiner Endstellung angekommen.

Bild 26 zeigt die Endstellung des Fahrzeuges. Der anprallende Pkw hob den unteren Holm so weit an, dass das hinter dem Holm liegende Kastenprofil, welches über eine Klemmverbindung mit den Pfosten verbunden war, auslöste. In der Folge schob sich das Fahrzeug so unter der Schutzplanke hindurch, dass nur noch 2 Pfosten und die Einklemmung unter dem Holm das Fahrzeug zum Stehen bringen konnten. Dies führte zu einer sehr tiefen Eindringung in bzw. unter die Schutzplanke.

Die Stahlschutzeinrichtung wies nach dem Versuch nur im Kontaktbereich Beschädigungen auf (Bild 27). Drei Pfosten im Anprallbereich wurden vom Längsverbund gelöst und nach hinten weggeknickt. Der untere der beiden Kastenholmprofile wurde leicht nach oben weggedrückt, der obere nur unmerklich. Es lösten sich keine größeren Teile.

Da die Schutzeinrichtung nur wenig Anprallenergie absorbierte, musste viel Energie vom Fahrzeug aufgenommen werden. Diese führte dazu, dass die komplette Fahrgastzelle kollabierte (Bild 28). An der Endstellung in Bild 26 kann man sehen, dass das Fahrzeug bis zur Höhe B-Säule in die Schutzeinrichtung eindrang. Ein Überlebensraum für den Fahrer war nicht mehr gegeben.

Die ermittelten Anprallindizes nach DIN EN 1317 spiegeln die optischen Versuchsergebnisse wider. Alle drei ermittelten Werte (Tabelle 8) liegen über den zulässigen Maximalwerten (Anprallheftigkeitsstufe C: $ASI \leq 1,9$ /THIV ≤ 33 km/h/PHD ≤ 20 g).

Vergleicht man die ermittelten Werte mit denen der linearen Näherung von MONTELLA und PERNETTI aus [9], ist Folgendes zu erkennen:

Der ASI liegt mit einem Wert von 2,3 weit unterhalb der berechneten Näherung von 4,1. Beim THIV je-

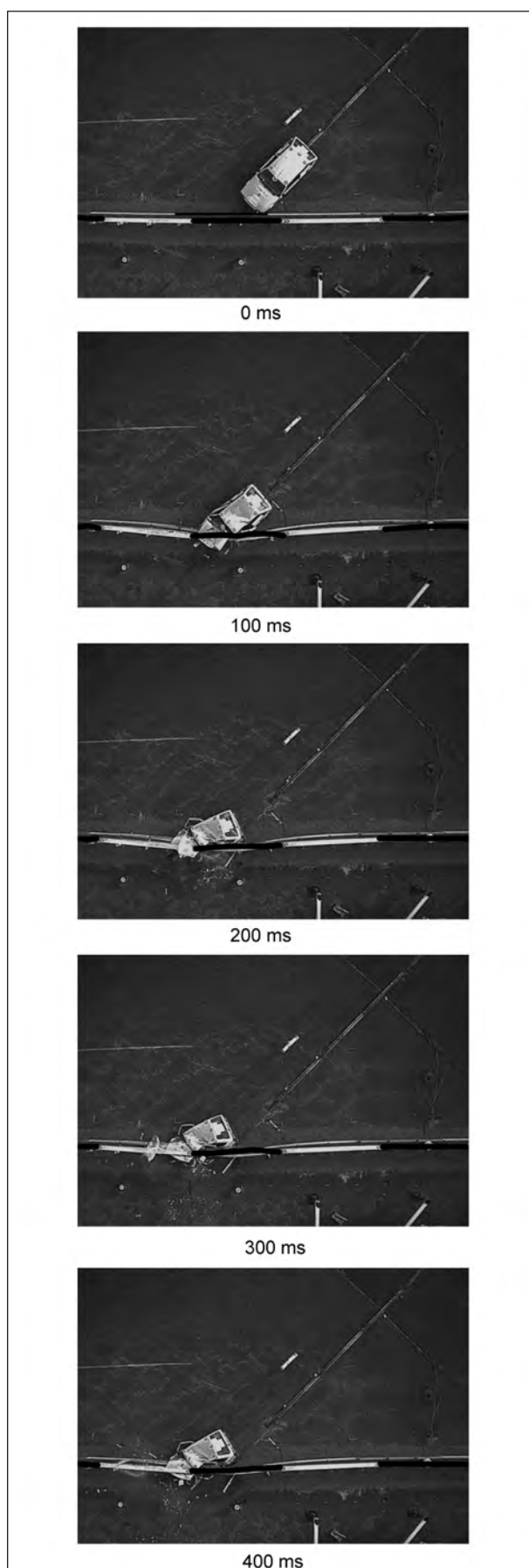


Bild 23: Versuchsablauf von oben gesehen

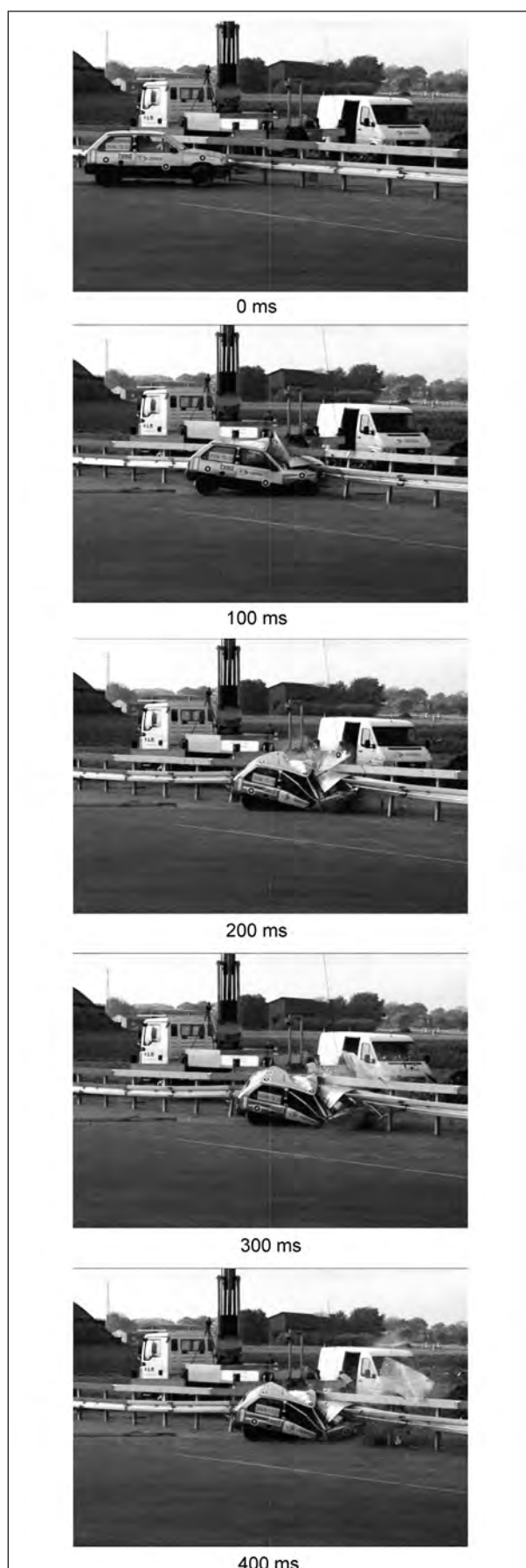


Bild 24: Versuchsablauf von der Seite gesehen

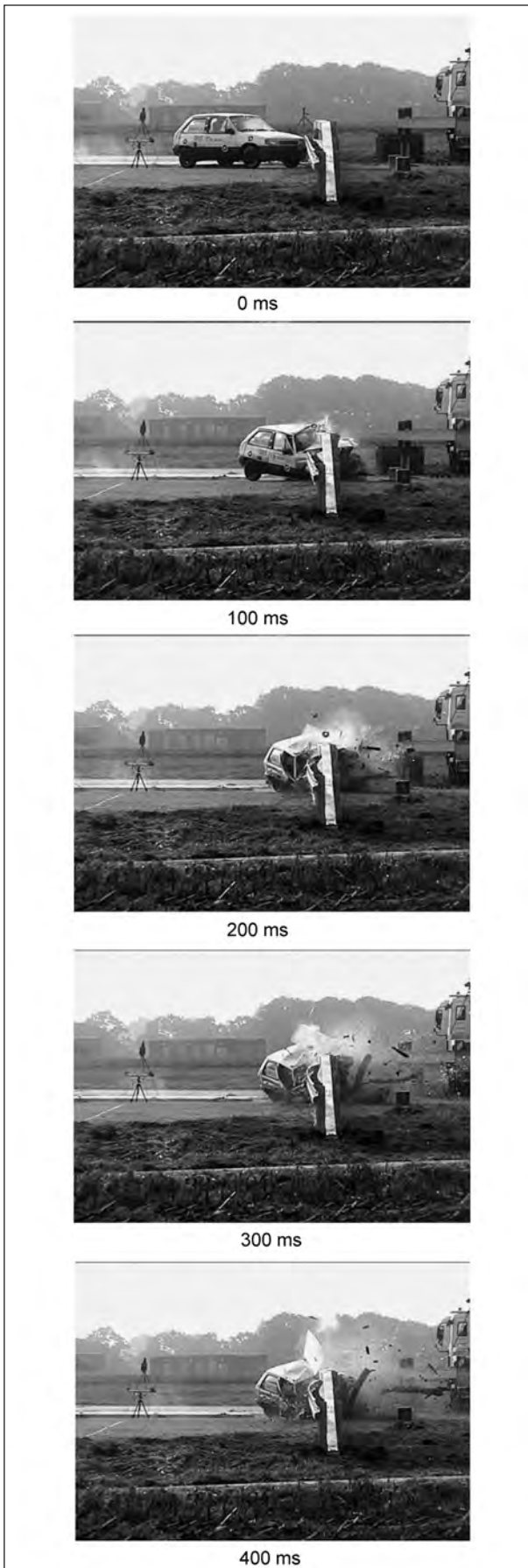


Bild 25: Versuchsablauf von vorne gesehen



Bild 26: Endstellung Fahrzeug



Bild 27: Stahlschutzeinrichtung nach dem Versuch



Bild 28: Opel Corsa nach dem Versuch

doch ist eine gute Übereinstimmung mit den ca. 60 km/h zu erkennen. Der PHD weist mit einer linearen Näherung von ca. 50 g höhere Werte aus als die gemessenen. Hierzu ist aber zu erwähnen, dass MONTELLA und PERNETTI den Anprall an eine starre Wand berechnet haben.

Die Neufilterung und -berechnung des ASI nach dem Normentwurf 2007 ergibt sich aus Tabelle 9.

In Tabelle 9 ist zu erkennen, dass alle Neuberechneten ASI-Werte geringer ausfallen als der bisher berechnete. Bei einer Anbringung des Beschleunigungssensors auf dem Tunnel ist sogar ein bis zu 19 % geringerer ASI-Wert zu verzeichnen (die Klammerwerte geben den prozentuellen Wert des

	Wert	bei t [s]
ASI	2,31	0,0592 – 0,1092
THIV [km/h]	58,2	0,114
PHD [g]	34,5	0,1356 – 0,1456

Tab. 8: Anprallindizes des Versuchs Stahlschutzeinrichtung

	Schwerpunkt	Tunnel
ASI DIN EN 1317 (1998)	2,3	1,9 (81 %)
ASI PrEN 1317 (2007)	2,2	1,8 (84 %)

Tab. 9: Neuberechnung des ASI

	Wert	Grenzwert*	[]
Brust			
a _{res 3ms}	101,93	60	g
Eindringung	19,76	50	mm
Oberschenkel			
F _{links}	-4,99	± 9,07	kN
F _{rechts}	-0,86	± 9,07	kN
Kopf			
a _{res 3ms}	200,22	80	g
HIC	14.076	1000	-
Halskräfte			
F _x	4,99	± 3,1	kN
F _y	-3,98	- 4,0	kN
F _z	2,03	+ 3,3	kN
Halsmoment			
M _y	-25,56	-57	Nm
Becken			
a _{res 3ms}	45,35	60	g
* nach ECE-R 94			

Tab. 10: Dummymesswerte Versuch Stahlschutzeinrichtung

Schwerpunktsensors an). Hierzu muss erwähnt werden, dass der angebrachte Beschleunigungssensor aus Platzgründen nicht exakt im x-y-Schwerpunkt auf dem Tunnel angebracht werden konnte.

In Tabelle 10 sind die wichtigsten Dummy-Messwerte zusammen mit ihren biomechanischen Grenzwerten aufgeführt. Diese Grenzwerte beziehen sich auf die Norm ECE-R 94 und sagen aus, dass bei einem Überschreiten der Grenzwerte die Wahrscheinlichkeit tödlicher Verletzungen sehr hoch ist. Wie der Tabelle entnommen werden kann, sind mehrere Werte des Dummys teilweise so erhöht, dass die Grenzwerte überschritten worden sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Fahrer des Pkw tödliche Verletzungen am Kopf, am Hals und der Brust zugezogen hätte, ist sehr hoch. Der linke Oberschenkel wurde ebenfalls stark belastet. Da die Unterschenkel jedoch demontiert waren und der Fußraum praktisch nicht mehr vorhanden war, ist eine Aussage möglicher Interaktionen und Belastungen kaum möglich. Die sehr hohen Kopfbelastungswerte rühren definitiv aus einem Kopfanprall an die Schutzeinrichtung.

5.2 Versuch an Betonschutzwand

Die Anprallkonfiguration des Versuchs an eine „simulierte“ Ortbetonwand ist in Bild 29 dargestellt. In das Erdreich wurde in 30 Zentimeter Tiefe ein Fundament aus speziellen Fertigteilen in U-Form eingelassen. In dieses Fundament wurden die Betonschutzwandfertigteile STEP-Profil mit 3,5 m Länge eingesetzt, miteinander verbunden und mittels schnell härtenden Spezialvergussmörtels miteinander vergossen. Hinter der so simulierten Ortbetonwand wurde zusätzlich im Anprallbereich eine Hinterfüllung mit Erde hergestellt. Hiermit wird gewähr-

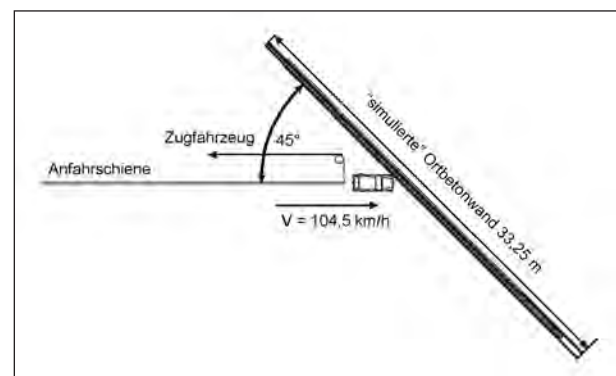


Bild 29: Anprallkonfiguration Betonschutzwand



Bild 30: Stellprobe Betonschutzwand

leistet, dass ein Bewegen der Wand nahezu komplett verhindert wird.

In Bild 30 ist die Stellprobe zu sehen. Der Soll-Anprallpunkt lag 2,1 m hinter dem Stoß der Fertigteile 3 und 4.

In den Bildern 31 bis 33 ist der Versuchsablauf anhand der Videoaufnahmen dargestellt. Die tatsächliche Anprallgeschwindigkeit lag bei 104,5 km/h, der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und simulierter Ortbetonwand bei 47°. Die Winkeldifferenz zum Soll-Winkel 45° ergibt sich durch eine Überführung des Zugseils nach der Ausklinkung aus der Führungsschiene. Dieses Seil wurde nach links vom Fahrzeug weggeführt. Dies erfolgte jedoch so spät, dass eine Änderung der Schwerpunktsbahn unwahrscheinlich ist. Der Erstkontakt bei $t = 0$ ms mit der Schutzeinrichtung erfolgte daher auch 5 cm vor dem Soll-Anprallpunkt, 2,05 m hinter Stoß 3 und 4.

Vom Erstkontakt bei $t = 0$ ms bis 80 ms findet kaum eine Umlenkung des Fahrzeugs statt. Nach ca. 82 ms kommt es zu einem Kopfkontakt des Dummies mit der Schutzeinrichtung. Danach wird das Fahrzeug abrupt umgelenkt und bewegt sich parallel zum System. Hierbei erreicht es eine Höhe von nahezu 1 m. Das Fahrzeug befindet sich für ca. 700 ms in der Luft und beginnt leicht einzudrehen. Beim Auftreffen auf der Fahrbahn nach etwa 900 ms kippt das Fahrzeug über den stark deformierten Vorbau der Fahrerseite weg und beginnt sich zu überschlagen. Nach 1,5 Drehungen um die Längsachse kippt das Fahrzeug dann auf dem Dach liegend zurück in seine Ausgangslage.

Außer den Anprallspuren waren an der Schutzeinrichtung keinerlei Beschädigungen zu erkennen. Es

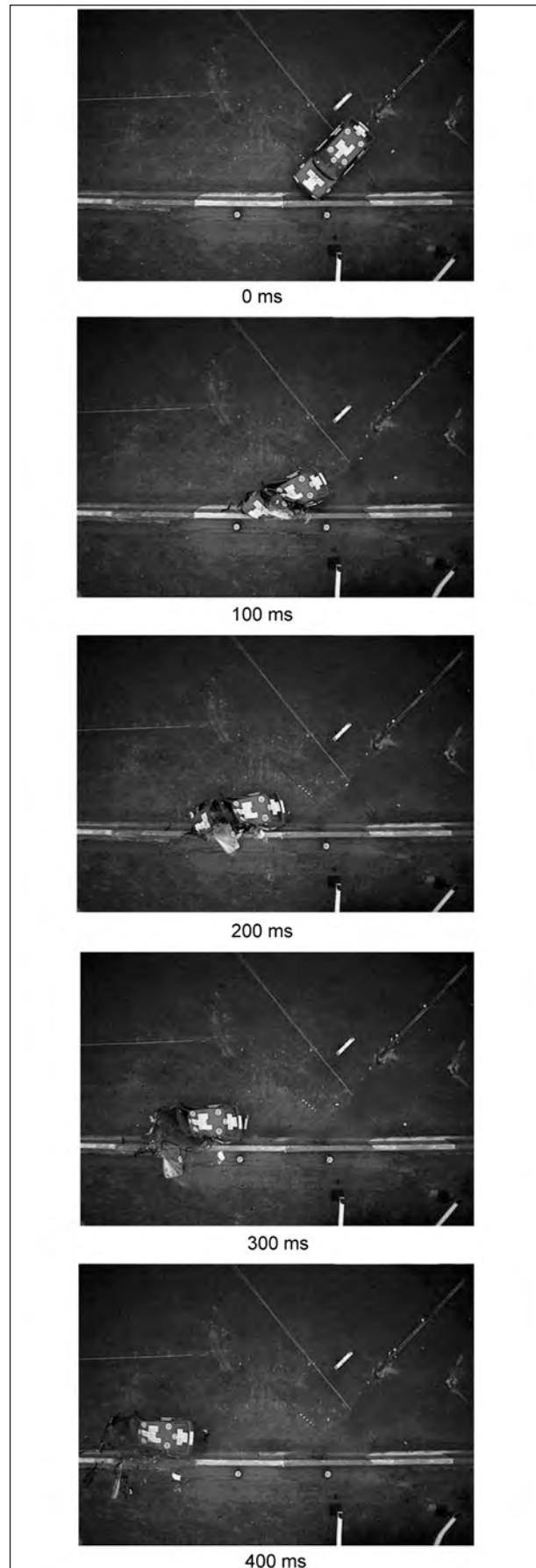


Bild 31: Versuchsablauf von oben gesehen

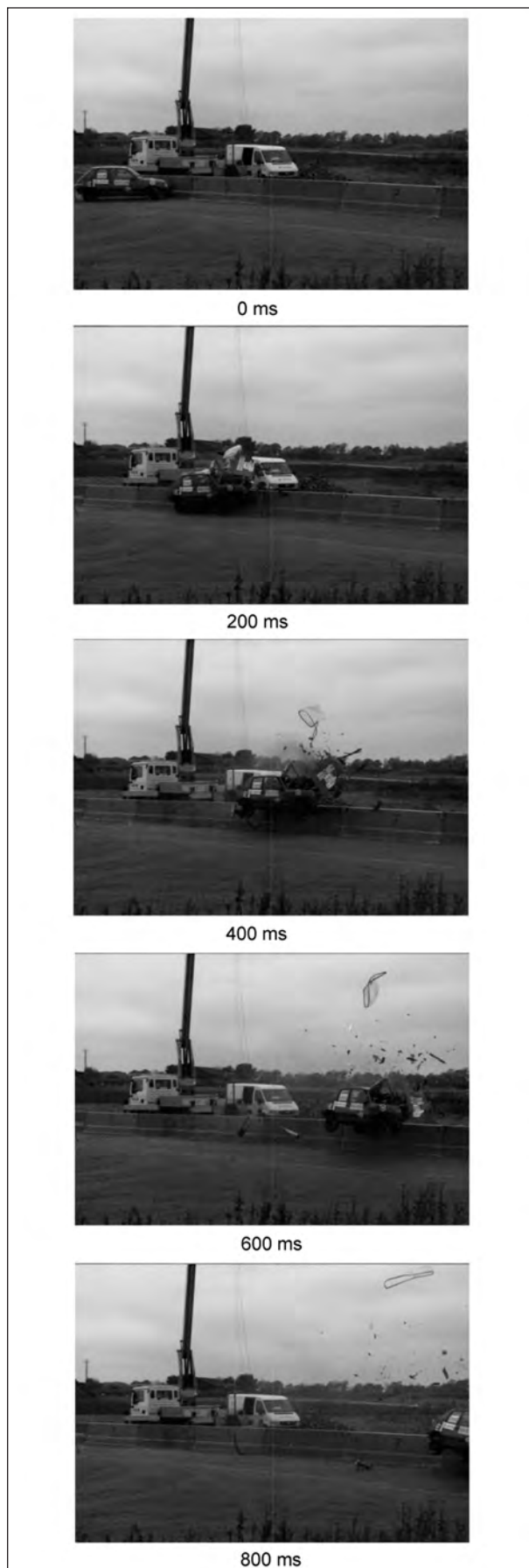


Bild 32: Versuchsablauf von der Seite gesehen



Bild 33: Versuchsablauf von vorne gesehen



Bild 34: Schutzeinrichtung nach dem Versuch



Bild 35: Endstellung Fahrzeug

wurde auch keine statische oder dynamische Quer- oder Längsverschiebung gemessen, Bild 34. Die Simulation einer Ortbetonwand kann somit als erfolgreich angesehen werden.

Bild 35 zeigt die Endlage des Fahrzeugs nach dem Test.

Die Beschädigungen am Fahrzeug sind in Bild 35 zu erkennen. Die Fahrzeugfront ist im Vorbau des Fahrerbereichs sehr stark deformiert. Die Deformationen ziehen sich im Anprallwinkel von der ursprünglichen rechten Vorderkante des Peugeot hin zur ursprünglichen Mitte B-C-Säule. Die A-Säule ist stark aufgestellt und das Lenkrad weit zur Mitte des Fahrzeugs eingedrungen. Der Dummy hat sich, vielleicht auch aufgrund der fehlenden Unterschenkel, weit nach außen gedreht und wird nur noch durch den Gurt im Sitz gehalten.

Die ermittelten Anprallindizes nach DIN EN 1317 spiegeln auch hier die optischen Versuchsergebnisse wider. Alle drei ermittelten Werte liegen über den zulässigen Maximalwerten (siehe Tabelle 11).

	Wert	bei t [s]
ASI	3,72	0,0307 – 0,0807
THIV [km/h]	59,3	0,0737
PHD [g]	33,4	0,9579 – 0,9679

Tab. 11: Anprallindizes für den Versuch Ortbetonwand

	Schwerpunkt	Tunnel
ASI DIN EN 1317 (1998)	3,7	2,6 (71 %)
ASI PrEN 1317 (2007)	3,8	2,8 (73 %)

Tab. 12: Neuberechnung des ASI

Der Vergleich mit den berechneten Werten von MONTELLA und PERNETTI aus [9] zeigt, dass der gemessene ASI sehr gut mit den berechneten Werten korreliert – ebenso der THIV. Der THIV liegt bei einer linearen Näherung nur 5 % über dem berechneten Wert; der ASI 14 %. Beim PHD konnte kein Zusammenhang erkannt werden, außer dass er auch dieses Mal weit unter dem berechneten Wert liegt. Dies zeigt, dass die von MONTELLA und PERNETTI berechneten Werte für den Anprall an eine starre Wand – linear betrachtet – für THIV und ASI aussagekräftig sind.

Der ASI wurde bei diesem Versuch wieder auf die zwei verschiedenen Arten berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zu sehen.

Hierbei fällt auf, dass die Berechnung nach dem Normentwurf zu einem höheren Wert führt, als dies beim Versuch gegen die Stahlschutzeinrichtung der Fall war.

Die Montage des Beschleunigungssensors auf dem Tunnel anstatt dem Schwerpunkt des Fahrzeugs führt wiederum zu einer deutlichen Verminderung des ASI (die Klammerwerte geben wiederum den Anteil an).

In Tabelle 13 sind die gemessenen Insassenbelastungswerte aufgeschlüsselt. Wie der Tabelle entnommen werden kann, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Fahrer des Pkw tödliche Verletzungen an allen Körperregionen zugezogen hätte, sehr hoch. Bei den Kopfwerten ist noch zu erwähnen, dass die hohen Belastungen aus dem einhergehenden Kopfanprall an der Schutzeinrichtung resultieren. Hätte ein solcher nicht stattgefunden, wären die Belastungen auf einem deutlich niedrigerem Niveau geblieben.

	Wert	Grenzwert*
Fahrzeugverzögerung a	44,04 g	
Brust x		
a _{res 3ms}	169,96 g	60 g
Brusteindringung	10,23 mm	50 mm
Oberschenkel		
F _{links}	7,99 kN	± 9,07 kN
F _{rechts}	12,52 kN	± 9,07 kN
Kopf		
a _{res 3ms}	202,55 g	80 g
HIC	4.404-	1.000 -
Hals		
F _X	-0,84 kN	± 3,1 kN
F _Y	-0,24 kN	- 4,0 kN
F _Z	3,51 kN	+ 3,3 kN
Halsmomente		
M _Y	-65,34 Nm	- 57 Nm
Becken		
a _{res 3ms}	181,7 g	60 g
* nach ECE-R 94		

Tab. 13: Dummymesswerte Versuch Ortbetonwand

5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Betrachtet man die Ergebnisse der beiden Versuche an eine nachgiebige und eine starre Schutzeinrichtung, lässt sich mit Sicherheit sagen, dass in keinem der beiden in Anlehnung an TB 11 mit dem abweichenden Winkel von 45° durchgeführten Versuche eine Überlebenswahrscheinlichkeit für den Fahrer gegeben war. Betrachtet man hierzu noch die Strukturen beider Fahrzeuge nach dem Crash und den jeweiligen Crashablauf, muss auch für die anderen Insassen mit schwersten bis tödlichen Verletzungen gerechnet werden.

Viele der gemessenen Dummywerte des Fahrers sind viel höher als die zugehörigen biomechanischen Grenzwerte. Außerdem kontaktierte bei beiden Versuchen der Dummykopf die Schutzeinrichtung, was zu sehr hohen Peaks in den Messkurven und damit zu sehr hohen Messwerten führte. Inwieweit ein Curtain- bzw. Window- oder Seiten-Airbag diese Messwerte reduziert hätte, bedarf weiterer Untersuchungen und ist hier sehr schwer abzuschätzen. Ein Frontairbag alleine hätte in beiden Fällen vermutlich auch nicht die gewünschte Redu-

zierung der Messwerte erbracht, da bei beiden Systemen der Kopf am Airbag vorbeigerutscht wäre.

6 Fazit

Vor der Verwendung von straßenseitigen Schutzeinrichtungen müssen diese ihre Wirksamkeit bei Anprallprüfungen unter Beweis stellen. Dabei sind in der DIN EN 1317 Lastfälle vorgesehen, die in realen Anpralltests von den zu prüfenden Schutzeinrichtungen zu bestehen sind. Hier spielt neben der Rückhaltung schwerer Fahrzeuge auch der Insassenschutz kleiner Fahrzeuge eine Rolle. Bei dieser so genannten TB-11-Prüfung erfolgt der Anprall eines 900 kg leichten Fahrzeugs unter einem Winkel von 20° bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h. Die für die Insassenbelastung relevanten fahrzeugseitigen Beschleunigungswerte dürfen dabei festgelegte Werte nicht überschreiten.

Die Analyse des Unfallgeschehens hat gezeigt, dass Anpralle gegen passive Schutzeinrichtungen auf Bundesautobahnen mit zunehmendem Anprallwinkel seltener werden. Kollisionen in einem Winkel größer der getesteten 20° treten kaum auf. Die TB-11-Prüfung deckt damit die meisten Anprallunfälle ab.

Mit steigendem Anprallwinkel nimmt der Energieanteil, der fahrzeugseitig umgewandelt wird, zu. Dies führt auf der einen Seite zu stärkeren Deformationen am Fahrzeug, auf der anderen Seite aber auch zu einem größeren kollisionsbedingten Geschwindigkeitsabbau Δv . Beides führt bei den Insassen zu einer Erhöhung des Verletzungsrisikos.

In Abhängigkeit der Fahrzeugbauform, des passiven Sicherheitsniveaus und der Kollisionsstellung ist bei großen Anprallwinkeln und hohen Kollisionsgeschwindigkeiten mit schwersten bis tödlichen Verletzungen zu rechnen. Dies haben auch die durchgeführten Versuche gezeigt.

Beide verwendeten Schutzsysteme haben die anprallenden Fahrzeuge zurückgehalten. Die Fahrzeuge oder Teile davon wären nicht in den Gegenverkehr geraten, zu schützende Einrichtungen hinter den Schutzeinrichtungen wären nicht gefährdet worden. Gleichzeitig hat sich aber auch gezeigt, dass diese zum Schutz des dahinterliegenden Bereichs notwendigen festen Strukturen bei großwinkligen geradlinigen Anprallen dazu führen, dass die Grenzwerte des TB-11-Versuchs nicht mehr eingehalten werden können.

Vergleicht man alle bei den Versuchen gewonnenen Daten, wird deutlich, dass es sich beim Anprall mit der gewählten Geschwindigkeit von 100 km/h und unter dem definierten Winkel von 45° – sowohl gegen ein nachgiebiges als auch starres System – um einen extremen Anprall handelt. Mit den im Versuch verwendeten Fahrzeugen wären entsprechende Unfälle nicht zu überleben gewesen.

Über das Schutzniveau der Fahrzeuginsassen entscheiden bei derartigen Anprallkonstellationen letztendlich das Niveau der passiven Sicherheit der anprallenden Fahrzeuge sowie das Energieabsorptionsvermögen der die Fahrgastzelle umschließenden Strukturen.

7 Literatur

- [1] Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement; Ausgabe 2009
- [2] STEINAUER, B., KATHMANN, T., MAYER, G., BECHER, T.: Einsatzkriterien für Betonschutzwände; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 112, Bergisch Gladbach 2004
- [3] SCHNÜLL, L. et al.: Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 6, Bergisch Gladbach 1993
- [4] Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Verkehr, Reihe 7, Verkehrsunfälle 2007; destatis 2008
- [5] DIN EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen, Teil 1 (1998) und Teil 2 (2006), Beuth Verlag GmbH, Berlin 2007
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung: Verkehr in Zahlen 2007/2008, Hamburg 2008
- [7] Entwurf DIN EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen, Teil 1 (2007) und Teil 2 (2007)
- [8] Bundesanstalt für Straßenwesen: Prüfungen nach DIN EN 1317 Teil 2 – Liste der bei der BAST positiv geprüften Schutzeinrichtungen, Bergisch Gladbach 2007
- [9] MONTELLA, A., PERNETTI, M.: Vehicle Occupant Impact Severity in Relation to Real World Impact Conditions, Proceedings of the 2nd International Congress on New Technologies and Modeling Tools for Roads, Florenz, 2004
- [10] KAMMEL, C.: Vorhersage der Wirkungsweise nachgiebiger Schutzeinrichtungen für den Straßenverkehr; Schriftenreihe des Lehrstuhls für Stahlbau und Leichtmetallbau der RWTH Aachen, Heft 63 – 2008, Aachen 2008

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2007

V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge Hübelt, Schmid	€ 17,50
V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen Gerlach, Kesting, Lippert	€ 15,50
V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen Cypra, Roos, Zimmermann	€ 17,00
V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen Wermuth, Sommer, Wulff	€ 15,00
V 137: PM _x -Belastungen an BAB Baum, Hasskelo, Becker, Weidner	€ 14,00
V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO _x)- und Ozon (O ₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004 Baum, Hasskelo, Becker, Weidner	€ 14,50
V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen Wirtz, Moritz, Thesenvitz	€ 14,00
V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen Fitschen, Koßmann	€ 15,50
V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003 Lensing	€ 15,00
V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen Fischer, Brannolte	€ 17,50
V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto	€ 17,50
V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer	€ 17,50
V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland Baier, Klemps, Peter-Dosch	€ 15,50
V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl	€ 18,50
V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005 Baum, Hasskelo, Becker, Weidner	€ 14,00
V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie – Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger	€ 16,50
V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig	€ 18,50
V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin	€ 18,00

V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO Böhl, Mausa, Kloppe, Brückner	€ 16,50
V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer Gerlach, Oderwald	€ 15,50
V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen Lemke	€ 13,50
V 154: Autobahnverzeichnis 2006 Kühnen	€ 22,00
V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht Bartolomaeus	€ 12,50
V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler	€ 13,00
V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317 Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas	€ 14,50
V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen Wirtz	€ 13,50
V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006 Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner	€ 13,50
V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen Fitschen, Koßmann	€ 25,50
V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe Listl, Otto, Zackor	€ 14,50
V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta Grahl, Sander	€ 14,50
V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen Brilon, Wietholt, Wu	€ 17,50
V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse Kathmann, Ziegler, Thomas	€ 15,00

2008

V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM ₁₀ -Emissionen von Straßen Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler	€ 14,50
V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen Fitschen, Koßmann	€ 26,00
V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung Kocher, Brose, Siebertz	€ 14,50
V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit Frost, Schulze	€ 15,50
V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen Wermuth, Wulff	€ 15,50
V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra	€ 16,50

- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)**
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007**
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge**
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PMx-Belastung an Straßen**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes**
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw**
Schulze, Hübelt € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24**
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik**
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn**
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen**
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern**
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen**
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern**
Alrutz, Bohle, Müller, Prahl, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit**
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst**
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes**
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb**
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen**
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008**
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme**
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.