

## Anprall mit Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeurückhaltesysteme

FA 82.337/07

Forschungsstelle: DEKRA Automobil GmbH, Technology Center, Stuttgart

Bearbeiter: Gärtner, M. / Egelhaaf, M.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Juni 2009

### 1 Ausgangssituation

Entsprechend den "Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme" (RPS) sollen passive Schutzvorrichtungen 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.

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.

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

Die Zuordnung, welche Anforderungen eine Schutzvorrichtung an welchem Streckenabschnitt zu erfüllen hat, definieren wiederum die RPS.

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.

Die vorliegenden Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen deuten darauf hin, dass sich Schutzvorrichtungen 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 Schutzvorrichtungen bei großen Anprallwinkeln liegen jedoch nur in sehr begrenztem Maß vor.

Um mehr über das Unfallgeschehen bei Pkw-Anprallen unter großem Winkel gegen straßenseitige Fahrzeurückhaltesysteme und deren Wirkungsweise bei entsprechenden Anprallen zu erfahren, beauftragte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) das DEKRA Technology Center mit der Bearbeitung eines Forschungsprojekts. Ziel war, durch die In-depth-Analyse des Unfallgeschehens Crashkonfigurationen für den Pkw-Anprall gegen eine Stahlschutzplanke sowie eine Betonschutzwand abzuleiten und aus den resultierenden Versuchen neue Erkenntnisse zu generieren.

Die Analyse des Unfallgeschehens mithilfe der Daten des Statistischen Bundesamts ergab für das Jahr 2007 die Zahl von 25 038 polizeilich registrierten Unfällen mit Anprall gegen eine Schutzvorrichtung. 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 Schutzvorrichtungen 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.

### 2 Versuchsdurchführungen

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse erfolgte die Festlegung einer Crashtest-Konfiguration zur Erlangung von Erkenntnissen über die Insassensicherheit bei großwinkligen Anprallen. Da die Schutzvorrichtungen hinsichtlich der resultierenden Insassengefährdung bei einem Anprall überprüft werden sollten, wurde eine Anprallprüfung nach TB 11 als Basis verwendet. Diese Crashtest-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 Schutzvorrichtungen zur Ermittlung der Anprallheftigkeit. Um für eine Vergleichbarkeit nur möglichst wenige Parameter zu modifizieren, wurden Geschwindigkeit und Fahrzeugmasse beibehalten. Lediglich der Anprallwinkel wurde von 20° auf 45° erhöht.

Trotz der im Fahrzeugbau tendenziell zunehmenden Fahrzeugmassen fielen rund 20 % der untersuchten Unfälle in die Kategorie der Fahrzeugmasse bis 950 kg. Eine solche Testmasse ist daher geeignet, einen Grenzfall darzustellen, der im Unfallgeschehen auftritt. Zugleich sind bei diesen Massen primär Kleinwagen und ältere Fahrzeuge anzutreffen, die in den meisten Fällen ein vergleichsweise geringeres Energieabsorptionsvermögen aufweisen und damit höhere Insassenbelastungswerte erwarten lassen.

Die Analyse des Unfallgeschehens ergab eine deutliche Abnahme der Fallzahlen mit steigendem Anprallwinkel. Wird der einmalig aufgetretene Winkel von 60° als Sonderfall außer Acht gelassen, so lässt sich ein Auftreten bis 50° auf Autobahnen als realistisch bezeichnen. Da im Rahmen des Projekts 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 Schutzvorrichtung wirkenden Längs- und Querkräfte 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 nach Diskussion im Betreuerkreis auf den Anprallwinkel von 45°.

Entsprechend der Zielsetzung des Forschungsprojekts kamen für den Versuch ein Stahlsystem sowie eine Betonschutzwand zum Einsatz. Die Wahl fiel auf Varianten, die aktuell vermehrt in der Autobahnausstattung verbaut werden: das Stahlsystem Super-Rail und eine simulierte Ort betonwand im Step-Barrier-

Profil. Die Simulation der Ortbetonwand durch entsprechend verankerte Fertigteile war erforderlich, um den Aufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten.

Um die Versuchsergebnisse möglichst gut mit den Ergebnissen der normkonformen TB 11-Prüfungen der jeweiligen Systeme vergleichen zu können, wurden für die Versuche baugleiche Fahrzeuge zu denen verwendet, die auch bei der jeweiligen Zertifizierungsprüfung verwendet wurden. Für Super-Rail war dies ein Opel Corsa A, für die simulierte Ortbetonwand ein Peugeot 205.

Bei der Prüfung von Schutzeinrichtungen nach DIN EN 1317 werden keine Dummy-Messwerte erfasst, da diese sehr stark vom verwendeten Fahrzeug und der Sitzposition des Dummies 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 sollte Vergleichswerte liefern, inwiefern die ermittelten Messgrößen im Fahrzeugschwerpunkt von denen auf dem Tunnel abweichen.

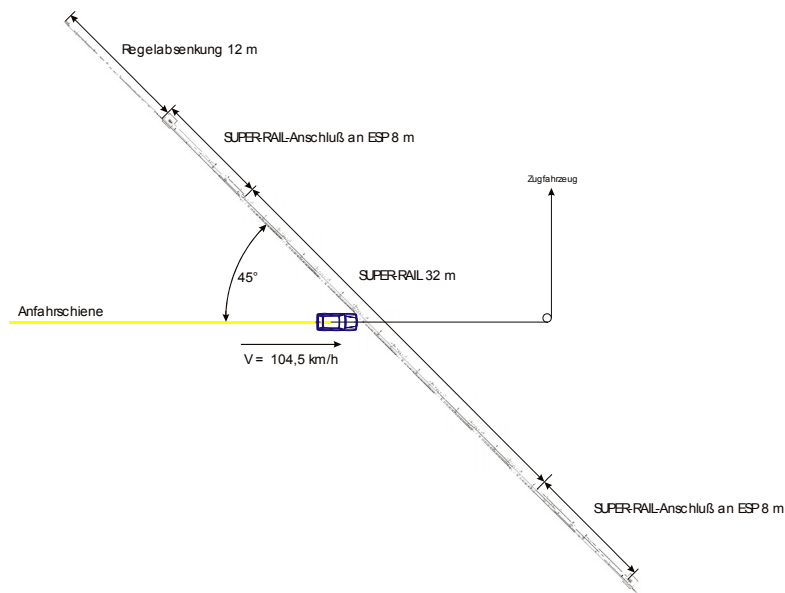
Da bei der in diesem Forschungsprojekt gewählten Anprallvariante mit einem sehr hohen ASI zu rechnen war, hierzu aber keine Erkenntnisse zur Aussagekraft solcher hoher Werte vorliegen, wurde für die Versuche ein instrumentierter Dummy verwendet. Die Wahl fiel auf einen Hybrid-III-Frontalanprall-Dummy. 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.

Bild 1 zeigt die Anprallkonstellation für den Versuch gegen 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.

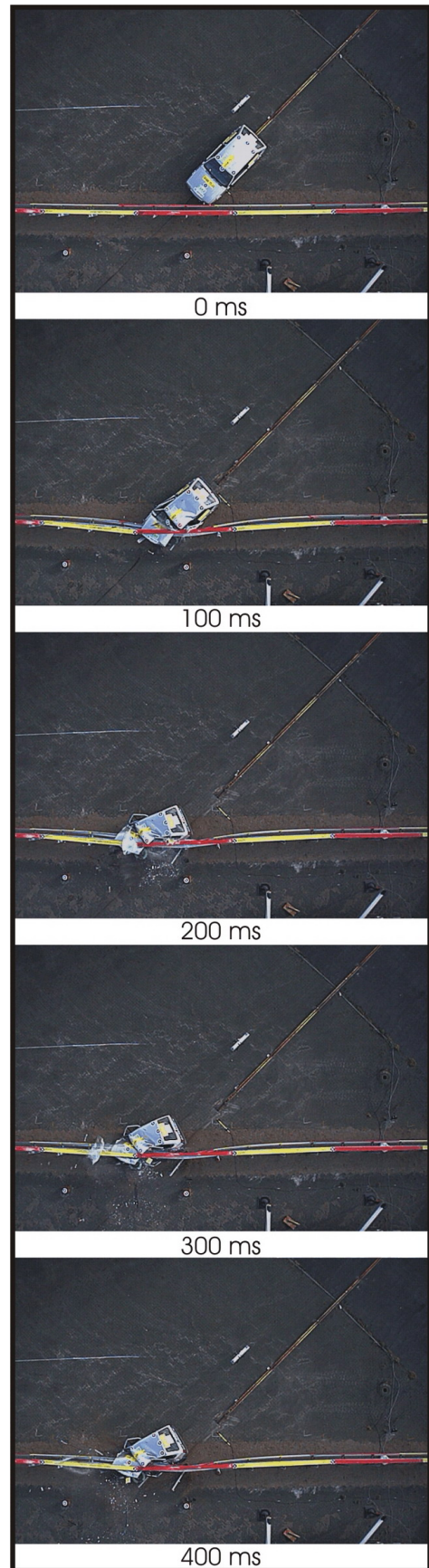
Im Folgenden ist der Versuchsablauf anhand der Videoaufnahmen dargestellt (siehe Bild 2). Die tatsächliche Anprallgeschwindigkeit lag bei 104,5 km/h, der tatsächliche Anprallwinkel bei 45°. Der Erstkontakt bei  $t = 0$  ms mit der Schutzeinrichtung erfolgte 1 cm vor dem Soll-Anprallpunkt, 20 cm hinter Holmstoß 3 und 4. Das Fahrzeug hob in der Folge den unteren Schutzplankenholm an und begann sich darunter zu schieben. 100 ms nach dem Anprall fand eine minimale Umlenkung des Fahrzeugs statt, es kam zu einem Kopfkontakt des Dummies mit der Schutzeinrichtung. Das Fahrzeug begann nun leicht einzudrehen und drang im weiteren Verlauf bis auf Höhe der C-Säule unter dem System ein. Bereits nach 400 ms war der Anprallvorgang nahezu abgeschlossen und das Fahrzeug in seiner Endstellung angekommen.

Die Stahlschutzeinrichtung wies nach dem Versuch nur im Kontaktbereich Beschädigungen auf. Drei Pfosten im Anprallbereich wurden vom Längsverbund gelöst und nach hinten wegknickt. Das untere der beiden Kastenholmprofile wurde leicht nach oben weggedrückt, das 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. Das Fahrzeug drang bis zur B-Säule in die Schutzeinrichtung ein. Ein Überlebensraum für den Fahrer war nicht mehr gegeben.

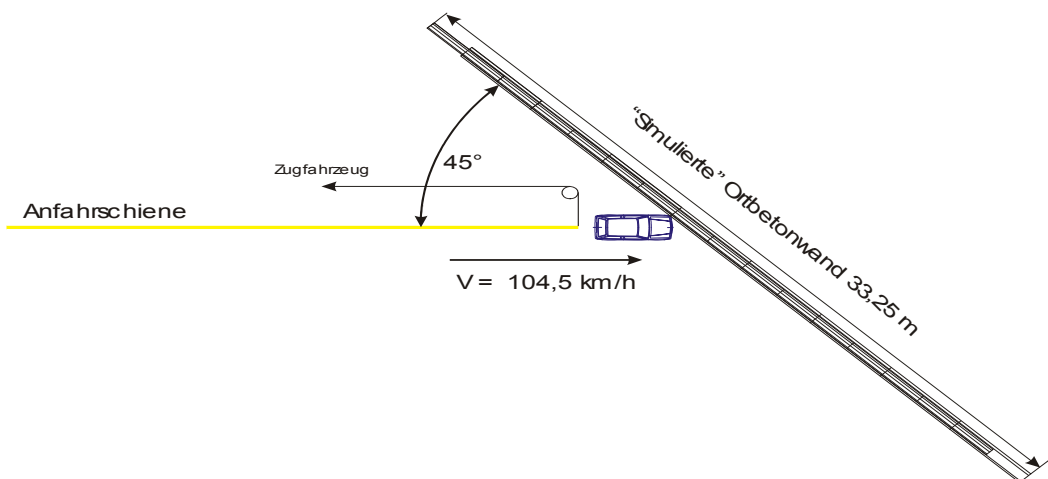


**Bild 1: Anprallkonfiguration Stahlschutzplanke**



**Bild 2:** Versuchsablauf von vorne und oben gesehen

Die Anprallkonfiguration des Versuchs gegen eine "simulierte" Ort betonwand ist in Bild 3 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 härtendem Spezialvergussmörtel miteinander vergossen. Hinter der so simulierten Ort betonwand wurde zusätzlich im Anprallbereich eine Hinterfüllung mit Erde hergestellt. Hiermit wurde ein Be wagen der Wand nahezu komplett verhindert.



**Bild 3: Anprallkonfiguration Stahlschutzplanke**

Im Folgenden ist der Versuchsablauf anhand der Videoaufnahmen dargestellt (siehe Bild 4). Die tatsächliche Anprallgeschwindigkeit lag bei 104,5 km/h, der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Betonwand 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 Schwerpunktbahn 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 fand kaum eine Umlenkung des Fahrzeugs statt. Nach ca. 82 ms kam es zu einem Kopfkontakt des Dummies mit der Schutzeinrichtung. Danach wurde das Fahrzeug abrupt umgelenkt und bewegte sich parallel zum System. Hierbei erreichte es eine Höhe von nahezu 1 m über der Fahrbahn. Das Fahrzeug befand sich für ca. 700 ms in der Luft und begann leicht einzudrehen. Beim Auftreffen auf der Fahrbahn nach etwa 900 ms kippte das Fahrzeug über den stark deformierten Vorbau der Fahrerseite weg und begann sich zu überschlagen. Nach 1,5 Drehungen um die Längsachse kippte das Fahrzeug dann auf dem Dach liegend zurück in seine Ausgangslage.

Außer den Anprallspuren waren an der Schutzeinrichtung keinerlei Beschädigungen zu erkennen. Es wurden auch keine statischen oder dynamischen Quer- oder Längsverschiebungen gemessen.

Auch in diesem Versuch kam es zu einem Kollabieren der Fahrgastzelle. Der Fahrer hätte tödliche Verletzungen erlitten.

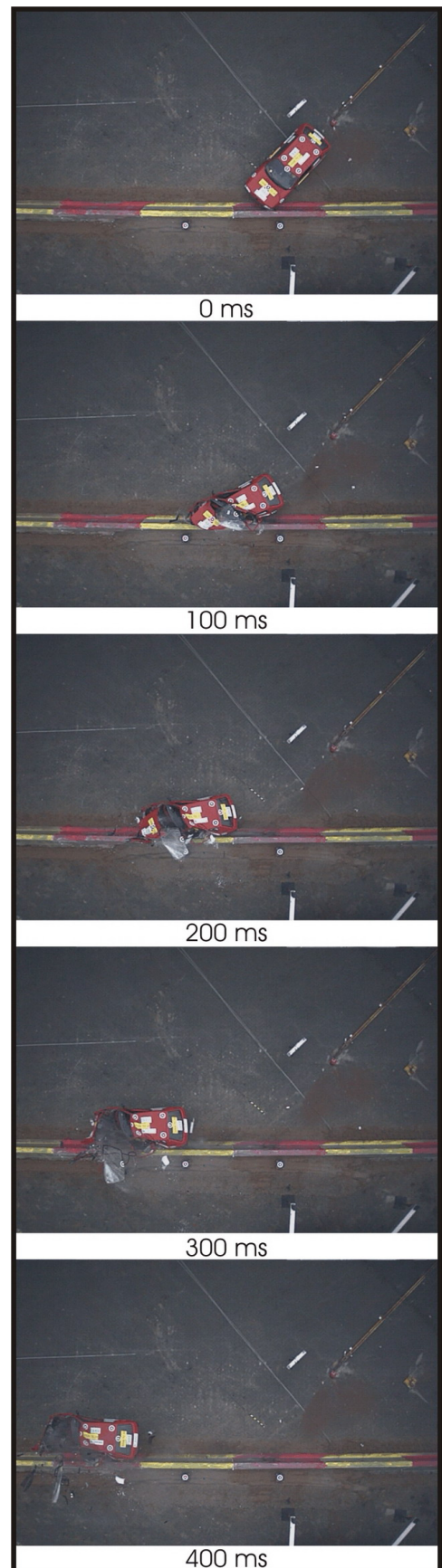


Bild 4: Versuchsablauf von vorne und oben gesehen

### 3 Untersuchungsergebnisse

Im Ergebnis ließ sich feststellen, dass die Fahrer in beiden Versuchen tödliche Verletzungen erlitten hätten. Auch für weitere Insassen hätte mit schwersten bis tödlichen Verletzungen gerechnet werden müssen.

Viele der gemessenen Dummywerte lagen weit oberhalb der 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.

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 dahinter liegenden Bereichs notwendigen festen Strukturen bei großwinkligen geradlinigen Anprallen dazu führen, dass die Grenzwerte des TB 11-Versuchs bei dem gewählten 45° - Winkel nicht mehr eingehalten werden können.

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.