

Kurzbericht zum BASt Forschungsprojekt FE 03.0491/2011/CRB

Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Stahl

Kurzbericht



SH 13.15

September 2014

 **DEKRA**

Unfallforschung & Crash Test Center

Aufgabenstellung

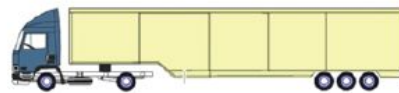
Vor dem Hintergrund prognostizierter Steigerungen beim Güterverkehrsaufkommen um 70% bis 2025 im Vergleich zum Jahr 2004 sind neben der Optimierung der bestehenden Verkehrswege-Infrastruktur ganzheitliche Maßnahmen zur Effizienzsteigerung des Gütertransports erforderlich. Der Straßengüterverkehr spielt hierbei eine ebenso wichtige Rolle wie die Verknüpfung der unterschiedlichen Verkehrsträger und die Kompatibilität derer Ladungsträger.

Als ein möglicher Ansatz zur Effizienzsteigerung werden dabei Fahrzeuge mit einem vergrößerten Ladevolumen angesehen. Aus diesem Grund war ein Feldversuch mit Fahrzeugen bzw. Fahrzeugkombinationen mit Überlänge, so genannten **Lang-Lkw**, Bestandteil des "Aktionsplans Güterverkehr und Logistik" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVS) (heute "Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)"). Der gesamte Feldversuch wird von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) begleitet: In diesen Untersuchungen werden die Chancen und Risiken von längeren Fahrzeugen bzw. Fahrzeugkombinationen wissenschaftlich bewertet. Dazu gehören u.a. Untersuchungen zur Fahrzeugsicherheit, zum Einfluss auf die Umwelt und den Verkehrsablauf sowie zur Beanspruchung der Verkehrsinfrastruktur. Von erheblicher Bedeutung ist dabei die Betrachtung von Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, die sich durch eine Teilnahme von Lang-Lkw am Straßenverkehr ergeben.

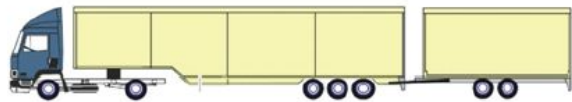
Das maximal zulässige Gesamtgewicht der im Rahmen des Feldversuchs zugelassenen Fahrzeugkombinationen beträgt dabei 38t bzw. 44t im kombinierten Verkehr. Die Gesamtlänge der Fahrzeuge wird auf maximal 25,25 m erhöht. Mögliche Fahrzeugkombinationen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Die Achsenanzahl kann dabei für die einzelnen Lang-Lkw Typen von der dargestellten abweichen.

Wesentliche Fragen der wissenschaftlichen Begleituntersuchungen zum Feldversuch beschäftigen sich mit dem Thema der Verkehrssicherheit. Einen wichtigen Beitrag zur Verkehrssicherheit im deutschen Fernstraßennetz leistet eine effektiv funktionierende Straßenausstattung. Wesentlicher Bestandteil der Straßenausstattung im Falle eines Unfalls sind Fahrzeugrückhaltesysteme, die das Abkommen eines Fahrzeugs durch insassenschonendes Zurückgleiten auf die Fahrbahn sowie einen möglichen Durchbruch von schwereren Fahrzeugen durch den Mittelstreifen auf die Gegenfahrbahn verhindern sollen. Anforderungen an Fahrzeugrückhaltesysteme sind dabei in den jeweiligen Teilen der EN 1317 definiert.

Kenntnisse über das Anprallverhalten von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen aus Stahl liegen derzeit nicht vor. Das vorliegende Forschungsvorhaben soll - zusammen mit ergänzenden Untersuchungen der DEKRA und den Ergebnissen des Forschungsvorhabens FE 03.0471 "Untersuchungen zum Verhalten von Lang-Lkw beim Anprall an Schutzeinrichtungen aus Beton" - dementsprechend Erkenntnisse als Basis für eine Abschätzung bereitstellen, inwieweit die vorhandenen bzw. bei Neubauvorhaben standardmäßig eingesetzten Schutzeinrichtungen aus Stahl zum Schutz besonders gefährdeter Bereiche (= Aufhaltestufe H4b) geeignet sind, solche Lang-Lkw sicher aufzuhalten. In diesem Zusammenhang ist es allein zielführend, die wesentlichen, generellen Charakteristika von Schutzeinrichtungssystemen aus Stahl und nicht einzelne Herstellersysteme zu betrachten.



Typ 1: Sattelzugmaschine mit Sattelanhängen (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern



Typ 2: Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



Typ 3: Lastkraftwagen mit Unteretzachse und Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



Typ 4: Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern



Typ 5: Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern

Abbildung 1 Mögliche Fahrzeugkombinationen im Feldversuch

Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens erfolgten zunächst theoretische Betrachtungen in Form von Auswertungen der internationalen Publikationen in Printmedien und Internet. Außerdem wurden Untersuchungen von analytischen Gutachten der DEKRA-Unfalldatenbank und Pressemeldungen zu Unfällen in Deutschland durchgeführt. Unter Zuhilfenahme eines Programms aus der Unfallrekonstruktion (PC-Crash) erfolgten zudem einfache Simulationen von Anprallen mit unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten. „Was-Wäre-Wenn“ - Fallbetrachtungen anhand von realen Unfallverläufen ergänzten die theoretischen Betrachtungen.

Diese theoretischen Betrachtungen dienten zur Analyse der IST-Situation sowie zur Ermittlung und Beurteilung möglicher Einflussfaktoren auf den Anprallverlauf von Sattelkraftfahrzeugen an Schutzeinrichtungen und einer Betrachtung der Relevanz für den Lang-Lkw. Untersucht wurden dafür mögliche Einflussparameter aus den Bereichen „Fahrzeug“, „Schutzeinrichtung“, „Beladung“ und „Anprallvorgang“. Resultierend wurden damit die relevante Parameterkonstellation für den anschließenden Anprallversuch unter Beachtung möglicher Rahmenbedingungen in der Prüfungssituation („Worst Case“-Ansatz), im Feldversuch („Special Case“-Ansatz) und in der Verkehrsrealität („Average Case“-Ansatz) erarbeitet.

Anhand dieser Parameterkonstellation werden das Prüffahrzeug, die Schutzeinrichtungen, das Beladungsszenario und der Verlauf des Anprallvorgangs ausgewählt und festgelegt. Hier gingen zudem Erkenntnisse aus weiteren Untersuchungen, die im Rahmen des Feldversuchs vorgenommen wurden, ein. Im Vordergrund standen für die Auswahl eine möglichst große Vergleichbarkeit mit den standardisierten Anprallversuchen gemäß EN 1317 sowie eine mögliche Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Fahrzeugkombinationen, Schutzeinrichtungen und Anprallsituationen. Damit die Ergebnisse mit denen des parallel durchgeführten Forschungsprojekts zur Untersuchung des Anprallverhaltens von Lang-Lkw an Schutzeinrichtungen aus Beton verglichen werden können, wurden in beiden Forschungsprojekten identische Konfigurationen verwendet und nur die Einflussparameterwerte für die untersuchte Schutzeinrichtung variiert.

Auf Basis der Erkenntnisse der o.g. Voruntersuchungen wurde anschließend ein Anprallversuch mit einem Lang-Lkw als Prüffahrzeug an eine Stahlschutzeinrichtung in Anlehnung an die europäische Prüfnorm EN 1317 durchgeführt, erfasst und ausgewertet.

Erkenntnisse der theoretischen Betrachtungen

Im Rahmen der theoretischen Analysen wurden mögliche Einflussparameter auf ihre Relevanz bei Kollisionen von Lang-Lkw gegen passive Schutzeinrichtungen untersucht. Dabei wurden sowohl fahrzeugseitige als auch schutzeinrichtungsseitige Faktoren betrachtet.

Die Analyse internationaler Studien zur Thematik der "Longer and Heavier Vehicles" ergab ein sehr uneinheitliches Bild des Unfallgeschehens. Festhalten lässt sich, dass derartige Fahrzeugkombinationen im außerörtlichen Fernverkehr tendenziell ein geringeres Unfallrisiko aufweisen als konventionelle Sattelkraftfahrzeuge und -züge. Zum Anprallverhalten gegen Schutzeinrichtungen konnten keine konkreten Informationen gefunden werden.

Die internetbasierte Analyse von Unfallfilmen aus diversen Videoportalen lieferte sehr gute Erkenntnisse zum Verhalten von Lkw mit Anhängern sowie Sattelzügen vor ("Pre-Crash"), während und nach dem Anprall. Die das Forschungsprojekt bearbeitenden Ingenieure konnten sich so ein sehr gutes Bild vom Anprallverhalten unterschiedlicher Fahrzeugkombinationen machen. Diese Erkenntnisse waren sowohl für die Einschätzung der Plausibilität der durchgeführten Simulationen als auch zur Ermittlung des für den Anprallversuch erforderlichen Worst-Case-Szenarios wichtig.

Die Analyse von DEKRA Unfallgutachten verfestigte die gewonnenen Erkenntnisse. Sie ergab wichtige Hinweise hinsichtlich der bereits bekannten Parameter wie Anprallwinkel, Fahrzeugmassen, Geschwindigkeiten und zu Parametern der verwendeten Schutzeinrichtungen inklusive genauer Beschreibungen der entstandenen Beschädigungen und sonstigen Unfallfolgen und erweiterte so die vorhandenen Kenntnisse von Unfall- und Anprallabläufen.

Durch "Was-Wäre-Wenn" - Fallbetrachtungen konnten die zu erwartenden Anprall- und Folgeszenarien für den Fall abgeschätzt werden, dass statt der real verunfallten Fahrzeugkombination verschiedene Lang-Lkw Typen unter ansonsten identischen Bedingungen beteiligt wären.

Mit der für die Unfallrekonstruktion entwickelten Software PC-Crash wurden Kollisionen unterschiedlichster Lang-Lkw-Fahrzeugkombinationen mit variierenden Beladungen simuliert. Dies ermöglichte eine noch bessere Kenntnis des Einflusses fahrzeugverbindender Komponenten. Auch die Wechselwirkungen von Höhe der Schutzeinrichtung, Schwerpunktshöhe und Massenverteilung der einzelnen Fahrzeugteile konnten so konkretisiert werden.

Als Ergebnis der theoretischen Analyse lässt sich feststellen, dass auch mit Lang-Lkw Anprallwinkel gegen Schutzeinrichtungen von 20° und Anprallgeschwindigkeiten von 65 km/h im normalen Unfallgeschehen erreicht werden können. Durch den verpflichtenden Einbau von Fahrdynamikregelsystemen in Lang-Lkw im Rahmen des Feldversuchs ist davon auszugehen, dass das Unfallrisiko gegenüber konventionellen Last- und Sattelzügen ohne entsprechende Systeme reduziert wird.

Bei Unfällen mit Anprallwinkeln von über 10° bezogen auf die Schwerpunktsbahn kommt es in der Pre-Crash-Phase häufig zu einem instabilen Fahrverhalten. Bei Lastzügen war häufig ein Aufschaukeln der Anhänger zu beobachten, bei den Zugfahrzeugen eine Driftbewegung im Gegenuhrzeigersinn. Bei Sattelzügen war häufig ein Einknicken, das sogenannte "jack-knifing" festzustellen, wobei hier keine eindeutige Tendenz einer Richtung erkennbar ist.

Die für die Verkehrsunfallrekonstruktion entwickelte Software PC-Crash Version 9.0 wurde für die Simulationen verwendet. Unterschiedliche Lang-Lkw-Kombinationen, unterschiedliche Lasten und Lastverteilungen sowie Schutzeinrichtungshöhen wurden betrachtet. Ein Schwerpunkt war zusätzlich der Einfluss der fahrzeugverbindenden Teile. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis einer Simulation eines Anprallvorgangs.



Abbildung 2 Endlage des Sattelzugs

In den Simulationen zeigte sich, dass bei der Fahrzeugkombination die Zahl der Drehachsen, die Steifigkeit und der mögliche Rotationsgrad der Verbindungen sowie der Abstand der Drehachsen zueinander einen wesentlichen Einfluss auf das Anprallverhalten haben. Die Parameter stehen dabei in Wechselbeziehung zur Ladungs- und Schwerpunktsverteilung.

Bezüglich der Positionierung der Ladung auf den einzelnen Fahrzeugen der verschiedenen Lang-Lkw Typen zeigte sich in den Simulationen erwartungsgemäß, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung über die gesamte Fahrzeuglänge ent-

sprechend den jeweiligen Laderaumvolumina und eine möglichst niedrige Schwerpunktschöhe ein Kipprisiko minimieren. Jede Anhebung der Schwerpunktschöhe – auch nur in einzelnen Laderäumen – steigerte das Kipprisiko sofort beträchtlich.

Bei Fahrzeugkombinationen mit zwei räumlich deutlich voneinander getrennten Verbindungs- und Drehpunkten, wie bei den Lang-Lkw vom Typ 2 und Typ 4, kommt es so zu drei Anstößen am selben Punkt der Schutzeinrichtung. Diese Art der Belastung wird in Prüfungen nach EN 1317 nicht abgeprüft.

Die theoretischen Betrachtungen haben weiterhin gezeigt, dass die Verbindung eines Sattelauflegers mit einer Sattelzugmaschine deutlich weniger Rotation um die Längsachse zulässt als eine Kupplungs-Deichselverbindung. Durch gegenseitiges Stabilisieren weisen Sattelzüge so ein geringeres Kipprisiko auf als die einzelnen Komponenten eines Lastzugs. Nach Erreichen der Endstellung kann es durch die größere Fahrzeuglänge dazu kommen, dass größere Bereiche der Fahrbahn (z. B. ein weiterer Fahrstreifen) blockiert werden. Dadurch steigt das Risiko für Folgekollisionen

Bei einer "Was-Wäre-Wenn" - Fallbetrachtung erfolgt die Variation eines einzelnen Parameters eines realen Unfalls mit anschließender Rekonstruktion unter Einbeziehung der veränderten Einflussgröße. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden die anprallen Last- und Sattelzüge durch Lang-Lkw unterschiedlicher Zusammenstellung ersetzt. Die "Was-Wäre-Wenn" - Fallbetrachtung hat gezeigt, dass der Ersatz des tatsächlich verunfallten Fahrzeugs durch einen Lang-Lkw in einem Großteil der Fälle möglich ist und hinsichtlich der Auswirkungen der Mehrgliedrigkeit trotz größerer Länge keine wesentlichen Änderungen im Unfallgeschehen angenommen werden können. Dies gilt insbesondere für Unfälle mit flachen Anprallwinkeln ohne vorhergehende oder folgende fahrdynamische Instabilitäten. Eine Änderung der Schwerpunktslage wurde hierbei nicht betrachtet. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass etliche Fälle durch ein Fahrdynamik-Regelsystem vermieden oder in ihren Folgen deutlich geringer ausgefallen wären. Da ein solches System verbindlich für Lang-Lkw vorgeschrieben ist, ist für diese Fahrzeugkombinationen von einer geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit für diese Unfälle auszugehen.

Bedingt durch die komplexe Wechselwirkung der einzelnen Fahrzeugparameter – darunter auch mit denen der Schutzeinrichtung - war es nicht möglich, eine verbindliche pauschale Rangfolge der fahrzeugseitigen Einflussfaktoren zu generieren. Es hat sich aber gezeigt, dass die

Schwerpunktslage, die Anzahl, Lage und Ausbildung der Drehachsen und die Gesamtmasse des Fahrzeugs wesentliche Einflussparameter darstellen. Hiervon wird insbesondere die Kippneigung beeinflusst. Ähnliches Bild ergab sich für die Schutzeinrichtungen: Hier zeigten sich die Steifigkeit, Höhe und Form der Schutzeinrichtung als wichtige Einflussparameter.

Auswahl der Parameter für den Anprallversuch

Die endgültige Festlegung der Einflussparameterwerte für den Anprallversuch erfolgte in Expertenrunden. Daran nahmen Wissenschaftler der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Experten des Forschungsnehmers teil. Diskutiert wurden die Einflussfaktoren, deren erwartete Wirkung und Wechselwirkung für das Versuchsfahrzeug, die Beladung, die Schutzeinrichtung und die Versuchsdurchführung auf Basis vorgenannter Analysen.

Die Fahrzeugkombination Typ 3 zeigte in der theoretischen Betrachtung sowie in den einfachen Simulationen, dass sie durch ihre Eigenschaften ungünstig in Bezug auf das Anprallverhalten zu beurteilen ist. Weitere Untersuchungen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung ergaben, dass dieser Typ am häufigsten im Feldversuch zum Einsatz kommt.

Ausgewählt für die Schutzeinrichtung der Aufhaltestufe H4b wurde eine 115 cm hohe, zurrammende Stahlschutzeinrichtung. Kriterien für die risikoorientierte Auswahl waren unter anderem die Verwendungshäufigkeit im deutschen Fernstraßennetz sowie die aktuelle Verwendbarkeit durch einen Eintrag in der Einsatzfreigabeliste (EFG-Liste) der BASt.

Die Schutzeinrichtung wurden bereits zur Feststellung ihrer Leistungsdaten einer „konventionellen“ Anprallprüfung mit einem 38 t-Sattelkraftfahrzeug nach EN 1317 unterzogen.

Neben der reinen Fahrzeugauswahl stellte sich in den theoretischen Betrachtungen die Beladungsverteilung als wesentliche Einflussgröße heraus: Es hat sich gezeigt, dass die möglichen Beladungsvolumen der am Feldversuch teilnehmenden Lang-Lkw zu deutlich über 90 % ausgenutzt werden. Der sich ergebende Schwerpunkt der Beladung erhöht sich dadurch im Vergleich zu den Vorgaben der EN 1317. Die Auswahl fiel auf eine über beide Fahrzeugteile gleichverteilte Beladung – repräsentiert durch die entsprechende Schwerpunktposition – unter Berücksichtigung der maxi-

mal zulässigen Achslasten. Die Realisierung erfolgte durch eine Stahlkonstruktion mit Betonplatten, die in Anlehnung an die Vorgaben der EN 1317 fest auf den Plattformen der Fahrzeugteile fixiert wurde.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind die Grundsätze, die in den EN 1317 für die Prüfung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b verwendet werden, übernommen worden: Dazu gehört es, eine fixierte, möglichst gleichmäßig verteilte Beladung des Prüffahrzeugs sowie die in den EN 1317 vorgegebenen Werte für Anprallgeschwindigkeit und -winkel für den Anprallversuch mit dem Lang-Lkw zu übernehmen.

Die Festlegungen sind in der Übersicht in Tabelle 1 zusammengefasst.

Fahrzeugtyp	Lang-Lkw Typ 3
Gesamtmasse	38 t
Ladegut	Betongewichte auf Stahlkonstruktion, fest fixiert
Beladungsszenario	Masse entsprechend Laderaumvolumen, Ladungsschwerpunkt vertikal auf halber Höhe der Laderäume, Einhaltung von max. zul. Gesamtgewicht und max. zul. Achslasten
Anprallwinkel	20°
Anprallgeschwindigkeit	65 km/h
Schutzeinrichtung aus Stahl	H4b Stahlschutzeinrichtung, gerammt (Super Rail H4b)

Tabelle 1 Festlegungen für den Anprallversuch

Durchführung und Verlauf des Anprallversuchs

Der Anprallversuch wurde entsprechend den getroffenen Festlegungen auf dem DEKRA Testgelände in Eggebek durchgeführt. Verwendet wurde als Prüffahrzeug ein Zugfahrzeug mit angehängter gelenkter Untersetzachse und einem Sattelauflieger. Die Beladung erfolgte entsprechend den möglichen Volumenanteilen auf Zugfahrzeug und Sattelauflieger. Der Beladungsschwerpunkt lag jeweils in der Höhenmitte. Der Gesamtschwerpunkt lag damit oberhalb der in EN 1317 genannten Schwerpunktshöhe.

Das beladene Prüffahrzeug und die gewählte Stahlschutzeinrichtung sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 3 Gesamtansicht des Versuchsfahrzeugs



Abbildung 4 Stahlgeschützwände aus Annäherungsrichtung

Die Schutzeinrichtung wurde zweireihig aufgestellt wie in Mittelstreifen auf Bundesautobahnen.

Für die Anfahrsstrecke wurde eine Länge von 1.000 m gewählt. So wurde sichergestellt, dass nach Erreichen der Zielgeschwindigkeit eine Fahrt bis zum Anprallpunkt mit konstanter Geschwindigkeit erfolgt. Der Anprall am vorgesehenen Punkt des Fahrzeugrückhaltesystems im richtigen Winkel wurde durch eine optische Fahrzeugführung sichergestellt.

Die Dokumentation erfolgte mit mehreren Kameras und Sensoren.

Für den Versuch fuhr das Fahrzeug aus eigener Kraft. Die Führung erfolgte über ein optisches Fahrzeugführungssystem, welches die Anprallgeschwindigkeit und den richtigen Anprallwinkel sicherstellte. Die Messung der Anprallgeschwindigkeit erfolgte über eine Lichtschranke, die Beschleunigungen wurden mittels mehrerer eingebauter Unfalldatenschreiber aufgezeichnet. Zur Dokumentation kamen zahlreiche hochauflösende Echtzeit- und Highspeedkameras zum Einsatz. Zusätzlich wurde das Fahrzeug mit Mitfahrkameras bestückt. Neben Überkopfaufnahmen aus einem 40-m-Hubsteiger kam eine Helicam an Bord eines ferngesteuerten Helikopters für „Luftaufnahmen“ zum Einsatz.

Die Zielgeschwindigkeit von 65 km/h war nach einer Strecke von etwa 650 m erreicht. Die verbleibenden ca. 350 m wurden mit konstanter Geschwindigkeit zurückgelegt.

Die Anprallgeschwindigkeit lag bei 65,6 km/h, der Anprallwinkel relativ zur Schutzeinrichtung bei 20,5°.

Der Anprallpunkt wurde in einem Abstand von 30,67 m vom Beginn der Stahlgeschützeinrichtung gewählt. Die genaue Anprallkonstellation zeigt Abbildung 5.



Abbildung 5 Stellprobe des Lang-Lkws

Nach dem Erstkontakt wurde der Lkw von der Schutzeinrichtung nach rechts umgelenkt. Im Anprallbereich knickten die Pfosten der Stahlgeschützeinrichtung in Anprallrichtung ab. Das obere Kastenprofil wurde dabei bis etwa zur Mitte des dargestellten Mittelstreifens verschoben. Das Zugfahrzeug behielt den Kontakt zur Stahlgeschützeinrichtung und wurde parallel umgelenkt. Bei Erreichen der parallelen Ausrichtung befand sich die hintere linke Ecke des Zugfahrzeugs am ursprünglichen Anprallpunkt. Es kam zu einer leichten Linksneigung des Zugfahrzeugs ohne dass daraus eine Kippgefahr resultierte, wie Abbildung 6 zeigt.



Abbildung 6 Komplettes Anliegen des Zugfahrzeugs an der Schutzeinrichtung und leichtes Kippen ohne Umsturzgefahr

Während des Zugfahrzeug-Anpralls kam es zu keinem relevanten Einlenken der Deichsel der Untersetzachse. Die gesamte Drehung fand in der Zugfahrzeug-Kupplung statt. Erst mit Kontakt des vorderen linken Rads der Untersetzachse kam es hier zu einer Richtungsänderung der Deichsel. Der Anprall der Untersetzachse erfolgte im Anprallpunkt des Zugfahrzeugs. Das Zugfahrzeug selbst wurde durch die Stahlgeschützeinrichtung zurück auf die ursprüngliche Fahrbahn geleitet. Durch die Rückführung des Zugfahrzeugs und das langsam einsetzende Umlenken des Aufliegers setzte ein

dem "jack-knifing" vergleichbarer Effekt ein. Es erfolgte zudem eine Kippbewegung des Zugfahrzeugs nach links.

Durch das Schieben von Untersetzachse und Auflieger über die vorgeschädigte Rückhalteeinrichtung kam es zu einem tieferen Eindringen der hinteren linken Ecke des Zugfahrzeugs in Richtung der Gegenfahrbahn, wie Abbildung 7 zeigt.



Abbildung 7 Moment der maximalen Eindringtiefe des Zugfahrzeug-Hecks

Das Erreichen der Schutzbarriere durch den Auflieger erfolgte mit nahezu 20° im Bereich des ursprünglichen Anprallpunkts. Das Zugfahrzeug kippte weiter in Richtung der Schutzbarriere, Untersetzachse und Auflieger wurden durch die Umlenkung der Untersetzachse parallel zur Schutzbarriere ausgerichtet. Durch den anprallbedingten Geschwindigkeitsabbau oder das mechanische „Lösen“ wurde die geschwindigkeitsgeregelte Arretierung der Untersetzachse gelöst, sodass die Deichsel einlenken konnte und auch die Räder der Untersetzachse gelenkt wurden. Der Auflieger neigte sich anprallbedingt nach links. Durch das Überfahren der weggeknickten Schutzbarriere kam es zu einem Anheben des gesamten Aufliegers und Aufprall der Ladeflächenunterseite auf den oberen Profilholm der zweiten Schutzbarriere. Das Zugfahrzeug stürzte nach Verlassen der Schutzbarriere komplett auf die linke Seite, wie in Abbildung 8 zu sehen ist.



Abbildung 8 Kompletter Umsturz des Zugfahrzeugs auf die Fahrbahn, Aufsitzen des Aufliegers auf dem oberen Kastenprofil der dem Gegenverkehr zugewandten Schutzbarriere

Die Untersetzachse und der Auflieger gerieten in eine starke Kippneigung nach links. Diese wurde durch das Auffahren des rechten Teils der Untersetzachse auf die erste Schutzbarriere unterstützt. Das Umkippen wurde anfänglich durch die parallel aufgebaute zweite Schutzbarriere verhindert. Durch das Wegknicken des umgestürzten LKWs wurden Untersetzachse und Auflieger von der zweiten Schutzbarriere weggelenkt. Der zunehmenden Kippneigung wirkte das entgegengerichtete Moment der Deichsel entgegen. Hier war durch das umsturzbedingte Verdrehen der Anhängerkupplung des Zugfahrzeugs eine Stabilisierung gegeben. Zusätzlich wurden Untersetzachse und Auflieger zentral auf die Schutzbarriere gelenkt, wodurch das einseitige Anheben unterbunden wurde. Die Untersetzachse und der Auflieger kippten zurück auf alle Räder, wie Abbildung 9 zeigt.



Abbildung 9 Zunehmende Kippneigung des Aufliegers mit Abstützung auf der abgewandten Schutzbarriere

Der jack-knifing-Effekt blieb bestehen, das Prüffahrzeug erreichte seine Endlage mit dem umgestürzten Zugfahrzeug und dem auf der Schutzeinrichtung stehenden Auflieger. Es kam zu keinem Ablösen eines der drei Fahrzeugteile.

Ergebnis des Anprallversuchs

Die stärksten Beschädigungen an der anprallseitigen ersten Reihe der Schutzeinrichtung befinden sich in dem Bereich ca. 24 m bis 88 m nach Beginn der Schutzeinrichtung. Alle Stahlelemente der Schutzeinrichtungen weisen starke Beschädigungen in Form von Deformationen und Teilanrissen auf. Teilweise sind Verbindungen zwischen ursprünglich vertikalen und horizontalen Elementen gelöst. Der als Bodenverankerung eingesetzte Doppel-T-Träger wurde bei der am Beginn der Schutzeinrichtung verbauten Absenkung infolge des Anpralls ca. 15 cm in Anprall-Längsrichtung verschoben. Abbildung 10 zeigt einen Überblick über die Schäden.



Abbildung 10 Beschädigte Schutzeinrichtung

Die zweite Schutzeinrichtungsreihe weist ebenso Beschädigungen über eine Länge von 16 m, ca. 40 m bis 56 m nach Beginn der Schutzeinrichtung in Anfahrtrichtung auf.

Die horizontalen Elemente beider Schutzeinrichtungsreihen sind nicht durchgerissen.

Das Prüffahrzeug hat die zweireihig aufgestellte Schutzeinrichtung aus Stahl nicht durchbrochen. Die Hauptlängselemente (hier: Holme) sind intakt. Das Prüffahrzeug wurde so zurückgeleitet, dass eine eventuelle Gefährdung des Gegenverkehrs verhindert wird.

Die Fahrzeugteile (Zugfahrzeug, Dolly und Sattelanhänger) wurden durch den Anprall nicht voneinander getrennt, allerdings sind Teile der Fahrzeugkombination nach dem Anprall auf die Seite gefallen. Abbildung 11 zeigt die Endlage des Prüffahrzeugs.

Verglichen mit anderen bei DEKRA durchgeführten TB 81-Crashtests gegen Stahlschutzeinrichtungen zeigte sich, dass der geringere Rotationswider-

stand der Fahrzeugverbindung ein Mitreißen des Aufliegers durch das umstürzende Zugfahrzeug verhinderte.

Die bei schnelleren Fahrten stabilisierend wirkende Aussteifung der lenkbaren Untersetzachse steht bei einem Anprall nicht mehr zur Verfügung. Die Aussteifung wurde kollisionsbedingt außer Kraft gesetzt.



Abbildung 11 Endlage des Prüffahrzeugs

Die Stahlschutzeinrichtung zeigt keinen Verlust von Bruchstücken > 2 kg durch den Anprall. Es drangen keine Teile der Schutzeinrichtung in den Fahrzeuginnenraum ein. Die Fahrerkabinen waren weitestgehend intakt.

Die Schutzeinrichtung aus Stahl hat den Lang-Lkw vom Typ 3 unter Mitwirkung beider Reihen aufgehalten. Es sind deutliche Schäden durch den Anprall an beiden Schutzeinrichtungsreihen zu erkennen.

Alle in der EN 1317 gestellten Anforderungen für eine konventionelle Anprallprüfung TB 81 zur Bestimmung der Leistungsdaten wurden bis auf das umgekippte Fahrzeugteil eingehalten.

Schlussfolgerungen

Der Anprallversuch hat gezeigt, dass der 38 t-schwere Lang-Lkw vom Typ 3 die zweireihig aufgestellte Schutzeinrichtung aus Stahl der höchsten Aufhaltstufe H4b, die für einen Anprall eines 38 t-Sattelkraftfahrzeugs konzipiert wurde, nicht durchbrochen hat. Unter verhindertem „Durchbruch“ ist hier zu verstehen, dass die Schutzeinrichtung das Fahrzeug ohne vollständigen Bruch eines der Hauptlängselemente (hier: Holme) aufgehalten und den Lang-Lkw so zurückgeleitet hat, dass eine eventuelle Gefährdung des Gegenverkehrs verhindert wird.

Die Stahlschutzwand zeigte in zweireihiger Aufstellung ein ausreichendes Schutzpotenzial beim Anprall des gewählten Lang-Lkw-Typs. Trotz des hohen Schwerpunkts aufgrund der hier abwei-

chend zu den Vorgaben in den EN 1317 gewählten Ladungsverteilung kam es zu keinem vollständigen Überfahren oder vollständigen Überkippen über die Schutzeinrichtung.

Die Stahlschutzeinrichtung zeigte ein ausreichendes Schutzpotenzial beim Anprall des gewählten Lang-Lkw-Typs. Durch das Wegknicken der Schutzeinrichtung bildet sich für nachgeführte Fahrzeugteile eine Auffahrrampe bei gleichzeitig fehlender Kontaktfläche für eine Rückhaltung. Es kann daher allein aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse ohne weiteren Aufwand keine für alle Lang-Lkw Typen geltende Aussage getroffen werden, ob eine Rückhaltung erfolgt oder nicht. Dies gilt ebenso für eine Übertragung der Ergebnisse hinsichtlich anderer Einsatzorte der Schutzeinrichtung aus Stahl.

Die Fahrzeugteile (Zugfahrzeug, Dolly und Sattelanhänger) wurden durch den Anprall nicht voneinander getrennt, allerdings sind Teile der Fahrzeugkombination nach dem Anprall auf die Seite gefallen. In einer konventionellen Anprallprüfung zur Bestimmung der Leistungsdaten gemäß EN 1317 wird dieses Verhalten angesprochen: die Prüffahrzeuge dürfen nicht auf die Seite fallen oder sich überschlagen. Dieser Aspekt soll sinnvollerweise u.a. die Gefahren für den nachfolgenden Verkehr im Falle eines Unfalls reduzieren. Die Prüfnorm EN 1317 berücksichtigt allerdings aktuell mehrgliedrige Fahrzeugkombinationen in ihren Prüfvorschriften nicht. Das beobachtete Fahrzeugverhalten ist dementsprechend sicherlich als ungünstig, aber nicht als Ausschlusskriterium zu bewerten.

