

Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen

FA 3.318

Forschungsstelle: DEKRA Automobil AG, Stuttgart
Bearbeiter: Berg, A. / Bürkle, H.
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
Abschluss: Juni 2000

1. Ausgangslage und Aufgabenstellung

Im Motorrad-Unfallgeschehen ist der Anprall an Stahlschutzplanken als Unfallablauf erkannt worden, der mit schwersten und tödlichen Verletzungen einhergehen kann. Solche Unfälle finden zum Beispiel bei Alleinunfällen mit Sturz auf die Fahrbahn statt. Dabei resultieren die maßgebenden Verletzungen meist nicht aus dem Sturz selbst, sondern vom späteren Anprall des rutschenden Aufsassen am Schutzplankenpfosten. Weiterhin kommt es vor, dass der Aufsasse zunächst mit dem Körper unter der Stahlschutzplanke hindurchrutscht und dann mit dem

behelmten Kopf darunter hängen bleibt. Derartige Verletzungsrisiken sind offensichtlich bei der Entwicklung von passiven Schutzeinrichtungen im Hinblick auf deren primäre Schutzfunktion für Lkw und Pkw noch nicht hinreichend berücksichtigt worden. Die bestehenden Stahl- und Betonsysteme sind konstruktiv relativ stabil und steif für Pkw- und Lkw-Kollisionen ausgelegt. Ein Motorradanprall kann deshalb für den Aufsassen tödlich sein oder mit einem großen Verletzungsausmaß einhergehen.

Um die geschilderten Gefahren für Motorradaufsassen zu verringern, wurden als technische Lösungen ein zweiter untergehängter Holm, Änderungen des Querschnittsprofils der Pfosten und Ummantelungen der Pfosten vorgeschlagen. Die Überarbeitung der „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen“ weist seit 1989 auf solche Ummantelungen hin. Technische Lieferbedingungen für Schutzplankenpfostenummantelungen (SPU) hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Juni 1993 vorgelegt. An den Rändern von Straßen mit entsprechend gefährdeten Bereichen sind insbesondere ältere I-Profile der

Schutzplankepfosten häufig mit SPU nachgerüstet worden. Die Verwendung von SPU ist jedoch mehr eine Sofort- und Übergangsmaßnahme. Längerfristig sollten bei neuen Entwicklungen passiver Schutzeinrichtungen die Anforderungen im Hinblick auf die Sicherheit anprallender Motorradfahrern von vornherein berücksichtigt werden.

Interessant ist auch der Anprall von Motorrädern an Betonschutzwänden. Untersuchungen darüber, ob Betonschutzwände oder Stahlschutzsysteme weniger gefährlich für anprallende Motorradfahrer sind, wurden bisher nicht durchgeführt. Dementsprechend liegen derzeit noch keine wissenschaftlich abgesicherten Erkenntnisse dazu vor, welches der beiden Systeme für den Motorradaufsassen verletzungsärmer ist. Hierbei ist vor allem interessant, welche Formen und Konstruktionen von verschiedenen Schutzeinrichtungen unabhängig von deren Werkstoff zu besseren Ergebnissen führen.

Über das gesamte Unfallgeschehen mit Anprall von Motorradfahrern an passiven Schutzeinrichtungen liegen bisher relativ wenig Erkenntnisse vor. Es handelt sich hierbei offensichtlich um Einzelfälle, die unter Umständen durch einfache Verbesserungen an den Schutzeinrichtungen hätten vermieden werden können. Aus der veröffentlichten amtlichen Statistik über Straßenverkehrsunfälle können keine Fälle herausgefiltert werden, bei denen ein Kontakt des Motorrades oder der Aufsassen mit der Schutzeinrichtung stattfand. Um hierzu aus dem realen Unfallgeschehen weitere Erkenntnisse zu erhalten, ist es deshalb notwendig, besondere Erhebungen durchzuführen.

Hauptaufgabe des Projektes war die Durchführung von Anprallversuchen mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen.

Da bisher noch keine Erkenntnisse über derartige Kollisionen an in Deutschland eingesetzten Systemen vorlagen, waren verschiedene Arten mit offenen und geschlossenen Formen zu untersuchen. Vorbereitend war eine Sammlung von Erkenntnissen über die Anprallsituationen von Motorrädern und deren Aufsassen bei realen Unfällen hinsichtlich Anpralldynamik und Verletzungsrisiko zu erstellen.

Zur Durchführung der experimentellen Versuche mit konventionellen Schutzsystemen hatte die BAST bereits Vorschläge der Versuchsanordnungen erarbeitet, welche den typischen Unfallsituationen von Motorradfahrern entsprechen. Darauf aufbauend waren die endgültigen Versuche und ihre Parameter zu definieren. Aus den Ergebnissen der durchzuführenden Versuche sollten konstruktive Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden. Diese waren mit einem modifizierten System konkret umzusetzen und unter gleichen Bedingungen wie die konventionellen Systeme zu testen. Darüber hinaus sollten aus dem Projekt weitere Vorschläge zur Verbesserung von passiven Schutzeinrichtungen im Hinblick auf den Anprall von Motorrädern und Motorradaufsassen resultieren.

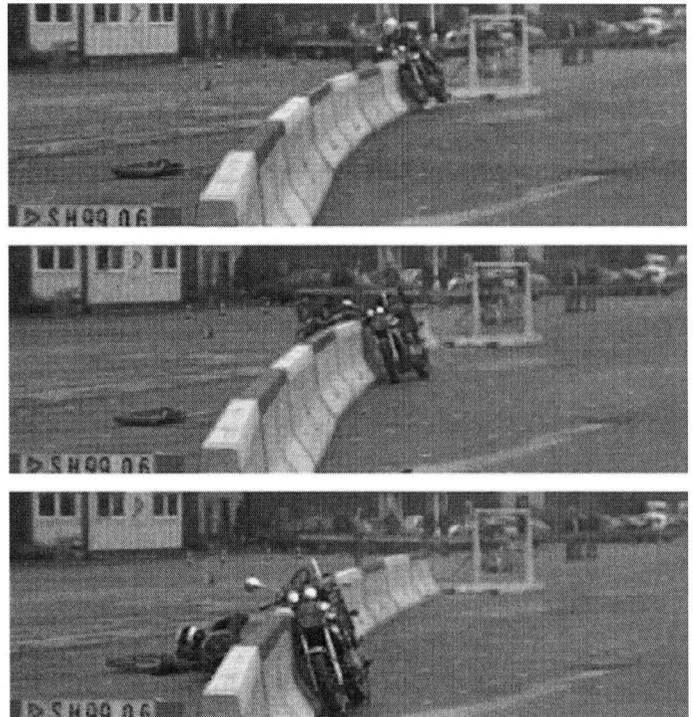
2. Untersuchungsmethodik

Zur Abwicklung des Projektes wurden insgesamt sechs experimentelle Untersuchungen des Anpralles von Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen durchgeführt. Den Motorradaufsassen repräsentierte dabei ein in Kopf, Hals, Brust, Becken und Oberschenkeln instrumentierter Dummy Hybrid III (50th percentile male, stehende Puppe).

2.1 Versuchsanordnungen

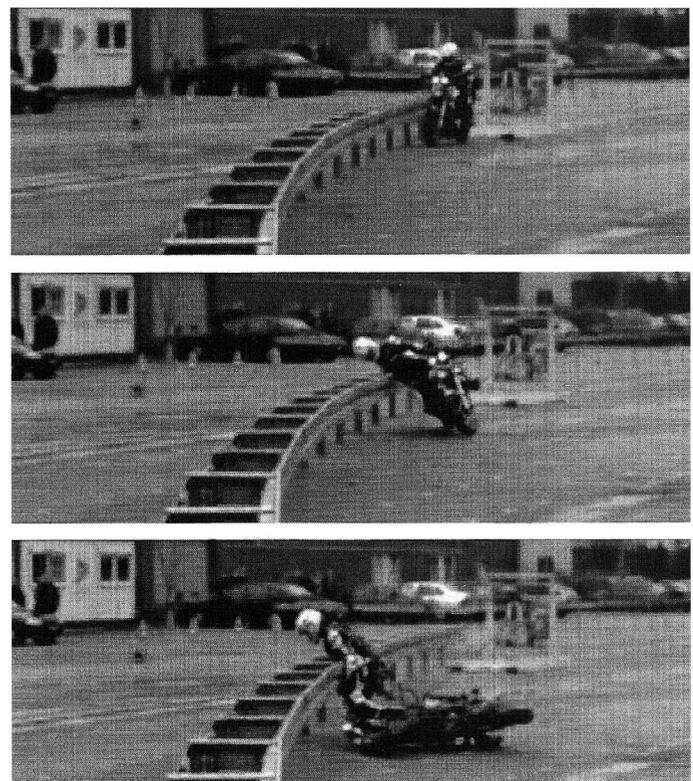
Aufbauend auf den Vorschlägen der BAST sind zunächst drei Versuchskonstellationen mit insgesamt sechs einzelnen Versuchen beschrieben und im Detail erörtert worden. Aus der Literatur und vorhandenen Fallsammlungen von DEKRA sowie der Medizinischen Hochschule Hannover wurden bereits vorhandene Erkenntnisse ergänzt, um so die vorläufig festgelegten Konstellationen weiter abzusichern bzw. zu modifizieren.

Es waren zunächst vier Anprallversuche gegen konventionelle passive Schutzeinrichtungen aus Beton und Stahl vorgegeben. Als Betonschutzeinrichtung kamen bei Ausführung der Versuche Betonschutzwand-Fertigteile mit einseitigem New-Jersey-Profil zum Einsatz. Im anprallrelevanten Bereich betrug die Höhe der Betonschutzwand-Elemente $H = 81$ cm, Bild 1.

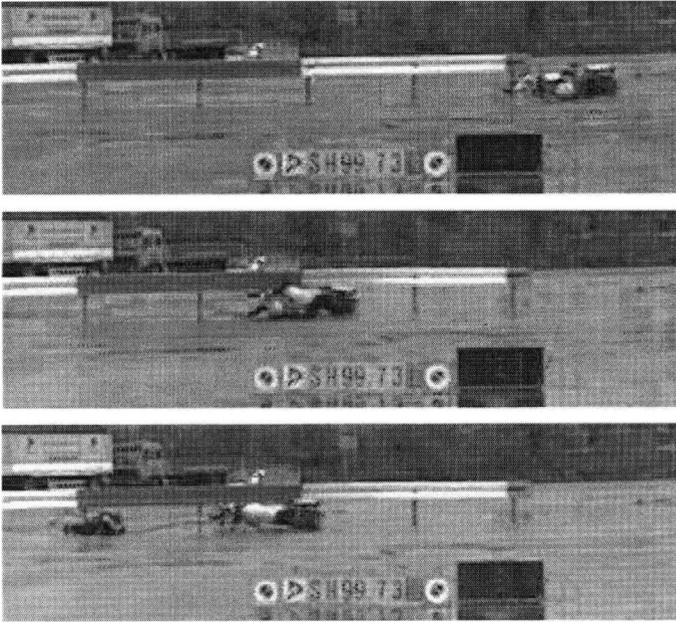


1: Aufrechter Anprall an Betonschutzwand

Als konventionelle Stahlschutzsysteme wurden eine einfache Distanzschutzplanke, Bild 2, und eine Stahlschutzplanke, Bild 3, Pfostenabstand jeweils 2,0 m, verwendet.



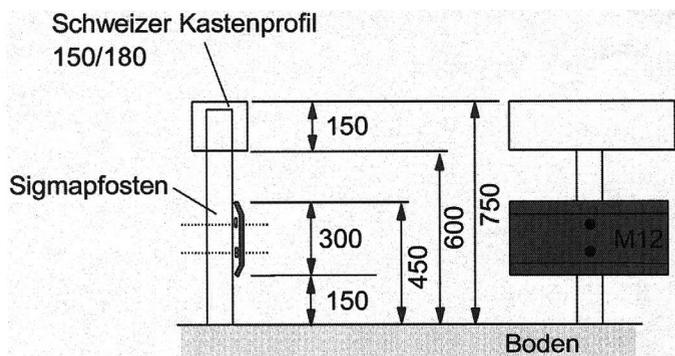
2: Aufrechter Anprall an einfacher Distanzschutzplanke



3: Liegender Anprall an Stahlschutzplanke

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den ersten vier Versuchen ist eine modifizierte Schutzeinrichtung aus Stahl entworfen worden. Deren Basis bildet ein sogenanntes „Schweizer Kastenprofil“.

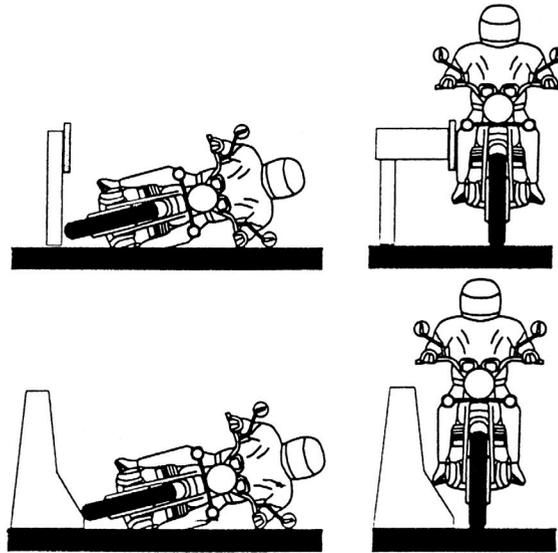
Ergänzend wurde ein Unterzug aus Stahlblech angebaut, Bild 4. Bei allen sechs Versuchen kamen neue Mittelklasse-Motorräder gleichen Typs (Hubraum 500 cm³, Gewicht 180 bis 220 kg, unverkleidet, Normalausführung, d.h. kein Boxermotor) zum Einsatz.



4: Modifiziertes Schutzsystem aus Stahl auf Basis des Schweizer Kastenprofils

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte mit einer am Motorrad montierten miniaturisierten Messdatenaufzeichnung (MINDAU). Zur Dokumentation der Bewegungsabläufe und Anprallereignisse sind drei High-Speed-Kameras mit horizontaler Aufnahme-richtung und eine High-Speed-Kamera mit orthogonaler Draufsicht eingesetzt worden. Die Verwendung von zwei High-Speed-Farbvideosystemen (KODAK-RO) ermöglichte erste Analysen direkt nach Durchführung eines Versuches. Zur Beschleunigung sowie zur aufrechten und zur geneigten Führung des Motorrads mit darauf sitzendem Dummy ist ein Schlitten verwendet worden.

Die bei den Versuchen realisierten Anprallkonstellationen sind in Bild 5 zusammengestellt.



5: Übersicht der Anprallkonstellationen

2.2 Durchführung der Versuche

Die Versuche sind in vier Etappen durchgeführt worden:

1. Vorversuche,
2. Zwei Versuche mit aufrechtem Motorrad (Anprall an Beton-schutzwand und Stahlschutzplanke),
3. Zwei Versuche mit Schutzwand und Stahlschutzplanke,
4. Zwei Versuche an das modifizierte Schutzsystem mit aufrechtem Motorrad und in Schrägstellung.

Jeweils vor Beginn der nächsten Versuchsetappe wurden die Protokolle und Dokumentationen der Versuche in einem begleitenden Expertenkreis diskutiert.

3. Untersuchungsergebnisse

Zu den bei allen sechs Versuchen im Motorradfahrer-Dummy beim Anprall am Schutzsystem gemessenen Belastungen gibt Tabelle 1 einen Überblick.

3.1 Versuche mit aufrechtem Motorrad

3.1.1 Erstanprall

Bei den Versuchen mit aufrechtem Motorrad lagen die im Dummy gemessenen Belastungen durchweg deutlich unter den zugehörigen biomechanischen Grenzwerten. Dies war sowohl beim Anprall am modifizierten Schutzsystem als auch beim Anprall an den beiden konventionellen Systemen der Fall. Somit sind hier die Wahrscheinlichkeiten von irreversiblen oder gar lebensbedrohenden Verletzungen an Kopf, Brust und Becken sowie durch Druckkräfte verursachte Verletzungen der Oberschenkelknochen gering.

Weitere Beurteilungen des Verletzungsrisikos ergeben sich aus der Analyse der Dummybewegung und zugehöriger Anprallkontakte. Bei allen drei Tests mit aufrecht fahrendem Motorrad wurde der Dummy auf die passive Schutzeinrichtung geschleudert. Im weiteren Bewegungsablauf glitt er dann über die Beton-

schutzwand und das Kastenprofil hinweg. An der Distanzschuttplanke verhakte sich der Dummy in den hier vorhandenen Zwischenräumen. Dies kann im realen Unfallgeschehen zu schweren Verletzungen führen und ist daher als bedenklich einzustufen.

Eine erhöhte Druckkraft im Oberschenkel des Dummys beim Anprall am modifizierten System war auf ein hervorstehendes Teil der Verschraubung des Kastenprofils zurückzuführen. Konstruktive Änderungen wie versenkte Schrauben würden hier zu deutlichen Verbesserungen führen. Ansonsten zeigte das modifizierte System die niedrigsten aller gemessenen Dummybelastungen beim Erstanprall.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Verletzungsrisiko für die Motorradfahrer bei einem aufrechten Anprall des Motorrads an der modifizierten Schutzeinrichtung als gering einzustufen ist. Von der Betonschutzwand gehen bei dieser Bewegungsart ebenfalls geringe Verletzungsgefahren für Motorradfahrer aus. Die oben offene Konstruktion der Stahlschuttplanke hingegen birgt entsprechende Verletzungsgefahren für den anprallenden und darübergleitenden Motorradfahrer.

3.1.2 Fahrbahn-Kontakt

Im Verlauf der Dummybewegungen über die Betonschutzwand und das Schweizer Kastenprofil hinweg war kein wesentlicher Unterschied zu erkennen. Bei beiden Schutzsystemen ist das Profil im relevanten oberen Bereich geschlossen. Beim Schweizer Kastenprofil gelangte der Dummy aus einer geringfügig niedrigeren Höhe auf die Fahrbahn als bei der Betonschutzwand. Damit sind die beim Aufprall des behelmten Kopfes auf der Fahrbahn gemessenen Kopfverzögerungen von 36 g (Kastenprofil) bzw. 47 g (Betonschutzwand) in Einklang. Dafür ist jedoch nicht nur die Höhendifferenz beider Schutzsysteme ursächlich, sondern es haben auch weitere Details im Bewegungsablauf wie der Kopfaufprallwinkel und der Betrag der Kopfaufprallgeschwindigkeit einen Einfluss.

Die beim Aufprall des Dummys auf der Fahrbahn gemessenen Belastungswerte sind nur eingeschränkt interpretierbar. Diese finden im realen Straßenverkehr meist nicht auf Beton oder Asphalt sondern in angrenzenden Bereichen mit Grasbewuchs, Steinen oder Ähnlichem statt. Zudem verhält sich ein aktiver Mensch in dieser Phase des Unfallgeschehens anders als ein passiver Dummy. Beim Versuch mit dem neuen System wurden während des Anpralls auf der Fahrbahn die höchsten Oberschenkelkräfte mit einer Druckkraft von bis zu 9,3 kN gemessen. Dies ist auf die ungünstige Landung des Dummys zurückzuführen, auf den Menschen aber nur bedingt übertragbar und versuchstechnisch nicht reproduzierbar.

3.2 Versuche mit rutschendem Motorrad

3.2.1 Fahrbahn-Kontakt

Die kippende Bewegung des Motorrads nach dem Verlassen der Lafette war reproduzierbar. Der Kopfanprall des nach unten kippenden Dummys lag bei allen Versuchen nahezu an der selben Stelle auf dem Asphalt (Abweichung $\pm 0,1$ m). Diesbezüglich waren gute Voraussetzungen für eine vergleichende Diskussion der Bewegungsabläufe und die Übertragung der Ergebnisse auf die anderen Systeme möglich.

Die Belastungen beim Erstanprall des Dummys auf die Fahrbahn sind jedoch für die Beurteilung der Schutzwirkung der getesteten Systeme von untergeordneter Bedeutung, da diese Messwerte nicht im unmittelbaren Zusammenhang zu den Interaktionen beim Anprall an der passiven Schutzeinrichtung stehen.

3.2.2 Erstanprall an der Schutzeinrichtung

Beim Versuch mit der einfachen Stahlschuttplanke prallte das Motorrad direkt an einen Pfosten und wurde dabei stark abgebremst. Der Dummy trennte sich im weiteren Ablauf vom Motorrad und kollidierte kurz danach ebenfalls mit einem Pfosten der Schutzeinrichtung. Hierbei wurden 57 g als 3-ms-Verzögerungswert im Becken gemessen. Dieser Wert liegt knapp unterhalb des zugehörigen biomechanischen Grenzwertes 60 g. Im Brustsensor lag die gemessene Anprallverzögerung mit 39 g deutlich darunter, ist jedoch noch als erhöhte, nicht als kritische Belastung im Hinblick auf irreversible Verletzungen zu werten. Verletzungen durch den Pfostenanprall sind vor allem im Schulter-, Brust- und Beckenbereich zu erwarten. Ein beim Versuch gebrochenes Schultergelenk des Dummys weist auf die Schwere des Anstoßes mit einem zugehörigen hohen Verletzungsrisiko hin. Als positiv kann das Verhaken des Motorrads nach dem Erstanprall an der einfachen Stahlschuttplanke bewertet werden. Hierdurch wurde der Rückprall auf die Fahrbahn mit den zugehörigen Gefahren vermieden.

Beim Versuch mit liegendem Anstoß an der Betonschutzwand sind keine erhöhten oder gar nahe an den zugehörigen biomechanischen Grenzwerten liegenden Belastungen des Dummys gemessen worden. Problematisch war bei diesem Versuch die fehlende Trennung von Motorrad und Dummy. Der Dummy verhakte sich im weiteren Bewegungsablauf unter dem Motorrad und wurde bis in die gemeinsame Endlage mitbefördert. Da die Betonschutzwand durch den Anprall weder beschädigt noch deformiert werden konnte, war bei den gegebenen Bedingungen eine Trennung von Motorrad und Aufsasse von vornherein sehr unwahrscheinlich. In der Gesamtbewertung erscheint dieser Anprall an der Betonschutzwand trotz der für den Fahrer gefährlichen Bewegung in die Endlage mit weniger hohen Risiken verbunden zu sein als der Anprall an einem nichtummantelten Pfosten der Stahlschuttplanke.

Die Kombination aus einer Stahlschuttplanke in der Ausführung Schweizer Kastenprofil und einem Stahlunterzug zeigte nahezu alle gewünschten positiven Effekte. Die Trennung von Motorrad und Dummy konnte erreicht werden, und das Motorrad hatte keine Restenergie, um auf die Fahrbahn zurückgeschleudert zu werden. Es fand kein gefährlicher Dummyanprall am Pfosten, sondern ein Abgleiten am System statt. Durch den relativ weichen Stahlunterzug blieben alle Messwerte weit unterhalb der biomechanischen Grenzwerte. Obwohl im Test der Dummy mit dem Kopf direkt an den Stahlunterzug prallte (sogenannter „worst case“), blieb die dabei im Kopf gemessene Verzögerung mit 43 g auf einem mittleren Niveau.

Alle Anprallkonstellationen, die Messgrößen und die dabei gemessenen Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt (siehe folgende Seite).

4. Folgerungen für die Praxis

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch das modifizierte System aus Schweizer Kastenprofil und Stahlunterzug ein deutliches Verbesserungspotenzial der Anprallsituation mit aufrechten und rutschendem Motorrad aufgezeigt wurde und teilweise bereits ausgeschöpft werden konnte. Schwerwiegende Verletzungen lassen sich mit einem derartigen System weitgehend vermeiden.

Sinnvoll wäre bei einer Weiterentwicklung noch eine Verbesserung im oberen Bereich des Schutzsystems.

Tabelle 1: Übersicht der Messwerte

	SH 99.05 aufrecht, ohne Überflug	SH 99.06 aufrecht, Überflug	SH 99.80 aufrecht, Überflug	SH 99.73 rutschend Verhakung	SH 99.74 rutschend ohne Verhakung	SH 99.79 rutschend Verhakung	
Messgröße	Erstanprall an Distanzschutz- planke	Erstanprall an Betonschutz- wand	Erstanprall an Kastenprofil mit Stahlunterzug	Erstanprall an Stahlschutz- planke	Erstanprall an Betonschutz- wand	Erstanprall an Kastenprofil mit Stahlunterzug	Biomechanischer Grenzwert / Filterklasse
Resultierende Kopfbeschleunigung 3 ms-Wert	8,6 g	3,2 g	3,1 g	27,5 g	7,5 g	43,2 g	80 g über 3ms CFC 1000
HIC	4	0	1	66	1	83	1000 CFC 1000
Halsbiegemoment Mby	-14,5 Nm 20,7 Nm	-11,4 Nm 5,7 Nm	-7,7 Nm 2,7 Nm	-23,0 Nm 12,3 Nm	-6,9 Nm 7,7 Nm	-20,3 Nm 12,1 Nm	max. Retroflexion 57 Nm, CFC 600
Resultierende Brustbeschleunigung 3 ms-Wert	13,1 g	3,7 g	2,9 g	39,3 g	3,6 g	9,8 g q	60 g über 3ms CFC 180
Brustdeflektion	21,6 mm	-0,6 mm	1,7 mm	6,6 mm	6,7 mm	15,5 mm	50,8 mm CFC 180
SI	2	1	2	489	1	3	1000 CFC 180
Resultierende Beckenbeschleunigung 3-ms-Wert	6,6 g	10,7 g	9,4 g	57,1 g	3,9 g	11,2 g	60 g über 3ms CFC 180
Obenschenkelkraft rechts	-2,6 kN 0,3 kN	-4,5 kN 0,0 kN	-6,0 kN 0,2 kN	-2,4 kN 1,0 kN	0,0 kN 0,4 kN	-3,6 kN 1,5 kN	10,0 kN CFC 600

Ziel sollte dabei sein, beim aufrechten Anprall des Motorrads ein Schleudern des Aufsassen über das Schutzsystem zu verhindern. Allerdings darf dies nicht zu einem Rückprall von Motorrad und Aufsassen auf die anstoßzugewandte Fahrbahn führen.

Ebenfalls zu verbessern ist das Deformationsverhalten des Stahlunterzuges, um hier die Gefahr von möglichen Schnittverletzungen zu mindern. Wie bereits erwähnt, ist außerdem die obere Verschraubung zwischen Kastenprofil und Pfosten zu optimieren, z. B. durch Verwendung von Senkkopfschrauben.

Abschließend und zusammenfassend ist festzustellen, dass das Verletzungsrisiko für die Motorrad Aufsassen bei einem aufrechten und bei einem rutschenden Anprall an das modifizierte Schutzsystem als deutlich geringer einzustufen ist, als dies unter vergleichbaren Bedingungen beim Anprall an den beiden anderen getesteten konventionellen Schutzsystemen der Fall war. □