

Qualifizierung der in Deutschland verwendeten Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit verbessertem Schutz für Motorradfahrer nach den aktuellen europäischen Spezifikationen

3.516

Forschungsstelle: DEKRA Automobil GmbH, Technology Center, Stuttgart
 Bearbeiter: Gärtner, M. / Klöckner, R.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn
 Abschluss: November 2020

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

In Deutschland kommen an exponierten Stellen sowie an bei Motorradfahrern beliebten Strecken seit längerem auf den Anprall von Motorradfahrern hin optimierte Schutzeinrichtungen zum Einsatz. Damit sollen insbesondere das Hindurchrutschen unter den Schutzplankenholmen oder der Anprall gegen die Pfosten verhindert werden. Mangels nationaler und internationaler Standards zur Prüfung solcher Unterfahrschutzsysteme in der Vergangenheit wurden die verwendeten Systeme bisher nach einem eigens definierten Verfahren getestet. Seit Veröffentlichung der Technischen Spezifikation CEN/TS 1317-8:2012 existiert eine Technische Regel, die zumindest den rutschenden Anprall von Motorradfahrern abdeckt. Inwieweit die darin enthaltenen Prüfkriterien von den in Deutschland verbauten Systemen erfüllt werden, ist bislang nicht bekannt.

Ziel des Forschungsprojekts ist es, die verwendeten Zusatzkonstruktionen an der Einfachen Stahlschutzplanke (ESP) dahingehend zu bewerten, ob ein Bestehen moderner Tests nach CEN/TS 1317-8:2012 realistisch ist, beziehungsweise welche Modifikationen zum Bestehen erforderlich sind.

2 Bereits durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz

In Deutschland wurden Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen überwiegend in Forschungsprojekten der BASt durchgeführt. Hierzu zählen die Projekte FE 03.318, FE 03.345 und FE 03.379.

In einer umfangreichen Internetrecherche wurden zusätzlich Motorradfahrerschutzsysteme aus dem europäischen Ausland identifiziert und ausgewertet. Schwerpunkt der Suche war das europäische Ausland, da in diesem Bereich Prüfungen überwiegend nach der technischen Spezifikation TS 1317-8 beziehungsweise der sehr ähnlichen spanischen Prüfnorm UNE 135900 durchgeführt werden.

Die überwiegende Anzahl der Prüfungen wurde an Stahlschutzeinrichtungen durchgeführt, die ein Distanzstück zwischen Pfosten und Holm aufweisen, also mehr dem Querschnitt einer EDSP als dem einer ESP ähneln. Da der Unterfahrschutz unterhalb des Holms angebracht wird, hat dieser einen Abstand

zum Pfosten. Dieser Leerraum zwischen Unterfahrschutz (UFS) und Pfosten wird genutzt, um die Anprallheftigkeit des Dummys zu verringern. Dieser Raum steht aber beim hier zu untersuchenden System ESP-UFS gar nicht zur Verfügung, da es nur an einer ESP eingesetzt werden kann und diese keine Distanzstücke enthält. Entsprechend kann man die konstruktiven Ansätze dieser Konstruktionen nur sehr eingeschränkt für dieses Projekt nutzen.

Insgesamt wurden jedoch hinreichend Hinweise zusammengetragen, dass die Erfolgsaussichten einer Prüfung des UFS der ESP groß genug sind, um die Prüfung im Rahmen dieses Projekts durchzuführen. Es war jedoch auch ersichtlich, dass Modifikationen (zum Beispiel ein Distanzstück) erforderlich sein würde um die Prüfungen zu bestehen.

3 Erste Versuchsreihe

Bild 1 zeigt die modifizierte ESP-UFS, welche bei der ersten Versuchsreihe zum Einsatz kam.

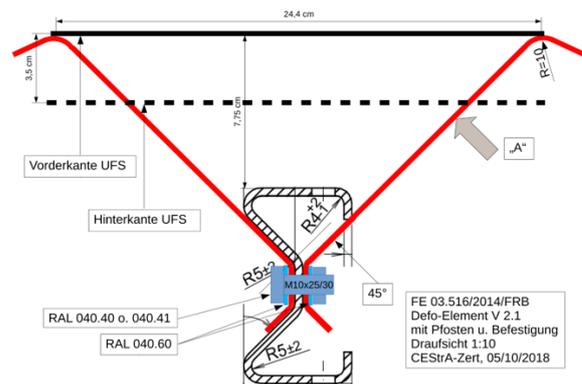


Bild 1: Zweiteiliges Deformationselement (rot) in der Draufsicht, montiert an Sigma-Pfosten der ESP

Bild 2 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung des ersten Anprallversuchs SH 18.58. Als Wandstärke für das Deformationselement (Bild 1, rot) wurden 3 mm gewählt.



Bild 2: ESP 4.0 mit angebrachtem Unterfahrschutz und Deformationselementen

3.1 Versuch SH 18.58

Bild 3 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung des ersten Anprallversuchs auf den Pfosten. Der Dummy prallte mit einer Geschwindigkeit von 61,5 km/h, einem Winkel von 28° an den UFS.



Bild 3: Versuchsanordnung Versuch SH 18.58

3.2 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering, Bild 4. Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung beziehungsweise des MPS und der Dummy saß nicht im Prüfgegenstand fest. Keine Gliedmaße oder Teile von Gliedmaßen hatten sich vollständig vom Dummy gelöst. Es gab keine Riss-, Platz- oder Schnittverletzungen im ATD-Fleisch des Dummies. Die rechte Schulter (anprallseitig) brach.



Bild 4: Endlage des Dummies

Die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten ergab die folgenden Messwerte (Grenzwerte in Klammern):

- HIC_{36} : 414 (650)
- M_{Ock} : 69 NM (134 NM)
- $M_{OCY\text{ Streckung}}$: 27 NM (42 NM)
- $M_{OCY\text{ Beugung}}$: 15 NM (190 NM)
- $F_{OX\text{ MAX}}$: 0,48 kN
- $F_{OZ\text{ Zug MAX}}$: 1,64 kN
- $F_{OZ\text{ Druck MAX}}$: 5,87 kN

Alle diese Werte lagen unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit. Die Hals-Scherkräfte F_x als auch die Hals-Zugkräfte F_z liegen deutlich unter den Grenzwerten.

Anders verhält es sich bei den Druckkräften im Hals. Wie in Bild 5 zu erkennen ist, lag der tatsächliche Wert über beiden Grenzwerten.

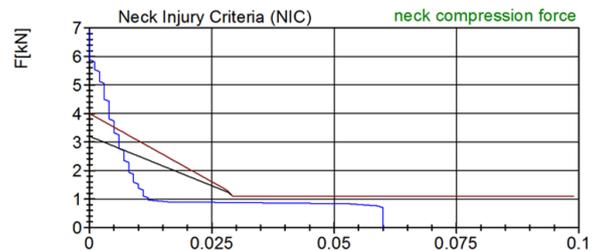


Bild 5: Hals-Druckkräfte $F_{Z\text{ Stauchung}}$

Die Überschreitung des Grenzwerts für die Hals-Druckkraft bedeutete, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung nicht bestanden hatte.

Nach der ersten Sichtung des aufgezeichneten Film- und Messmaterials auf dem Testgelände war der erste Ansatz ein Deformationselement mit geringerer Wandstärke einzusetzen. Da im weiteren Verlauf der Auswertung jedoch neue Unklarheiten entstanden, wurde beschlossen, zuerst eine detaillierte Auswertung des Versuchs zu machen, um dann mit fundierten Erkenntnissen in eine weitere Versuchsreihe zu gehen.

4 Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse des Versuchs SH 18.58

Der Maximalwert der Hals-Stauchung trat schon sehr früh auf. Es erschien möglich, dass die Verformung des Deformationselements und des Aufhängebügels einen Einfluss auf das Messergebnis gehabt hat; es war jedoch unklar, in welchem Ausmaß.

Da die Anzahl der möglichen Versuche limitiert war, entschied man sich gegen eine Versuchswiederholung ohne Deformationselemente. Stattdessen sollte eine Ersatzkonstruktion mit einer reduzierten Wandstärke des Unterfahrschutzes geprüft werden.

4.1 Design und Festlegung des MPS für die zweite Versuchsreihe

Der neue Ansatz war, die Konstruktion eng an das MPS "CMPS 60-2-W03" anzulehnen. Daraus ergaben sich die wesentlichen Merkmale für den UFS:

- Blechstärke 1,5mm
- Relevante Schrauben werden als Rundkopfschrauben ausgeführt

- Keine Neigung des UFS
- Senkrechter Anteil der Front möglichst groß
- Breite gleich wie bei "CMPS 60-2-W03"
- Mittige Längsnut
- Haltebügel zweiteilig
- Stoßverstärker

5 Zweite Versuchsreihe

In Bild 6 ist die Anbringung des neu entwickelten MPS an der ESP 4.0 zu sehen.



Bild 6: Anbringung des UFS mit zweiteiligen Bügeln

5.1 Versuch SH 19.60 (TM 1.60)

Bild 7 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung des ersten Anprallversuchs auf den Pfosten.

Der Dummy prallte mit einer Geschwindigkeit von 64 km/h und unter einem Winkel von 30,3° an den Unterfahrerschutz.

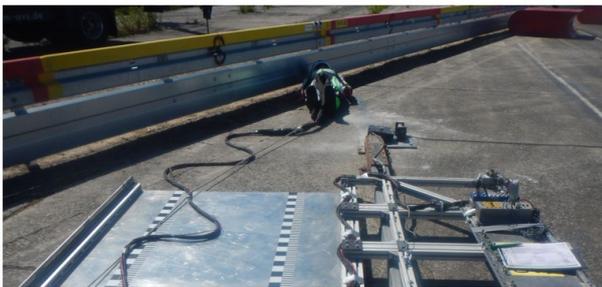


Bild 7: Versuchsanordnung Versuch SH 19.60

5.1.1 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering (Bild 8). Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung beziehungsweise des MPS. Der Dummy saß nicht im Prüfgegenstand fest. Keine Gliedmaße oder Teile von Gliedmaßen hatten sich vollständig vom Dummy gelöst. Es gab keine Riss-, Platz- oder Schnittverletzungen im ATD-Fleisch des Dummys. Die rechte Schulter (anprallseitig) brach erneut.

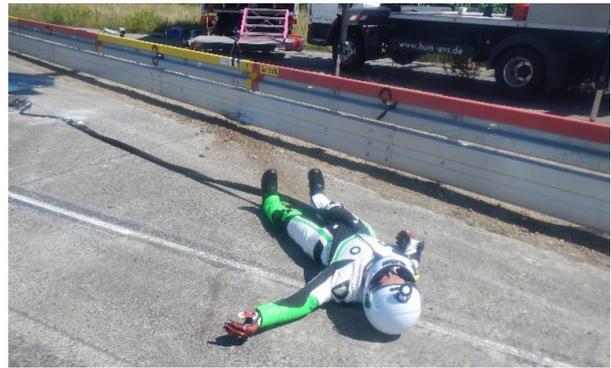


Bild 8: Endlage des Dummys

Die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten ergab die folgenden Messwerte (Grenzwerte in Klammern):

- HIC_{36} : 287 (650)
- M_{Dox} : 117 NM (134 NM)
- $M_{DCY\text{ Streckung}}$: 30 NM (42 NM)
- $M_{DCY\text{ Beugung}}$: 25 NM (190 NM)
- $F_{OX\text{ MAX}}$: 1,01 kN
- $F_{OZ\text{ Zug MAX}}$: 3,35 kN
- $F_{OZ\text{ Druck MAX}}$: 4,73 kN

Alle diese Werte lagen unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit. Die Hals-Scherkräfte F_x lagen deutlich unterhalb der beiden Grenzkurven.

Die Hals-Zugkräfte lagen jedoch sehr nah beziehungsweise über den Grenzwerten, siehe Bild 9 und 10.

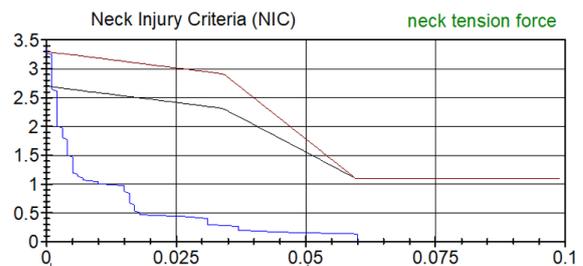


Bild 9: Hals-Zugkräfte $F_{Z\text{ Streckung}}$

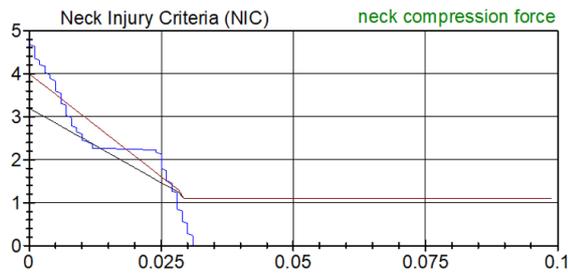


Bild 10: Hals-Druckkräfte F_z Stauchung

Diese Überschreitung der Grenzwerte für die Hals-Druckkraft bedeutete, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung nicht bestanden hatte.

5.2 Versuch SH 19.61 (TM 3.60)

Bild 11 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung des zweiten Anprallversuchs.

Der Dummy prallte mit einer Geschwindigkeit von 60,5 km/h und unter einem Winkel von 31,3° an den Unterfahrschutz.



Bild 11: Versuchsanordnung Versuch SH 19.61

5.2.1 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering, siehe Bild 12. Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung beziehungsweise des MPS. Der Dummy saß nach dem Anprall im Prüfgegenstand fest. Die rechte Schulter (anprallseitig) war gebrochen und der komplette Arm wurde nur noch von der Schutzkleidung gehalten. Es gab Schnittverletzungen im ATD-Fleisch des Dummies.



Bild 12: Endlage des Dummies

Die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten ergab die folgenden Messwerte (Grenzwerte in Klammern):

- HIC₃₆: 334 (650)
- M_{OCX}: 77 NM (134 NM)
- M_{OCY Streckung}: 17 NM (42 NM)
- M_{OCY Beugung}: 16 NM (190 NM)
- F_{OX MAX}: 0,48 kN
- F_{OZ Zug MAX}: 1,3 kN
- F_{OZ Druck MAX}: 5,23 kN

Alle diese Werte lagen unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit. Die Hals-Scherkräfte F_x und die Hals-Zugkräfte F_z lagen deutlich unterhalb der zulässigen Grenzkurven.

Die Hals-Druckkraft (Bild 13) überschritt wiederum die zulässigen Grenzwerte. Diese Überschreitung und auch das Festsitzen des Dummies in der Schutzeinrichtung bedeuteten, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung nicht bestanden hatte.

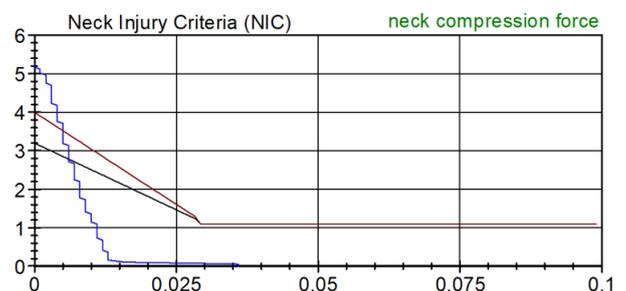


Bild 13: Hals-Druckkräfte F_z Stauchung

6 Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse der zweiten Versuchsreihe

6.1 Auswertung Versuch SH 19.60

Bei der Auswertung des Versuchs SH 19.60 war wiederum der sehr schnelle Anstieg der Hals-Druckkraft zu erkennen. Der

absolute Betrag der Hals-Druckkraft wurde dennoch reduziert. Dies sprach dafür, dass die aus der ersten Versuchsreihe identifizierten und ergriffenen Maßnahmen tendenziell richtig waren.

Ob der Peak durch die neu konstruierten Halter erzeugt wurde, lies sich nicht so leicht beantworten. Ein Einfluss des Halters ließ sich aber aus den Messdaten weder eindeutig bejahen, noch ausschließen.

Bei der weiteren Auswertung der Hals-Druckkräfte fiel auf, dass es eine zweite Grenzwertüberschreitung gab. Vergleicht man die Messdaten mit den Videos in diesem Zeitraum, fällt auf, dass der Wert der Hals-Druckkraft abfällt, wenn der Unterfahrschutz komplett am Pfosten anliegt und sich der Helm vom Unterfahrschutz löst.

Vergleicht man die Hals-Biegemomente um die x-Achse, fällt auf, dass das Hals-Biegemoment bei Versuch SH 19.60 höher und länger ausfällt. Dies könnte der höheren Blechstärke und den Deformationselementen aus Versuch SH 18.58 geschuldet gewesen sein. Wenn diese die Eindringung des anprallenden Kopfes verringern, wird der Dummy-Kopf schneller umgelenkt, löst sich schneller vom UFS und die seitliche Kraft auf den Kopf entfällt. Bei einem Anprall an einem "weicheren" Unterfahrschutz kann der Helm länger in Kontakt mit dem Unterfahrschutz verbleiben.

Dies, und die Tatsache, dass der Anprall des UFS an den Pfosten eine untergeordnete Rolle bei den Dummy-Belastungen spielt, sprachen dafür, dass Deformationselemente nicht notwendig sind.

Fasst man die identifizierten Punkte zusammen, lassen sich die die Messergebnisse wie folgt interpretieren:

- Der erste Peak wird vermutlich alleine durch die Massenträgheit und Biegesteifigkeit des Unterfahrschutzes generiert.
- Die Halter könnten einen Einfluss haben.
- Die generierte Druckkraft auf den Hals durch die "Deformationsarbeit" des Unterfahrschutzes ist ausreichend gering.

6.2 Auswertung Versuch SH 19.61

Der Kurvenverlauf der Hals-Druckkraft F_z ist bei beiden Versuchen mit Anprall am Pfosten (SH 18.58 und SH 19.60) vom Verlauf sehr ähnlich. Der Betrag der Hals-Druckkraft ist bei Versuch SH 19.61 jedoch höher. Dies liegt vermutlich mit daran, dass im Bereich des Anprallpunkts die Masse des Unterfahrschutzes durch den eingebrachten Stoßverstärker und die Befestigungsschrauben höher ist. Diese Komponenten führten zu einer erhöhten Massenträgheit der Konstruktion im Anprallbereich.

Eine signifikante Änderung der beiden Verläufe ergab sich durch den Anprall des Unterfahrschutzes am Pfosten. Während der Wert für die Hals-Druckkraft bei dem Versuch zwischen den Pfosten (SH 19.61) stark abnahm, nahm er beim Anprall auf den Pfosten (SH 19.60) nur gering ab und blieb auf einem Wert, der zu einer zusätzlichen Überschreitung des Grenzwerts im weiteren Verlauf führte. Diese anhaltend höheren Werte kamen vermutlich vom Kontakt des Helms mit dem Unterfahrschutz und der damit verbundenen "Deformationsarbeit".

Die These "Unterfahrschutz-Halter ist zu steif" konnte durch den Versuch SH 19.61 nicht widerlegt werden. Es konnte aber vermutet werden, dass sie beim Erstanprall einen Einfluss haben, zumal die Halter sich wesentlich dichter am Anprallpunkt befanden.

Beim Anprallversuch trat noch ein weiteres Problem auf. Der rechte Arm des Dummys rutschte während des Anprallvorgangs unter dem Unterfahrschutz durch und verhakte sich dann zwischen dem Pfosten und dem Unterfahrschutz. Da dies ein Durchfallkriterium ist, muss ein solches Verhalten verhindert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Projekt wurden Motorradfahrer-Schutzsysteme für die Einfache Schutzplanke ESP 4.0 untersucht. Für diese Schutzplanke ist ein Pfostenabstand von 4 m und eine Holm-Pfosten-Verbindung ohne Distanzstück charakteristisch.

Die Recherche nach geprüften Motorradfahrer-Schutzsystemen in Europa hat gezeigt, dass diese überwiegend für Stahlschutzplanken mit Distanzstücken und/oder mit Pfostenabständen von 2 m oder weniger entwickelt wurden.

Bei Schutzeinrichtungen mit Distanzstück zwischen Holm und Pfosten lässt sich der Unterfahrschutz im Bereich des Pfostens nachgiebiger gestalten, da der notwendige Platz vorhanden ist. Damit lässt sich die Anprallhärte für den Motorradfahrer reduzieren.

Bei Pfostenabstand von 2 m oder weniger ist die Stützweite der Pfosten geringer und die Lage des Unterfahrschutzes bei Anprall stabiler als bei größerem Pfostenabstand. Die Gefahr des Durchrutschens von Teilen des Dummys unter dem Unterfahrschutz hindurch ist daher niedriger.

In diesem Sinne stellt die betrachtete Stahlschutzplanke ESP 4.0 einen schwierigen Fall dar, da sie keine Distanzstücke und den größten in Deutschland gebräuchlichen Pfostenabstand von 4 m aufweist.

Für ein MPS für die ESP 4.0 wird dadurch der Zielkonflikt verschärft, einerseits großer Biegesteifigkeit, um die hohe Stützweite zwischen den Pfosten zu überbrücken, und andererseits hoher Nachgiebigkeit, um die Anprallhärte für Motorradfahrer

so gering zu halten, dass die Anforderungen nach DIN TS 1317-8 erfüllt werden.

Es gelang nicht, im Rahmen dieses Projekts zu zeigen, dass ein MPS in der Lage ist, diese Anforderungen zu erfüllen. Es wurden jedoch wichtige konstruktive Erkenntnisse gewonnen, auf denen sich aufbauen lässt.

