

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

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 357

bast

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

von

Ralf Klöckner

CEStrA-Zert
Bremen

Marcus Gärtner

DEKRA Automobil GmbH
Stuttgart

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 357

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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 03.0516

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

Fachbetreuung

Moritz Grimmelsmann

Referat

Straßenausstattung

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-670-2

Bergisch Gladbach, Februar 2022

Kurzfassung – Abstract

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

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 wurden die verwendeten Systeme nach einem eigens definierten Verfahren getestet. Seit Veröffentlichung der Technischen Spezifikation CEN/TS 1317-8:2012 (mittlerweile DIN CEN/TS 17342:2019-10; DIN SPEC 18193:2019-10) existiert eine Technische Regel, die zumindest den rutschenden Anprall von Motorradfahrern abdeckt. In wie weit die darin enthaltenen Prüfkriterien von den in Deutschland verbauten Systemen erfüllt werden, ist bislang nicht bekannt.

Bei den Schutzeinrichtungen ist grundsätzlich zu unterscheiden, zwischen Herstellerentwicklungen und patentfreien Bestandssystemen, die nach Vorgaben früherer Regelwerke gebaut wurden. Die Betrachtung beschränkt sich in diesem Projekt auf die Ausrüstung von Bestandssystemen, in diesem Fall der einfachen Stahlschutzplanke (ESP).

Der bereits häufig verwendete Unterfahrschutz der ESP 4.0 UFS wurde bereits erfolgreich nach dem Teil 8 der DIN EN 1317 getestet und aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Zusätzliche Komponenten, die die Anprallheftigkeit reduzieren sollten, wurden entwickelt und getestet. Es war nicht möglich im begrenzten Projektrahmen eine positiv getestete Lösung zu entwickeln. Versagenskriterien konnten jedoch identifiziert und aufgezeigt werden. Hilfreiche Erkenntnisse wurden gewonnen, die für zukünftige Projekte als Basis dienen können.

Eligibility of passive safety roadside equipment to protect motorcyclists according to the current European standards

Passive safety roadside equipment optimized for impacting motorcyclists is used since quite some

time at exposed spots to protect potentially impacting motorcyclists. Especially sliding underneath guardrails or impacting at the post is to be prevented. Due to the lack of national and international standards those devices have been tested according to self-defined procedures. Since the publication of the Technical Standard CEN/TS 1317-8:2012 (now DIN CEN/TS 17342:2019-10; DIN SPEC 18193:2019-10) there is a technical regulation which at least covers the sliding impact of a motorcyclist. Until now it is unknown, if the used devices fulfil those test requirements.

Basically it has to be distinguished between OEM solutions and not patented solutions which has been built according to former regulations. Within this project the focus is laid on the retrofit of the standard passive safety device ESP (simple steel guardrail).

Aim of this project was to design, assess and modify additional components for the ESP in regard to pass the Technical Standard CEN/TS 13117-8:2012.

The nowadays commonly used underdrive protection of the ESP 4.0 UFS as well as additional components to reduce the impact severity have been tested and designed. However it was not possible to achieve a solution which passed the tests. Problems and fail criteria were identified which can be used as a basis for further projects.

Summary

Eligibility of passive safety roadside equipment to protect motorcyclists according to the current European standards

1 Starting point

In Germany more and more safety barriers with motorcyclist protection systems (MPS) are installed on road sections with high motorcyclists traffic. These MPS aim to prevent motorcyclist sliding over the ground to run underneath the safety barrier and to prevent him from impacting on the posts of the safety barrier. Due to the lack of national and international standards for testing such devices, a particular test procedure for research has been developed in Germany. Since the publication of the technical specification CEN/TS 1317-8:2012 there is a technical rule which covers at least the sliding impact of motorcyclists. However, it is unknown if the installed devices in Germany meet the requirements.

Aim of this research project is to demonstrate whether there is a realistic chance for the MPS available for the "Einfache Stahlschutzplanke" (ESP) to meet the requirements of CEN/TS 1317-8 respectively to indicate which kind of modification is necessary to do so.

2 Former tests on motorcyclists friendly roadside equipment

The tests carried out in Germany has been mainly done within research projects of the Federal Highway Research Institute (Bast).

European MSPs have been identified and analyzed within an extended internet research. This research was focused on European countries as in this region tests had been done already according to TS 1317-8 and the very similar regulation UNE 135900.

Most of the tests were done using steel guard rails with spacers between the beam and the posts which makes them rather similar to an EDSP (Einfache Distanzschutzplanke) than to an ESP. As the MPS is installed in alignment with the rail and the rail has some distance to the posts (spacers) the MPS has also some distance to the posts. This distance is also used to reduce the impact severity. Unfortunately this distance is not available for the examined ESP as the rail is directly fixed to the post (no spacers). Therefore, the principles of those MPS are of limited use for this project.

Finally some indication was found that it might be worthwhile to assess the MPS for the ESP.

3 First test series

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. shows the modified MPS which was tested at the first test series.

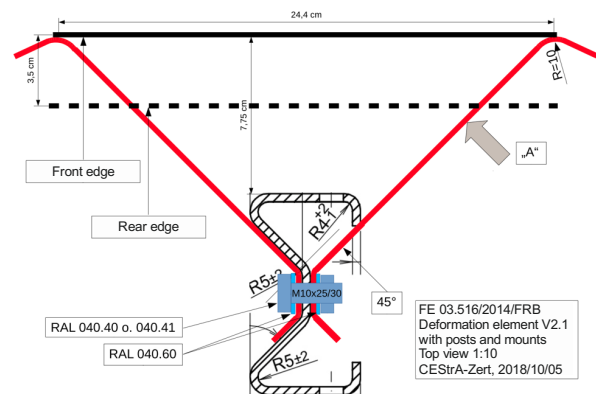


Figure 1 Top-view of the two-piece deformation element (red) mounted onto the Sigma-post of the ESP

Figure 2 shows the mounted MPS used at the first test SH 18.58. The sheet thickness of the chosen deformation element was 3 mm.



Figure 2 ESP 4.0 with mounted underride protection and deformation elements

3.1 Test SH 18.58

Figure 3 shows the general test set-up. The dummy impacted the MPS at 61,5 km/h and at 28°.



Figure 3 Test set-up of test SH 18.58

3.2 Results

The damage on both, the ESP and the MPS was minor. There was no breakage of longitudinal elements and the dummy was not trapped inside the test item. No limb, or part of a limb nor the head or neck were detached. There was no laceration of the ATD skin. The right shoulder (impact side) was broken.



Figure 4 Final position of the dummy

The recorded acceleration data produced the following values (limits in parenthesis):

- HIC₃₆: 414 (650)
- M_{OCX}: 69 NM (134 NM)
- M_{OCY extension}: 27 NM (42 NM)
- M_{OCY inflexion}: 15 NM (190 Nm)
- F_{X MAX}: 0,48 kN
- F_{Z Tension MAX}: 1,64 kN
- F_{Z Compression MAX}: 5,87 kN

Almost all of these values were within the limits of level I for the impact severity. The neck shear force F_x as well as the neck tension force F_z were way below the limits, but the neck compression force F_z was above both limits, as shown in Figure 5.

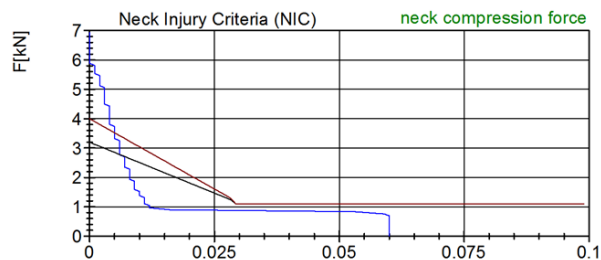


Figure 5 Neck compression force F_z

Exceeding the limits for the neck compression force limits means that the tested system failed to meet the requirements.

After a first analysis of the recorded measurement and film data the first approach was to use deformation elements with a lower sheet thickness. As there has been some questions on the first data analysis it was decided to run a deeper analysis of the test first before going on with testing.

4 Evaluation and assessment of the test results - SH 18.58

The peak for the neck compression appeared very early. It seemed possible, that the deformation of the deformation element and the mounting bracket had some influence on the measured values, but it remained uncertain to which degree.

As the number of tests is strictly limited within the project, it was decided not to repeat the test without a deformation element. Instead of this it was decided to design and to test a new solution with a lower sheet thickness of the MPS.

4.1 Design and definition of the MPS for the second test series

Aim was to design the new solution close to the MPS „CMPS 60-2-W03“. According to this the following substantial attributes were defined:

- sheet thickness: 1,5 mm
- relevant bolts to be round headed
- no leaning of the MPS
- vertical part of the MPS-front as wide as possible
- width similar to „CMPS 60-2-W03“
- centered longitudinal furrow
- two-piece mounting bracket
- additional sheet at the connection joints

5 Second test series

Figure 6 shows the installation of the MPS at the ESP.



Figure 6 Mounted MPS with two-piece brackets

5.1 Test SH 19.60 (TM 1.60)

Figure 7 shows the general test set-up. The dummy impacted the MPS at 64 km/h and at 30.3°.



Figure 7 Test set-up of test SH 19.60

5.1.1 Results

The damage to the ESP and the MPS was minor. There was no breakage of longitudinal elements and the dummy was not trapped inside the test article. No limb, or part of a limb nor the head or neck were detached. There was no laceration of the ATD skin. The right shoulder (impact side) broke again.



Figure 8 Final position of the dummy

The recorded acceleration data produced the following values (limits in parenthesis):

- HIC₃₆: 287 (650)

- MOC_X: 117 NM (134 NM)
- MOC_Y extension: 30 NM (42 NM)
- MOC_Y inflexion: 25 NM (190 Nm)
- F_X MAX: 1,01 kN
- F_ZTension MAX: 3,35 kN
- F_ZCompression MAX: 4,73 kN

Almost all of these values were within the limits of level I for the impact severity. The neck shear forces were way below the limits, but the neck compression as well as the tension force was close respectively above the limits, see Figure 9 and Figure 10.

Exceeding the limits for the neck force limits meant, that the tested system failed to meet the requirements.

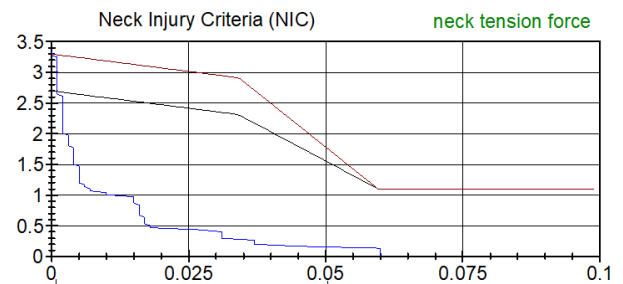


Figure 9 Neck tension force $F_{Z\text{ tension}}$

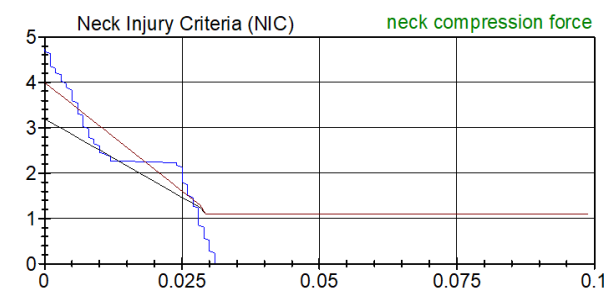


Figure 10 Neck compression force $F_{Z\text{ compression}}$

5.2 Test SH 19.61 (TM 3.60)

Figure 11 shows the general test set-up. The dummy impacted the MPS at 60.5 km/h and at 31.3°.

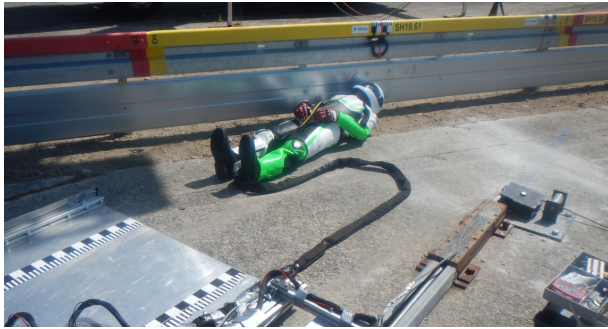


Figure 11 Test set-up of test SH 19.61

5.2.1 Results

The damage to the ESP and the MPS was minor. There was no breakage of longitudinal elements. No limb, or part of a limb nor the head or neck were detached. The dummy was trapped inside the test article. The right shoulder (impact side) broke and the arm was held in position only by the protective clothing. There were lacerations of the ATD skin.



Figure 12 Final position of the dummy

The recorded acceleration data produced the following values (limits in parenthesis):

- HIC₃₆: 334 (650)
- M_{ocx}: 77 NM (134 NM)
- M_{OCY extension}: 17 NM (42 NM)
- M_{OCY inflexion}: 16 NM (190 Nm)
- F_{X MAX}: 0,48 kN
- F_{Z Tension MAX}: 1,3 kN
- F_{Z Compression MAX}: 5,23 kN

All of these values were within the limits of level I for the impact severity. The neck shear force as well as the neck tension force were way below the limits.

The neck compression force (Figure 13) exceeded the limits. This and the trapped dummy meant, that the system did not meet the requirements.

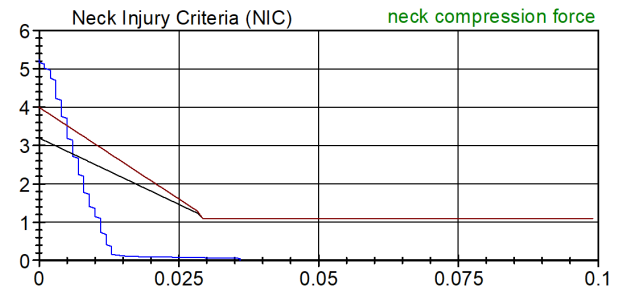


Figure 13 Neck compression force F_z

6 Evaluation and assessment of the second test series

6.1 Test SH 19.60

Once again a very rapid increase of the neck forces could be observed during the evaluation of test SH 19.60. Although the absolute value of the neck force has been lower. This meant, that the identified and taken measures after the first test series were adequate.

If the peak is generated by the bracket, is not easy to answer. Considering the measurement data, an influence of the bracket cannot be completely approved nor disapproved.

A further evaluation of the neck forces showed another exceeding of the limits. A comparison of the measurement data to the videos in this time area showed, that the absolute value of the neck force declined while the MPS contacted the pole and the helmet was repelled from it.

Comparing the neck torques around the x-axis it was observed, that the values at test SH 19.60 were higher and lasted for a longer time than at test SH 18.58. This could have been due to the thicker sheet metal and the deformation elements that had been used in test SH 18.58. If those differences prevented the impacting head from a deeper intrusion and redirected it faster, the contact between the head and the MPS could have gotten lost and the lateral forces on the head wouldn't have applied anymore. If the head intrudes the "softer" MPS it remains in contact with the MPS for a longer time, which assumingly applies higher loads.

This and the fact that the impact of the MPS on the post had no significant influence showed, that deformation elements were not needed.

Summarized the interpretation of the measurement data identified the following points:

- The first peak was presumably generated by the mass inertia and the bending stiffness of the underride protection
- The brackets might have had an influence

- The generated load on the neck by the deformation work of the MPS was sufficiently low

6.2 Test SH 19.61

The graph of the neck force F_z for both tests impacting the post was very similar. The absolute value at test SH 19.61 was higher. This was probably due to the higher mass of the MPS at the impact point. The bolts and the additional sheet at the joints resulted in a higher mass inertia.

The impact at the post resulted in a significant change of both graphs. While the value for the neck force declined rapidly at test SH 19.61, it stayed on a certain level for quite some time at test SH 19.60 which led to another exceeding of the according limit. These high values were most likely generated by the contact of the helmet with the MPS and the corresponding deformation work.

The assumption "MPS bracket is too stiff" cannot be disproved by test SH 19.61. However it can be expected, that the brackets had an influence as they were located more closely to the impact point.

Another problem arose during the test. The right arm of the dummy slid underneath the underride protection during impact. It also got stuck between the post and the underride protection. As this is a fail-criteria such a behavior needs to be prevented.

7 Summary and outlook

Only the "Einfache Schutzplanke 4.0" was considered in this project. A post distance of 4 m and a connection without spacer is characteristic for this guardrail.

An internet-research has shown, that mainly MPS for safety barriers with spacers and post distances of 2 m or less has been developed and tested throughout Europe.

MPS for safety barriers with spacers are different. The available space between the post and the beam can be used to design a softer MPS which reduces the impact severity for the impacting motorcyclists.

The lower span resulting by a post distance of 2 m or less leads to a more stable behaviour of the MPS during impact. Therefore the risk of part(s) of the dummy sliding underneath the underride protection is lowered.

From this point of view the analyzed safety barrier "Einfache Stahlschutzplanke 4.0" is a difficult choice. It is not equipped with spacers and the post distance of 4 m is the biggest in Germany.

This results in a conflict of achieving a high bending stiffness to compensate the large span on the one hand and a high flexibility for a low impact severity on the other hand.

The project failed to demonstrate that there are MPS capable to fulfil these requirements. But the project succeeded in providing important design-engineering knowledge which could serve as a basis of further development.

Inhalt

1	Einleitung	12	4.5	Dummy	32
2	Ausgangssituation	13	4.6	Versuchsdurchführung	33
3	Bereits durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz	13	4.7	Ergebnisse	34
3.1	Durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz in Deutschland.....	13	4.8	Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse des Versuchs SH 18.58	35
3.1.1	FE 03.318 – Anprallversuche mit Motorrädern an Schutzeinrichtungen.....	13	4.8.1	Auswertung der Film- und Messdaten	35
3.1.2	Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317	15	4.8.2	Schlussfolgerungen der Auswertung des ersten Versuchs	38
3.1.3	FE 03.345 – Entwicklung und Prüfung der Anforderungen an Schutzeinrichtungen zur Verbesserung der passiven Sicherheit von Motorradfahrern	15	4.9	Design und Festlegung des MPS für die zweite Versuchsreihe	40
3.1.4	FE 03.379 – Prüfung von Rückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche	18	5	Zweite Versuchsreihe	47
3.2	Technische Spezifikation der DIN TS 1317-8 zur Prüfung von MPS	20	5.1	Schutzeinrichtung	47
3.2.1	Prüfprinzip	20	5.2	Modifikation des MPS	47
3.2.2	Abnahmekriterien	20	5.3	Dummy	48
3.3	Durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz im europäischen Ausland	21	5.4	Versuch SH 19.60 (TM 1.60)	48
3.3.1	Überblick über geprüfte MPS im europäischen Ausland	21	5.4.1	Versuchsdurchführung	48
3.3.2	Vergleich der Prüfnormen DIN TS 1317-8 und UNE 135900	21	5.4.2	Ergebnisse	50
3.3.3	Vergleich der im europäischen Ausland geprüften MPS mit der ESP-UFS	24	5.5	Versuch SH 19.61 (TM 3.60)	51
3.3.4	Vergleich eines in Australien geprüften MPS mit der ESP-UFS	28	5.5.1	Versuchsdurchführung	51
3.4	Auswertung der durchgeführten Anprallversuche	29	5.5.2	Ergebnisse	52
4	Erste Versuchsreihe	31	5.6	Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse der zweiten Versuchsreihe	53
4.1	Auswahl und Auslegung des zu prüfenden MPS	31	5.6.1	Auswertung Versuch SH 19.60	53
4.2	Ablauf der Versuchsreihe	32	5.6.2	Auswertung Versuch SH 19.61	56
4.3	Schutzeinrichtung	32	6	Zusammenfassung und Ausblick	58
4.4	Modifikation des MPS	32	7	Literatur	61
			8	Tabellenverzeichnis	62
			9	Abbildungsverzeichnis	62

Abkürzungen

AG	Auftraggeber
ATD	Anthropomorphic Test Device
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BSWF	Betonschutzwand in Fertigteil-Bauweise
CMPS	Kontinuierliches Schutzsystem für Motorradfahrer (en: Continuous Motorcyclist Protection System)
DMPS	Diskontinuierliches Schutzsystem für Motorradfahrer (en: Discontinuous Motorcyclist Protection System)
ESP	Einfache Schutzplanke
ESP-UFS	Einfache Schutzplanke mit Unterfahrschutz
EDSP	Einfache Distanzschutzplanke
FRS	Fahrzeug-Rückhaltesysteme
HIC	Head Injury Criterion
MATD	Motorcyclist Anthropometric Test Device
MPS	Schutzsystem für Motorradfahrer (en: Motorcyclists Protection System), i.d.R. bestehend aus Unterfahrschutz und Aufhängung
NIC	Neck Injury Criteria
TL-SP	Technische Lieferbedingungen für Stahlschutzplanken
UFS	Unterfahrschutz
UFS-ESP	Unterfahrschutz der Schutzeinrichtung „ESP mit Unterfahrschutz“, auch bekannt als UFS Typ „Euskirchen“
Motorradfahrer	In diesem Bericht wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Hierin eingeschlossen sind alle Aufsassen eines Motorrads weibliche ebenso wie männliche und anderweitige Geschlechteridentitäten.
DIN EN TS 1317-8 bzw. DIN EN TS 17432	Während des Projekts wurde die TS 17342 veröffentlicht (Oktober 2019). Alle Prüfungen und Auswertungen wurden nach dem Teil 8 der DIN EN 1317 durchgeführt und ausgewertet. Die Anforderungen nach TS 17342 werden aber ebenso erfüllt.

1 Einleitung

Im Jahr 2016 wurden von der Polizei in Deutschland rund 2,59 Millionen Verkehrsunfälle erfasst. Von den 399.872 dabei verunglückten Menschen kamen 3.206 ums Leben, 67.426 wurden schwer verletzt. Gegenüber dem Vorjahr bedeutet dies einen Rückgang bei den Zahlen getöteter und schwer verletzter Verkehrsteilnehmer. Bei längerfristiger Betrachtung zeigt sich aber, dass die sehr positive Entwicklung der letzten Jahrzehnte bei der Zahl im Straßenverkehr Getöteter ins Stocken geraten ist. Bezogen auf 3.648 Getötete im Jahr 2010 betrug der Rückgang bis 2016 gerade 12,1 %. Bei den Schwerverletzten kam es sogar zu einer Steigerung um 7,7 %. [1]

Vor dem Hintergrund des von der Europäischen Kommission im Weißbuch für Verkehr gesetzten Ziels, die Zahl der Verkehrstoten in der EU bis zum Jahr 2050 nahezu auf Null zu senken und dem ebenfalls definierten Etappenziel einer Reduktion der Getötetenzahl um 50 % bezogen auf das Jahr 2010 bis zum Jahr 2020, ist dieser Rückgang deutlich zu gering. [2]

Auch die Erreichung des Ziels des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), die Zahl der im deutschen Straßenverkehr getöteten Verkehrsteilnehmer im gleichen Zeitraum um 40 % zu senken, wird sehr schwer fallen. [3]

Um dem gesetzten Ziel dennoch möglichst nahe zu kommen, müssen vielfältige Ansätze zur Erhöhung der Verkehrssicherheit verfolgt und umgesetzt werden. Neben Bemühungen zur Verschärfung der sicherheitsrelevanten Gesetzgebung im Bereich Fahrzeugzulassung auf europäischer Ebene (langfristige Ausrichtung), stehen auf nationaler Ebene insbesondere Instrumente der Infrastrukturgestaltung, der Schulung und Sensibilisierung von Verkehrsteilnehmern sowie der Ahndung von Verkehrsverstößen zur Verfügung.

Bei den Infrastrukturmaßnahmen kommt der Seitenraumgestaltung von Straßen eine besondere Bedeutung zu. Bei 45.556 der Unfälle mit Personenschaden kam es zu einem Aufprall gegen ein Hindernis neben der Fahrbahn. Hierbei kamen 1.247 Menschen ums Leben. Dies entspricht 46 % der getöteten Fahrzeugnutzer. Der Anteil von Autobahnen ist hierbei sehr gering. In insgesamt 332 Fällen handelte es sich bei den Hindernissen um Schutzplanken bzw. Fahrzeugrückhaltesysteme. Die amtliche Statistik erlaubt keine Aussagen dahingehend, in wie vielen Fällen das Hindernis zu den Verletzungen führte und wie oft vor oder nach einem Hindernisanprall eine die Unfallschwere begründende Kollision stattfand. Verbesserungspotenziale sind in diesem Bereich aber vorhanden.

An welchen Stellen unter welchen Rahmenbedingungen passive Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit welchen Mindestanforderungen zu errichten sind, ist in den RPS 2009 [4] geregelt. Dort werden je nach Gefahrenstellen am Fahrbahn- und Brückenrand bzw. im Mittel- und Trennstreifen Schutzeinrichtungen gefordert, die nach DIN EN 1317 Teil 1 und Teil 2 [5], [6] geprüft wurden. Hinzu kommen noch weitere, eher punktuell eingesetzte Fahrzeug-Rückhaltesysteme, die nach anderen Teilen der DIN EN 1317 geprüft werden. Fahrzeug-Rückhaltesysteme werden dahingehend ausgelegt und in erster Linie auch dafür getestet. Dies bedeutet, dass die Systeme hauptsächlich für den Anprall von Pkw, Bussen oder Lkw ausgelegt sind.

Für den Zweiradfahrerschutz geben die RPS lediglich den Hinweis, dass sich der Zweiradfahrerschutz durch geeignete Zusatzkonstruktionen verbessern lässt. Eine genaue Charakterisierung dieser „geeigneten Zusatzkonstruktionen“ fehlt jedoch, da zum Zeitpunkt der Erscheinung der RPS noch keine definierten technischen Anforderungen z. B. in einer Norm vorlagen. Dies änderte sich erst 2010 mit der Technischen Spezifikation DIN CEN/TS 1317-8.

Insbesondere die Aufsassen motorisierter Zweiräder sind, gemessen an Fahrzeugbestand und Fahrleistung, in der deutschen Unfallstatistik bei den Zahlen der Verunglückten deutlich überproportional vertreten.

Im Jahr 2016 wurden 526 Aufsassen motorisierter Zweiräder mit amtlichem Kennzeichen und 60 Aufsassen von Mofas und Kleinkrafträdern mit Versicherungskennzeichen bei Verkehrsunfällen getötet und 9.472 respektive 2.741 schwer verletzt. Insbesondere der Außerortsbereich ohne Autobahnen ist in Bezug auf den Motorradfahrerschutz von besonderer Bedeutung. 389 (74 %) der getöteten Motorradaufsassen (mit amtlichem Kennzeichen) verstarben auf diesen Straßen, bei den Schwerverletzten waren es 5.099 (54 %). Der Infrastrukturgestaltung und Straßenausstattung im außerörtlichen Bereich ohne Autobahnen kommt somit bei der Zweiradsicherheit besondere Bedeutung zu.

Die Reduktion der Zahl der im Straßenverkehr getöteten und schwer verletzten Menschen ist eine ethische Verpflichtung aller und auch national wie international erklärtes politisches Ziel. Um die dafür verfügbaren finanziellen Mittel optimal einzusetzen, müssen die Risiken minimiert werden, die zu den meisten Verunglückten führen. Der hohe Anteil an verunglückten Motorradfahrern an der Gesamtzahl verunglückter Verkehrsteilnehmer lässt einen großen Handlungsbedarf erkennen. Insbesondere der Anprall von Motorradfahrern gegen Schutzplanken ohne Motorradfahrerschutzsystem führt regelmäßig zu schwersten und oftmals tödlichen Verletzungen. Ein gezielter Mitteleinsatz zur Reduktion derartiger

Anprallfolgen lässt daher höhere Potenziale erkennen als die Investition in andere Sicherheitsmaßnahmen.

2 Ausgangssituation

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 wurden die verwendeten Systeme nach eigens definierten Verfahren getestet. Diese Verfahren wurden in Forschungsprojekten entwickelt und werden in Kapitel 3 dargestellt.

Seit Veröffentlichung der Technischen Spezifikation CEN/TS 1317-8:2012 „Rückhaltesysteme für Motorräder, die die Anprallheftigkeit an Schutzplanken für Motorradfahrer reduzieren“ [5] existiert eine technische Regel, die zumindest den rutschenden Anprall von Motorradfahrern abdeckt. In wie weit die darin enthaltenen Prüfkriterien von den in Deutschland verbauten Systemen erfüllt werden, ist bislang nicht bekannt.

Bei den Schutzeinrichtungen ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Herstellerentwicklungen und patentfreien Bestandssystemen, die nach Vorgaben früherer Regelwerke gebaut wurden. Für die Herstellerentwicklungen sind die Hersteller verantwortlich (Produkthaftung). Die Betrachtung hier beschränkt sich daher auf die Ausrüstung von Bestandssystemen, von denen zwei für die Ausrüstung mit Motorradfahrerschutzesystemen besonders relevant sind:

- Einfache Schutzplanke (ESP)
- Einfache Distanzschutzplanke (EDSP)

Da zu Projektbeginn unklar war, ob die Projektressourcen für die Betrachtung beider Schutzplankentypen (ESP und EDSP) ausreichen, wird der Schwerpunkt auf die (wichtigere und kritischere) ESP gelegt. Die EDSP soll nur einbezogen werden, soweit dies die Projektressourcen zulassen.

Ziel des Forschungsprojekts ist daher, den Unterfahrschutz der ESP dahingehend zu bewerten, ob ein Bestehen moderner Tests nach CEN/TS 1317-8:2012 realistisch ist, beziehungsweise welche Modifikationen zum Bestehen erforderlich sind. Mit gegebenenfalls modifizierten Systemen werden dann Anprallversuche durchgeführt. Die Eignung der (modifizierten) Zusatzkonstruktionen nach CEN/TS 1317-8 wird sodann überprüft und im Idealfall nachgewiesen. Da der Mittelrahmen des Projektes nur

wenige Prüfungen erlaubt, sollen die Ergebnisse ggf. auf andere Konstruktionen bzw. Zusatzkonstruktionen übertragen werden. Werden die Anforderungen der CEN/TS 1317-8 nicht erfüllt, erfolgt eine Analyse mit Ableitung der erforderlichen zusätzlichen Modifikationen und eine erneute Prüfung. Ziel ist es, am Ende eine CEN/TS-1317-8:2012-konforme Zusatzeinrichtung zu haben.

3 Bereits durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz

3.1 Durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz in Deutschland

In Deutschland wurden Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen überwiegend in Forschungsprojekten der BASt durchgeführt. Im Folgenden sind die bekannten Projekte mit ihren Ergebnissen aufgelistet.

3.1.1 FE 03.318 – Anprallversuche mit Motorrädern an Schutzeinrichtungen

Hauptaufgabe des ersten, von der BASt initiierten Forschungsprojekts war die Durchführung von Anprallversuchen mit anprallenden Motorradfahrern an passiven Schutzeinrichtungen unter realen Unfallbedingungen. Die DEKRA Unfallforschung und das DEKRA Crash Test Center waren Forschungsnehmer.

Zuerst erfolgte eine Analyse des Unfallgeschehens. Diese sollte einen Überblick über die Anprallsituationen und Unfallschweren liefern. Anhand dieser Analyse wurden Anprallversuche definiert.

Bereits hier zeigte sich, dass das Unfallgeschehen nicht nur aus dem rutschend anprallenden Motorradfahrer besteht, sondern dass auch dem aufrecht anprallenden Motorradfahrer Bedeutung zukommt. Hierbei ergab sich ein beinahe paritätisches Verhältnis von aufrecht zu rutschend anprallenden Motorradfahrern. Die Analyse basiert allerdings auf sehr geringen Fallzahlen und umfasste auch einige Unfälle mit dreirädrigen Fahrzeugen. Das Ergebnis ist daher nicht statistisch gesichert.

So wurden in diesem Projekt insgesamt sechs Anprallversuche mit Anprall eines Motorradfahrers an eine passive Schutzeinrichtung durchgeführt. Bei allen sechs Versuchen kam ein Mittelklasse-Motorrad zum Einsatz. Der Motorradfahrer wurde von einem Dummy Hybrid III 50th percentile male repräsentiert. Der Dummy war mit verschiedenen Messaufnehmern im Kopf, in der Brust, im Becken und in den Oberschenkeln ausgestattet.

Vier der sechs Versuche erfolgten an gängigen passiven Schutzeinrichtungen. Die Einfache Stahlenschutzplanke (ESP) und die Einfache Distanzschutzplanke (EDSP) repräsentierten die Schutzeinrichtungen aus Stahl und eine Fertigteilwand im New-Jersey-Profil die Schutzeinrichtungen aus Beton. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus allen vier Versuchen sollte eine neue Schutzeinrichtung entwickelt werden, die die Vorteile beider Arten von Schutzeinrichtungen kombinierte.

Die beiden abschließenden Versuche fanden an der neu entwickelten Stahlschutzeinrichtung „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“ statt. Das „Schweizer Kastenprofil“ bietet den Vorteil, die aggressive Oberseite der ESP/EDSP zu entschärfen. Durch die Anbringung des Holms bei der ESP/EDSP am Pfosten ist dieser im Kopfbereich der Schutzeinrichtung sehr exponiert. Ein aufrecht anprallender Motorradfahrer könnte sich beim Hängenbleiben am Pfosten schwerste Verletzungen zufügen. Ebenso wurde der untere Bereich der ESP/EDSP, der durch den Pfostenabstand von 4 m die Pfosten als Verletzungsschwerpunkt definiert, durch einen Unterfahrerschutz („Unterzug“) entschärft.

Für den aufrecht und den rutschend anprallenden Motorradfahrer erwies sich die neu gewonnene Schutzeinrichtung als gut geeignet. Probemontagen an kurvigen Landstraßen jedoch zeigten, dass das Kastenprofil in engen Kurven nur schwerlich zu montieren ist. Anprallversuche mit Pkw nach DIN EN 1317 [19] zeigten zudem ein grenzwertiges Fahrzeugverhalten.



Bild 1 Versuch SH 99.05 – aufrechter Anprall an EDSP



Bild 2 Versuch SH 99.06 – aufrechter Anprall an BSWF



Bild 3 Versuch SH 99.73 – rutschender Anprall an ESP

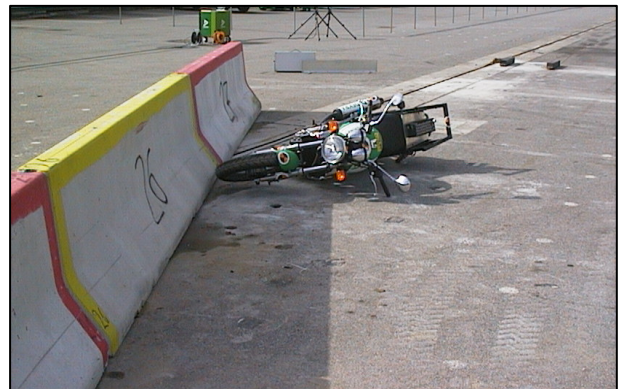


Bild 4 Versuch SH 99.74 – rutschender Anprall an BSWF



Bild 5 Versuch SH 99.79 – rutschender Anprall an „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“



Bild 6 Versuch SH 99.80 – aufrechter Anprall an „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“



Bild 7 Im Forschungsprojekt entwickelte passive Schutz-einrichtung „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“

3.1.2 Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317

In diesem Projekt hat die BAST Anprallprüfungen nach Teil 1 und 2 der DIN EN 1317, also mit Pkw und Lkw durchgeführt [19]. Darunter auch eine Prüfung an der ESP-UFS ("System Euskirchen").

Es gelang der Nachweis der Aufhaltstufe N2, also die Einsatzfähigkeit für Pkw. Allerdings zeigte sich eine reduzierte Aufhaltfähigkeit der ESP, wenn sie mit dem UFS ausgestattet wird. Für Strecken auf denen der Schutz von Motorradfahrern im Vordergrund steht, kommt ein Einsatz in Frage [19].

3.1.3 FE 03.345 – Entwicklung und Prüfung der Anforderungen an Schutz-einrichtungen zur Verbesserung der passiven Sicherheit von Motorradfahrern

Das Folgeprojekt zu FE 03.318 „Anprallversuche mit Motorrädern an Schutz-einrichtungen“ wurde ebenfalls von der DEKRA Unfallforschung und dem DEKRA Crash Test Center bearbeitet.

Das Projekt sollte das Vorgängerprojekt fortführen und eine verbesserte passive Schutz-einrichtung definieren, die dem anprallenden Motorradfahrer die geringsten Verletzungsrisiken bietet.

Hierzu wurde zuerst eine intensive Marktrecherche getätigt. Entwicklungen aus anderen Ländern wurden gesucht und hinsichtlich mehrerer Faktoren bewertet. Es wurden, zusätzlich zu der im Vorgängerprojekt definierten Schutz-einrichtung „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“ mehrere verschiedene Systeme gefunden – vorwiegend in Frankreich und Spanien. Zusätzlich wurden neue Ideen entwickelt und das System „Schweizer Kastenprofil mit Unterfahrerschutz“ optimiert.

Alle gefundenen Systeme wurden in einer Bewertungsmatrix gegenübergestellt. In dieser Bewertungsmatrix wurden mehrere Kategorien betrachtet: Materialkosten, Reparaturaufwand, Umbau der vorhandenen Schutz-einrichtung, Unterhaltskosten und das Schutzpotential. Es wurden klassische Schulnoten vergeben und die Kategorien unterschiedlich gewichtet. Daraus ergab sich für die beiden üblicherweise eingesetzten Schutz-einrichtungen ESP und EDSP eine Rangliste an Systemlösungen. Für beide Schutz-einrichtungen wurde zusätzlich noch nach Kopf- und Fußbereich differenziert, um neben dem rutschenden auch den aufrechten Anprall abzudecken. Keine der existierenden Konstruktionen wurde als geeignet eingeschätzt, so dass für das Testprogramm neue Konstruktionen entwickelt wurden. Diese Entwicklungen waren teilweise besser an die ESP und EDSP angepasst (Änderung der Aufhängung) und teilweise komplette Neuentwürfe (Oberzug).

Es waren insgesamt sechs Anprallversuche in dem Projekt vorgesehen. Diese wurden zunächst in drei Versuchsreihen mit jeweils zwei Versuchen aufgeteilt, um gegebenenfalls gewonnene Erkenntnisse in Versuchsreihen einfließen lassen zu können.

Die erste Versuchsreihe konzentrierte sich auf die EDSP, da hier aus der Bewertungsmatrix klare Empfehlungen hervorgingen. Es sollten jeweils ein aufrechter und ein rutschender Anprall durchgeführt werden.

3.1.3.1 Versuche an die EDSP

Beim Unterfahrerschutz Typ Euskirchen erfolgt die Aufhängung des Unterfahrerschutzes am Holm der ESP. Diese Aufhängung hatte jedoch beim Pkw-Anprall Schwächen aufgezeigt. Der anprallende Pkw steigt durch den angebrachten Unterfahrerschutz stark auf (Rampeneffekt). Ein Aufhalten des Pkws, insbesondere im Kurvenbereich, ist nicht gewährleistet. Eine Modifikation der Aufhängung war daher nötig.

Um den Rampeneffekt zu vermeiden, entschied man sich für eine Anbringung des Unterfahrerschutzes am Pfosten. Hierfür wurde ein Aufhängebügel konstruiert, der an die vorhandenen Schrauben der EDSP problemlos angebaut werden kann. Die Formgebung des Aufhängebügels war so gewählt,

dass er beim Anprall eines Motorradfahrers nachgeben konnte und als eine Art Dämpfer wirkt.

Für den eigentlichen Unterfahrschutz sollten die Teile des Systems Euskirchen verwendet werden. Hierzu musste im Unterfahrschutz das Lochmuster abgeändert werden, da eine Befestigung am Pfosten nicht vorgesehen war. Zusätzlich wurden die Stöße abgeändert, so dass der Stoß Holm/Unterfahrschutz nicht mehr an derselben Stelle war, sondern um einen Meter verschoben.

Beim Versuch wurde analog zum Vorgängerprojekt ein Dummy sitzend auf einem Motorrad verwendet. Für die neue Versuchsreihe entschied man sich jedoch für einen anderen Dummy – den MATD (Motorcyclist Anthropometric Test Device). Dieser Dummy wurde speziell für Anprallversuche mit Motorrädern entwickelt und verfügt u. a. über ein biofideleres Verhalten und brechbare Knochen.

Für den Versuch an der EDSP (aufrechter Anprall) wurde eine Abdeckung des Kopfbereichs der Schutzeinrichtung entwickelt. Diese sollte zum einen den Kontakt mit dem Distanzstück oder dem Pfosten, zum anderen ein Schleudern des anprallenden Motorradfahrers über die Schutzeinrichtung hinweg verhindern. Da keine Lösungen existierten, wurde eine Abdeckung mittels einfachen Blechplatten realisiert. Diese Blechplatten wurden an vorhandene Löcher im Distanzstück angeschraubt und im hinteren Bereich abgewinkelt, Bild 9.

3.1.3.2 Versuche an die ESP

Für die Versuche an die ESP wurde der Unterfahrschutz erneut modifiziert. Um die Montagefreundlichkeit zu erhöhen, wurde der Stoßbereich des Unterfahrschutzes verändert. Die Schraubenlöcher wurden nunmehr als Langlöcher ausgeführt und ihre Anzahl wurde von fünf auf sechs erhöht. Zudem wurde die Lage der Langlöcher verändert, um ein Aufklaffen des Stoßes bei engen Kurvenradien zu vermeiden.

Für den aufrechten Anprall wurde, mangels Alternativen, erneut eine neue Abdeckung des Kopfbereichs der Schutzeinrichtung konstruiert. Hierbei nutzte man die Erkenntnisse aus dem vorangegangenen Versuch. Die Abdeckung mittels einfacher Platten genügte, um einer Verhakung von Körperteilen vorzubeugen. Da es aber nur eine geringe Verzögerung des rutschenden Motorradfahrers gab, ging durch das in etwa gleich verzögerte rutschende Motorrad weitere Gefahr beim Rückprall des Motorradfahrers auf die Fahrbahn aus. Um dies zu vermeiden musste die Reibung erhöht werden. Man entschied sich für eine Lochblechkonstruktion.

Der Oberzug aus Langlochblechen zeigte sich im Versuch als zielführend. Der Reibwert wurde merk-

lich erhöht. Diese Lösung sollte in einem dritten aufrechten Anprallversuch auf die EDSP angewandt werden, an der das eigentliche Problem identifiziert wurde. Hierzu wurde der Oberzug ebenfalls aus Lochblech gefertigt. Zusätzlich wurde die Form des Oberzugs verändert, da eine erhöhte Brusteingrängung beim Entlanggleiten des Dummys auf der Holmoberkante gemessen wurde. Der Oberzug wurde demnach so konstruiert, dass die Oberkante weniger formaggressiv und oberhalb der Oberkante des Holms ausgeführt wurde. Auch dieser Versuch bestätigte die Ergebnisse.

3.1.3.3 Zusammenfassung der Versuche mit auf dem Motorrad sitzenden Motorradfahrer

Alle Versuche mit aufrechtem (sitzenden) Anprall hatten einen entscheidenden Nachteil. Der Primärprall erfolgte immer durch das Motorrad. Dadurch konnte nur bewertet werden, ob eine Leistungsfähigkeit des Unterfahrschutzes nach dem Anprall des Motorrads noch gewährleistet war. Eine Aussage über die Belastungen des anprallenden Motorradfahrers durch den Unterfahrschutz war jedoch nicht möglich. Die Messwerte des Dummy bildeten den Anprall auf der Fahrbahn ab nicht die eigentliche Belastung durch den Anprall am Unterfahrschutz.

Für den Oberzug war mit den Lochblechlösungen eine gute Möglichkeit gefunden worden, den aufrecht anprallenden Motorradfahrer zu schützen. Dadurch entschied man sich in der Folge, beim letzten Versuch des Forschungsprojekts den Dummy alleine an den Unterfahrschutz anprallen zu lassen.

3.1.3.4 Dummyanprall an Unterfahrschutz

Für diesen Versuch wurde recherchiert, ob es eine Norm, Regelung oder Richtlinie gibt, die einen solchen Versuch beschreibt. Eine mögliche Versuchskonstellation wurde bei einem französischen Testinstitut gefunden.

Da diese Versuchskonstellation keine verpflichtende Norm oder gängige Praxis darstellte wurden die Parameter angepasst. Die Geschwindigkeit wurde von 60 auf 45 km/h reduziert. Diese Geschwindigkeit wurde als Anprallgeschwindigkeit des Dummys aus den bereits durchgeführten Versuchen ermittelt. Der Winkel zwischen anprallenden Dummy und Schutzeinrichtung wurde von 30°, analog zu den durchgeführten Versuchen, auf 25° verkleinert. Zusätzlich wurde die Anpralllage des Dummys von auf dem Rücken zu auf dem Bauch liegend geändert. Der Dummy war analog zu den französischen Versuchen aufgebaut.

Als Unterfahrschutz wurde der Unterfahrschutz des Systems Euskirchen mit Aufhängung über die Aufhängebügel am Pfosten verwendet.

3.1.3.5 Ergebnisse des Forschungsprojekts

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Zusatzkonstruktionen für die ESP und die EDSP entwickelt, mit denen man die Verletzungsschwere für einen rutschend oder aufrecht anprallenden Motorradfahrer deutlich mindern kann. In Anlehnung an die zum damaligen Zeitpunkt verbreitete Bezeichnung „System Euskirchen“ wurden diese Zusatzkonstruktionen als „Euskirchen^{Plus}“ bezeichnet.

Es wurde jedoch lediglich Wert auf die Minderung der Gefahr für anprallende Motorradfahrer gelegt. Wie sich die Zusatzkonstruktionen bei einem Anprall mit einem Pkw verhalten, konnte nur prognostiziert werden. Daher entschied sich die BAST dazu, dies in einem weiteren Forschungsprojekt zu untersuchen.



Bild 8 Versuch BAST 03.01



Bild 9 Versuch BAST 03.02



Bild 10 Versuch BAST 04.01



Bild 11 Versuch BAST 04.02



Bild 12 Versuch BAST 04.03

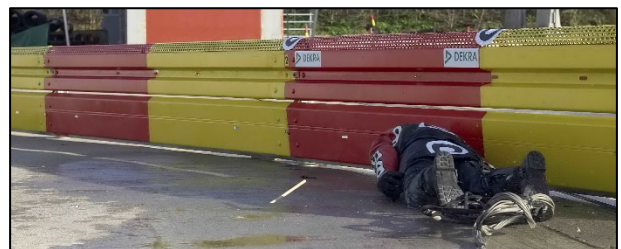


Bild 13 Versuch BAST 04.04

3.1.4.2 Pkw-Anprallprüfungen an ESP mit Euskirchen^{Plus}

Die ESP wurde ebenfalls mit einer Länge von 60 m und entsprechend der Vorgaben der TL-SP errichtet. Zwei Regelabsenkungen wurden am Beginn und Ende installiert. Die Ober- und Unterzüge wurden analog zum Forschungsprojekt FE 03.345 montiert.

Während der Anprallprüfung zeigte sich ein Problem mit dem Unterfahrschutz. Es kommt zu einem Verhaken des linken Vorderrads. Daraus resultiert ein übermäßiges Ausbrechen des Hecks des Pkw und das Fahrzeug verlässt den in der Norm vorgegeben Anprallkorridor zu früh („Boxkriterium nicht erfüllt“).

Dieses Verhalten wurde durch den in Längsrichtung zu nachgiebig konstruierten Unterfahrschutz mit verursacht. Schwierigkeiten bei der Montage des Ober- und Unterfahrschutzes auf dem Testgelände stellten zudem die praktische Anwendung, vor allem in Kurvenbereichen, in Frage. Man entschloss sich daher dazu, für den nächsten Versuch sowohl den Unter- als auch den Oberzug konstruktiv zu überarbeiten.

3.1.4.3 ESP Motorrad

Die konstruktiven Änderungen aus 3.1.3.2 resultierten in der Schutzeinrichtung „ESP Motorrad“. Hierbei wurden die folgenden Punkte abgeändert:

- Die Längssteifigkeit wurde durch die Verwendung von Tropf- anstatt Langlöchern im Stoß des Unterfahrschutzes verstärkt. Die Langlöcher zur Fixierung der Aufhänge-Bügel am Unterfahrschutz wurden beibehalten.
- Die Ausklinkkräfte des Aufhängebügels wurden durch Modifikation des Aufhängebügels verringert. (Dazu wurde anstatt eines Lochs ein nach oben offener Schlitz im Bügel eingebracht. So muss zur Lösung des Bügels vom Pfosten nur die Klemmung der Schraube überwunden werden, die Schraube muss aber nicht brechen.)
- Die Montagefreundlichkeit wurde durch modifizierte Anordnung der Stoßlöcher im Oberzug verbessert. (Die Langlöcher des Lochblechs im Oberzug wurden an einem Ende um 90° gedreht, so dass eine gekreuzte Überdeckung entsteht, durch die viel einfacher die Stoß-Verbindungsschrauben gesteckt werden können.)

3.1.4.4 Anprallprüfungen an ESP Motorrad

Um die Tauglichkeit der Modifikationen zu überprüfen, wurden Anprallprüfungen an die ESP Motorrad durchgeführt.

Die TB-11-Prüfung zeigt ein ähnliches Fahrzeugverhalten wie bei der Prüfung an die EDSP Euskirchen^{Plus} – jedoch nicht so stark ausgeprägt. Die Anprallbox wird in dem Versuch eingehalten - das Abprallverhalten optimiert. Alle weiteren Prüfkriterien werden eingehalten.

Das Fahrzeug bei der TB-32-Prüfung bringt durch die höhere Masse und mehr Geschwindigkeit mehr Energie in die Schutzeinrichtung ein. Dadurch vergrößern sich die Eindringung und die Kontaktstrecke. Der Ablauf ist ähnlich zu dem der TB-11-Prüfung, jedoch fallen die Fahrzeugreaktionen moderater aus.

Beide Prüfungen erfüllen die Anforderungen der DIN EN 1317.



Bild 16 TB 11 an EDSP Euskirchen^{Plus}



Bild 17 TB 32 an EDSP Euskirchen^{Plus}

Bild 18 TB 11 an ESP Euskirchen^{Plus}

Bild 19 TB 11 an ESP Motorrad



Bild 20 TB 32 an ESP Motorrad

3.1.4.5 EDSP Motorrad

Am System Euskirchen^{Plus} an der EDSP wurden daraufhin analoge Änderungen zur ESP vorgenommen, um auch hier die Montageschwierigkeiten zu verringern. Als Ergebnis entstand die EDSP-Motorrad, die analog zur ESP-Motorrad aufgebaut ist. Die Änderungen waren lediglich zur Erhöhung der Montagefreundlichkeit, so dass die Ergebnisse ohne zusätzliche Prüfung übertragen werden konnten.

3.2 Technische Spezifikation der DIN TS 1317-8 zur Prüfung von MPS

Da der Prüfvorschrift DIN TS 1317-8 für die Fragestellung dieses Projektes eine zentrale Bedeutung zukommt, wird diese hier kurz vorgestellt. Die Spezifikation unterscheidet zwischen einem kontinuierlichen Schutzsystem für Motorradfahrer (CMPS) und einem diskontinuierlichen (DMPS). Der hier betrachtete UFS-ESP fällt unter die CMPS, im Folgenden werden daher nur die wichtigsten Aspekte der Prüfung von CMPS vorgestellt. Erschöpfend werden die Prüfungen in [7] behandelt.

3.2.1 Prüfprinzip

Ein Dummy wird auf dem Rücken liegend mit dem Kopf (Helm) voran an das zu prüfende MPS geschossen. Bei dem Dummy handelt es sich um einen leicht modifizierten Dummy vom Typ Hybrid III, „50 Prozent Mann“, der komplett mit Helm und Schutzkleidung ausgestattet wird. Die Modifikationen betreffen hauptsächlich das Becken, die Schulter und den Hals. Samt Ausstattung kommt der Dummy auf eine Masse von ca. 87,5 kg.

Der Winkel mit dem der Dummy auf den UFS trifft beträgt 30°. Die Geschwindigkeit beträgt 60 km/h oder 70 km/h, je nachdem, ob eine höhere oder niedrigere Geschwindigkeitsklasse nachgewiesen werden soll.

Für den Nachweis einer Leistungsklasse werden zwei Anprallversuche mit unterschiedlichen Anprallpunkten durchgeführt. Einmal wird auf einen Pfosten der Schutzeinrichtung (Anprallweg 1) und einmal mittig zwischen zwei Pfosten (Anprallweg 3) gezielt (siehe Bild 21).

Die Belastung am Hals des Dummys wird gemessen und der Ablauf auf Hochgeschwindigkeits-Videos festgehalten.

3.2.2 Abnahmekriterien

Beim Motorradfahrerschutzsystem dürfen keine Längselemente brechen. Der Wirkungsbereich des MPS muss ggf. im Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung berücksichtigt werden. (Unter dem Wirkungsbereich wird die Breite der deformierten Konstruktion, gemessen von der ursprünglichen Vorderkante aus, verstanden).

Der Dummy darf nach der Prüfung nicht im MPS verklemmt sein. Es dürfen sich keine Teile vom Dummy lösen, mit Ausnahme der Arme, da deren Verschraubung im Schultergelenk des Dummys sehr schwach ist. Das Dummy-Fleisch darf keine Riss-, Schnitt- oder Platzverletzungen aufweisen. Keine Körperteile des Dummys, mit Ausnahme der Hände, dürfen hinter den MPS rutschen.

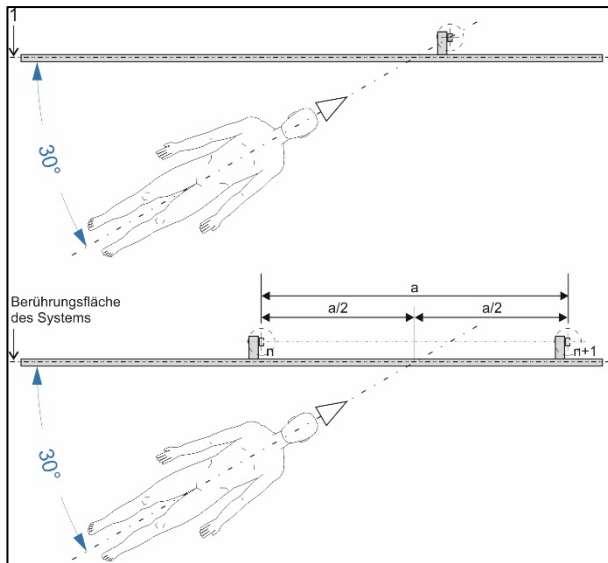


Bild 21 Anprallpunkte für CMPS in TS 1317-8 [7], oben: Anprallweg 1, unten: Anprallweg 3

Die Belastungen des Dummy-Kopfes werden am Dummy-Hals gemessen. Dabei wird zum einen der in der Unfallforschung etablierte HIC36 als Index für die Gefährdung des Kopfes bestimmt. Zum anderen wird die Belastung des Nackens anhand der in Bild 22 illustrierten Messgrößen eingeschätzt.

Bild 7	Bild 8	Bild 9	134	42	190
Bild 10	Bild 11	Bild 12	134	57	190

Bild 22 Messgrößen am Dummy-Hals nach [7]

Für den HIC und die Größen nach Bild 22 gibt es jeweils zwei Grenzwerte (die teilweise zeitabhängig sind). Werden die niedrigeren Grenzwerte eingehalten, führt dies zur Anprallheftigkeitsstufe I. Werden die höheren Grenzwerte eingehalten, führt dies entsprechend zur Anprallheftigkeitsstufe II. Wird nur einer der höheren Grenzwerte überschritten, ist die gesamte Prüfung negativ zu bewerten.

Führt man die Geschwindigkeitsklassen (60 bzw. 70) und die Anprallheftigkeitsstufen zusammen, ergeben sich 4 Leistungsklassen. Diese werden häufig kompakt dargestellt. So steht z. B. „60 km/h, Level II“ für die Geschwindigkeitsklasse 60 mit einer Anprallheftigkeitsstufe II.

3.3 Durchgeführte Anprallversuche an Schutzeinrichtungen mit Unterfahrschutz im europäischen Ausland

Das derzeit noch einzige in Deutschland praxisrelevante MPS ist die Einfache Schutzplanke mit Unterfahrschutz, auch als „System Euskirchen“ bezeichnet. Um eine Verwechslung mit „Euskirchen^{Plus}“ zu vermeiden, wird im Folgenden die offizielle Bezeichnung verwendet. Da diese jedoch recht sperrig ist, wird die Abkürzung ESP-UFS für „Einfache Schutzplanke mit Unterfahrschutz“ verwendet, sofern die gesamte Konstruktion gemeint ist und die Abkürzung UFS-ESP, sofern nur der Unterfahrschutz gemeint ist.

3.3.1 Überblick über geprüfte MPS im europäischen Ausland

Tab. 1 zeigt die in einer umfangreichen Internetrecherche identifizierten MPS, mit Namen, Hersteller und Prüfverfahren.

Insgesamt wurden 33 Motorradfahrerschutzesysteme aus dem europäischen Ausland oder aus Australien identifiziert. Eine genauere Betrachtung legt nahe, dass sich darunter einige Doppelungen befinden, die tatsächliche Zahl ist daher wohl geringer. Da sich die Doppelungen jedoch nicht eindeutig belegen lassen, verbleiben sie in Tab. 1. Die Suche beschränkte sich auf das europäische Ausland, da in diesem Bereich Prüfungen überwiegend nach der technischen Spezifikation TS 1317-8 bzw. der sehr ähnliche spanische Prüfnorm UNE 135900 durchgeführt werden. Prüfungen nach anderen Prüfvorgaben sind wenig hilfreich, da sich die Ergebnisse solcher Prüfungen im Rahmen dieses Projektes nicht auf die vorliegende Fragestellung übertragen lassen.

Sofern sich bei der Suche Adaptionen europäischer geprüfter MPS in Australien zeigten, wurden diese ebenfalls in die Liste aufgenommen. Teilweise wurden auch Prüfungen nach TS 1317-8 in Australien durchgeführt.

3.3.2 Vergleich der Prüfnormen DIN TS 1317-8 und UNE 135900

Betrachtet man die identifizierten Konstruktionen nach Tab. 1 so wird deutlich, dass die wenigsten davon nach der TS 1317-8 geprüft wurden. Ganz überwiegend wurde nach der spanischen Norm UNE 135900 geprüft. Diese Norm ist der TS 1317-8 zwar sehr ähnlich, sie ist aber nicht identisch.

Leider ist nur die neueste Ausgabe dieser Norm erhältlich und diese auch nur in Spanisch. Die Unterschiede zur TS 1317-8 der verschiedenen Ausga-

ben wurden daher aus der Sekundärliteratur, teilweise unter Zuhilfenahme von Übersetzungsprogrammen zusammengestellt. Es kann keine Gewähr für Vollständigkeit gegeben werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die für

dieses Projekt relevanten Unterschiede in Tab. 2 erfasst wurden.

Nr.	Name MPS	Hersteller	SE-Typ	Pfosten- abstand	MPS-Typ	Prüfnorm	Leistungsdaten
1	Moto Protect	Kaufmann, Schweiz	ESP	2,00	UFS	TS 1317-8	60 km/h, Level 1
2	Passco L1 MPS CMPS 60-2-W03	Pass + Co Barrier Systems GmbH, D	ESP	2,00	UFS Mod	TS 1317-8	60 km/h, Level 2
3	SEGURVITAL	INOXMAR, Spanien	EDSP	4,00	C	UNE 135900	60 km/h, Level 1
4	STAR MC Subrail	Hallingplast AS, Norwegen	EDSP	2,00	C	ähnlich 1317-8	nur Video u. Produktbeschr.
5	AS-SM6.B	ASEBAL	EDSP	2,00	UFS Mod	UNE 135900	nur Video
6	BASYC	Proteccion Ssistema Basyc S.L.	EDSP	4,00	C	UNE 135900:2005	60 km/h, Level 2
7	Bike Guard	SGGT	ESP	4,00	UFS	k. A.	nur Produkt- Beschreibung
8	Ingal MPR	Ingal	EDSP ESP	2,00	UFS Mod UFS Mod	k. A.	nur Video u. Produktbeschr.
9	public domain MP Rail	Ingal	EDSP	2,00	UFS	k. A.	nur Produkt- Beschreibung
10	k.A., identisch mit 22 (BLM.ID-N2/01)	Industrias Duero	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
11	Rolling Barrier for Motorbike	KSI Australia	(ESP)	0,66		k. A.	nur Produkt- Beschreibung
12	Bike Guard	Highway Care	ESP	divers	UFS	k. A.	nur Produkt- Beschreibung
13	Flexible protection for fences	ASEIM s.l.	-	n. r.	D	k. A.	nur Produkt- Beschreibung
14	SAFENCE C-Post WRSF	Blue Systems AB	-	n. r.	D	k. A.	nur Produkt- Beschreibung
15	SPM ES-4	HIERROS Y APLANACIONES S.A. (HIASA)	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	70 km/h, Level 1
16	SPM-ES2	HIERROS Y APLANACIONES S.A. (HIASA)	EDSP	2,00	UFS Mod	UNE 135900	70 km/h, Level 1
17	Betonschutzwand im New Jersey- Profil ohne zusätzlichen MPS	k.A. veröffentlicht von AMM (Asociacion Mutua Motero)	-	n. r.	C	k. A.	nur Video
18	Stahlschutzplanke mit Pfostenummantelung	k.A. veröffentlicht von AMM (Asociacion Mutua Motero)	EDSP	n. r.	D	k. A.	nur Video
19	BLM.ID-N2/C2	Industrias Duero	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
20	BLM.ID2-N2/C4 2000	Industrias Duero	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
21	BLM.ID-N2/T4 2000	Industrias Duero	EDSP	2,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
22	BLM.ID-N2/01 (identisch mit 10)	Industrias Duero	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
23	Sistema Protección Motoristas	SPM Compositec	EDSP	4,00	UFS Mod	k. A.	Level 1
24	UFS mit Querschnitt B-Profil Holm	k.A. veröffentlicht von AMM (Asociacion Mutua Motero)	EDSP	k.A.	UFS Mod	k. A.	nur Video
25	AS-SM6.B(C4)	ASEBAL	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
26	AS-SM6.B (T4)	ASEBAL	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
27	Cegasa MPS	CEGASA INTERNACIONAL, S.A.	EDSP	k.A.	C	UNE 135900	60 km/h, Level 1
28	passco SPM	PASS+CO	EDSP	2,00	UFS Mod	UNE 135900	Level 1
29	SPM-ES2	HIERROS Y APLANACIONES S.A. (HIASA)	EDSP	2,00	UFS Mod	UNE 135900	70 km/h, Level 1
30	SPM-ES-4	HIERROS Y APLANACIONES S.A. (HIASA)	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	70 km/h, Level 1
31	SPM4-MT	Mieres Tubos (Grupo Condesa)	EDSP	4,00	UFS Mod	UNE 135900	60 km/h, Level 1
32	EU-2 with MPS	Folksam	ESP	4,00	UFS	anderes Prüfverfahren: mit Motorrad, aufrecht	nur Video
33	Eco-Safe MPS	Gütegemeinschaft Stahlschutz- Planken e.V., D	ESP	2,00 4,00	UFS Mod	(TS 1317-8) Modifikation zu 2	(60 km/h, Level 2) Modifikation zu 2

Tab. 1 Überblick über geprüfte MPS im europäischen Ausland (C: CMPS, D: DMPS, k.A.: keine Angabe, n.r.: nicht relevant, UFS: ähnlich zu UFS-ESP, UFS Mod: nicht ähnlich zu UFS-ESP)

	TS 1317-8	UNE 135900		
		2003	2005	2008
Anprall mittig zwischen Pfosten	x	x	x	x
Anprall an Pfosten	x	x	x	x
In Parallellage an Pfosten	-	3. Test	-	-
60 km /h	x	x	x	x
70 km/h	x	-	-	x
HIC-36	650/1000	500/1000	x	x
Fx	x	k.A.	x	k.A.
Fz, tension	x	k.A.	x	k.A.
Fz, compression, Level 1	x	fixer Grenzwert	wie TS 1317-8 Level 2	k.A.
Fz, compression, Level 2	x	fixer Grenzwert	x	k.A.
Moc_x	134/134	andere Messgröße	x	x
Moc_y, extension	42/57	andere Messgröße	x	x
Moc_y, flex	190/190	andere Messgröße	x	x
Dummy nicht eingeklemmt	x	x	ähnlich	ähnlich
kein Längselement gerissen	x	k.A.	k.A.	k.A.
kein Teil v on Dummy gelöst	x	ähnlich	ähnlich	ähnlich
keine Verletzung des Dummys	x	ähnlich	x	x
keine Dummy-Teile hinter MPS	x	-	x	x
ggf. neuer Wirkungsbereich	x	ähnlich	ähnlich	ähnlich
keine Bruchstücke > 2kg	-	Anf.	Anf.	Anf.
keine Gefährdung Folgeverkehr	-	Anf.	Anf.	Anf.
Legende				
650/1000 u.ä.	Grenzwert Level I / Level II			
x	Anforderung wie in TS 1317-8			
-	nicht enthalten			
k.A.	Messung, aber keine Anforderung			
Anf.	Anforderung abweichend von der in TS 1317-8			
ähnlich	Anforderung ähnlich zu der in TS 1317-8			

Tab. 2 Vergleich der Abnahmekriterien TS 1317-8 und UNE 135900

Es gibt noch eine Fassung der spanischen Norm von 2017. Zu diesem Zeitpunkt war die Entwurfsarbeit an der TS 1317-8 schon weitgehend abgeschlossen und Experten des spanischen Instituts CIDAUT waren daran beteiligt, die auch maßgebend an der spanischen Norm mitgewirkt haben. Diese Fassung wird daher ähnlicher als ihre Vorgänger zur TS 1317-8 sein. Man kann daher davon ausgehen, dass die 2017er-Fassung die gleiche oder eine größere Ähnlichkeit zur TS 1317-8 aufweist. Entsprechend lassen sich Messergebnisse nach der 2017er-Fassung wie solche nach der 2008er-Fassung auswerten.

Ein Blick in Tab. 2 zeigt, dass zwischen den UNE 135900-Fassungen ab 2005 und der TS 1317-8 nur geringe Unterschiede bestehen. Der schwerwiegendste Unterschied besteht in der Bewertung der Halskompression in z-Richtung Fz Stauchung, für die die UNE 135900 nicht zwischen Level 1 und Level 2 unterscheidet. Dies ist jedoch für die Auswertung der geprüften MPS für dieses Projekt wenig relevant, da es zweitrangig ist, welcher Level der Anprallheftigkeit erreicht wird.

Bei MPS, die nach der UNE 135900:2003 geprüft wurden, ist hingegen Vorsicht geboten, da die Halskompression nur mit einem fixen Grenzwert und auch die Halsbiegemomente anders bewertet werden.

3.3.3 Vergleich der im europäischen Ausland geprüften MPS mit der ESP-UFS

Für einige der MPS in Tab. 1 konnten auch Videos gefunden werden. Aus der Analyse dieser Videos wurde entnommen, dass die überwiegende Anzahl der Prüfungen an Stahlschutzeinrichtungen durchgeführt wurden, die ein Distanzstück zwischen Pfosten und Holm aufweisen, also mehr dem Querschnitt einer EDSP als dem einer ESP ähneln.

Da der UFS unterhalb des Holms angebracht wird, hat auch dieser einen Abstand zum Pfosten. Dieser Leerraum zwischen UFS und Pfosten wird möglicherweise genutzt, um die Anprallheftigkeit des Dummys zu verringern. Dieser Raum steht aber beim hier zu untersuchenden System ESP-UFS gar nicht zur Verfügung, da die ESP keine Abstandhalter enthält. Entsprechend kann man die konstruktiven Ansätze der MPS an Schutzeinrichtungen mit Abstandhalter nur sehr eingeschränkt für dieses Projekt nutzen. Daher kommt dem MPS eine besondere Bedeutung zu, die an einer ESP-artigen Schutzeinrichtung, d.h. ohne Abstandhalter, geprüft wurden.

Auch für eine mögliche Übertragung des Systems Euskirchen an eine EDSP können die konstruktiven Ansätze aus den europäischen Konstruktionen nicht direkt genutzt werden, da das Distanzstück und damit der Abstand zwischen MPS und Pfosten bei der EDSP größer ist. Dies ist günstig für die Verringerung der Anprallheftigkeit, das stärkere Zurückweichen kann jedoch ein unerwünschtes Verhalten des MPS begünstigen. So hat das MPS beispielsweise mehr Platz, um zu kippen mit daraus folgender Lückenbildung, wodurch die Gefahr steigt, dass Teile des Dummys hinter das MPS rutschen.

Der Großteil der im europäischen Ausland geprüften MPS liegt damit zwischen den Konstruktionen ESP und EDSP.

Bei dem Anprall mittig zwischen den Pfosten dienen die Pfosten als Tragstützen des UFS. Die Durchbiegung des UFS ist ganz offenbar umso größer, je größer der Abstand der Tragstützen ist. Dem Pfostenabstand kommt damit ebenso eine große Bedeutung bei der Bewertung der Prüfergebnisse für eine mögliche Prüfung an der ESP-UFS zu.

3.3.3.1 MPS, ESP-artig und 4 m-Pfostenabstand

Werden aus Tab. 1 die Konstruktionen herausgefiltert, die an einer ESP-artigen Schutzzeineinrichtung mit 4m-Pfostenabstand geprüft wurden, bleiben nur wenige MPS übrig, deren Bedeutung für das vorliegende Projekt im Folgenden erläutert wird:

- Bike Guard, SGGT (Nr. 7)

Nach Angabe der Studiengesellschaft Stahlschutzplanken e. V. handelt es sich um die originäre ESP-UFS. Es liegen keine Angaben zu weiteren Prüfungen vor, die über die in den vorigen Abschnitten bereits geschilderten Prüfungen hinausgehen.

➔ Kein Erkenntnisgewinn für dieses Projekt.

- EU-2 with MPS, Folksam (Nr. 32)

Bei Folksam handelt es sich nicht um einen Hersteller von MPS, sondern um eine Versicherung, die im Rahmen eines Forschungsprojektes den Einfluss verschiedener Motorradtypen auf den Anprall an eine Schutzplanke mit Unterfahrerschutz untersuchen ließ. Da der Anprall aufrecht erfolgte, ging es weiter um einen Oberzug zum Schutz des Motorradfahrers. Dabei wurde ein eigens vom schwedischen Prüfinstitut VTI entwickeltes Prüfprotokoll verwendet, das sich an das in den vorigen Abschnitten beschriebene Prüfprotokoll für den aufrechten Anprall anlehnt.

➔ Kein Erkenntnisgewinn für dieses Projekt.

- Eco-Safe MPS an Eco Safe 4.0, Gütegemeinschaft Stahlschutzplanken e. V. (Nr. 33)

Es handelt sich um eine Modifikation des Passco L1 MPS (Nr. 2). Das MPS wurde an die Stahlschutzplanke Eco-Safe für den Pfostenabstand 2 m und 4 m so angepasst, dass keine erneute Prüfung nach TS 1317-8 erforderlich war. Für dieses MPS wurde seitens der Studiengesellschaft Stahlschutzplanken eine umfangreiche technische Beschreibung zur Verfügung gestellt. Leider war das Projekt zu diesem Zeitpunkt bereits so weit fortgeschritten, dass diese Daten nicht mehr eingehen konnten. Die wesentlichen technischen Merkmale wurden aber in Form des Passco L1 MPS (Nr. 2) berücksichtigt, welches allerdings einen anderen Pfostenabstand aufweist.

Wie bereits oben erläutert, ist das Kriterium „ESP-artig“ besonders wichtig für das Verhalten beim Anprall an den Pfosten und das Kriterium „4-m-Pfostenabstand“ besonders wichtig für das Verhalten beim Anprall zwischen den Pfosten. Da es kein ausagekräftiges System gibt, welches beide Kriterien erfüllt, werden im Folgenden beide Kriterien getrennt betrachtet. Bei den ESP-artigen steht dabei der Anprall an den Pfosten im Fokus, bei denen mit 4-m-Pfostenabstand der Anprall mittig zwischen die Pfosten.

3.3.3.2 MPS, ESP-artig, für Pfostenabstand ungleich 4 m

- Moto Protect, Kaufmann (Nr. 1)

Auf der Homepage des Herstellers findet sich eine Broschüre zum MPS [11]. In dieser Quelle finden sich Fotos der Konstruktion offenbar auf dem Testgelände. Neben der Broschüre zeigt die Homepage des Herstellers weitere Fotos des MPS [12]. In dieser Quelle finden sich auch Fotos realer Installationen am Straßenrand, die eine große Ähnlichkeit des UFS der Moto Protect mit dem UFS-ESP erkennen lassen. Einige Bilder in [12] zeigen hingegen, dass die Aufhängung mit anderen Bügeln und im Bereich der Pfosten (statt dazwischen) erfolgt. Ein Vergleich der Fotos in [11] (Prüfgebiet) und [12] (Straßenrand) zeigt, dass der UFS in der Prüfung eine auffallend spiegelnde Oberfläche zeigt. Während die Fotos vom Straßenrand die typische Oberfläche eines feuerverzinkten Baustahls zeigt, weist die stark spiegelnde Oberfläche auf eine andere Oberflächenbehandlung und/oder ein anderes Material hin. In jedem Fall weist der geprüfte UFS im Vergleich zu dem hier untersuchten UFS eine stärker spiegelnde und daher vermutlich glattere Oberfläche auf. Somit könnte eine reduzierte Reibung zwischen UFS und Dummy vorliegen. In der Betreuerkreissitzung zu diesem Projekt wurde jedoch darauf hingewiesen, dass die Oberfläche eines feuerverzinkten Baustahls in jedem Fall einen sehr geringen Reibbeiwert aufweise und daher die reflektierende Oberfläche keinen Rückschluss auf eine niedrigere Reibung zuließe.

Fotos in [11] und [12] zeigen, dass zwischen Pfosten und UFS jeweils ein Aufhängebügel montiert ist. Dieser Bügel dient offenbar nicht nur der Aufhängung. Der Hersteller selbst spricht in [11] von einem „Absorptionsbügel“ und nennt die Konstruktion insgesamt „stoßdämpfend“.

Auf der Homepage des Herstellers finden sich auch Hinweise auf einen andersartigen Bügel zur vereinfachten Montage. Es ist nicht klar, welcher Bügel genau in der Anprallprüfung montiert war. Die Energieabsorption dürfte jedoch auf dem Querschnitt eines aufgebogenen „U“ beruhen. Diesen Querschnitt weisen beide Bügel-Varianten auf.

Für das vorliegende Projekt lässt sich daraus der Hinweis ableiten, dass zwischen UFS und Pfosten ein Deformationselement benötigt wird

- Passco L1 MPS (CMPS 60-2-W03) der Fa. Pass + Co Barrier Systems (Nr. 2).

Zu diesem MPS liegt erfreulicherweise eine detaillierte technische Zeichnung mit vielen konstruktiven Detailinformationen vor [13].

Die Konstruktion lässt geometrisch eine Ähnlichkeit zum UFS-ESP erkennen, tatsächlich liegt jedoch mit S355¹ ein höherfester Stahl mit nur 1,5 mm Stärke vor [13]. Wie beim UFS-ESP erfolgt die Aufhängung an Laschen zwischen den Pfosten.

Die geringe Materialstärke ist auffällig, da in der Praxis Beschädigungen des UFS bei der Schneeräumung zu befürchten sind. Leider liegen noch keine Praxiserfahrungen zu dieser Frage vor. Es kann davon ausgegangen werden, dass die geringe Materialstärke für das Bestehen der Anforderungen der EN 1317-8 vom Hersteller als erforderlich angesehen wurde. Offenbar dient die geringe Materialstärke dazu, die Steifigkeit des Unterfahrschutzes und damit die Anprallheftigkeit zu verringern.

- Eco-Safe MPS für Eco Safe 2.0 (Nr. 33)

Analog zu Passco L1.

Für dieses Projekt kann aus dem Passco und Eco-Safe MPS der Hinweis abgeleitet werden, dass der UFS-ESP im Bereich des Pfostens „weicher“ gestaltet werden muss.

- Ingal MPR, Ingal (Nr. 8)

Der UFS wird auch zum Einsatz an ESP-artige Konstruktionen angeboten. Es liegen jedoch keine Angaben zur Prüfung an einer ESP-artigen Schutzeinrichtung vor.

- Rolling Barrier for Motorbike, KSI Australia (Nr. 11)

Die Konstruktion ist zum Einsatz an einer Schutzeinrichtung mit ungewöhnlichem Design vorgesehen. Die Grundkonstruktion ist dabei annähernd ESP-artig. Im Unterschied zur ESP wird der Holm in Längsrichtung mittig geteilt, die obere Hälfte nach oben verschoben und zwischen den Holmhälften werden Rollen-Elemente angebracht, vermutlich um das Abgleiten von Fahrzeugen zu vereinfachen. Es liegen jedoch keine Angaben zur Prüfung des UFS vor.

- Bike Guard, Highway Care (Nr. 12)

Augenscheinlich baugleich mit UFS-ESP. Möglicherweise wurde die Aufhängung adaptiert. Es liegen jedoch keine Angaben zur Prüfung des UFS vor.

- EU-2 with MPS, Folksam (Nr. 32)

Siehe Abschnitt 3.2.3.1.

3.3.3.3 MPS, 4-m-Pfostenabstand

Die hier betrachteten MPS sind nicht ESP-artig, d.h. der Anprall zwischen den Pfosten ist besonders interessant. Tab. 1 kann entnommen werden, dass eine ganze Reihe solcher Konstruktionen diese Anforderung erfüllen. Die Auswertung konzentriert sich daher auf solche MPS, für die auch Videos zum Versuch TM 3.60 vorliegen.

- BASYC, Proteccion Sistema Basyc S.L. (Nr. 6)

Bei diesem UFS handelt es sich um eine textile Bahn, die von der Vorderkante des Holms bis zum Boden heruntergespannt wird und als CMPS über die ganze Länge des MPS weitergeführt wird. Konstruktiv weist dieser UFS große Unterschiede zum UFS-ESP auf. Vergleicht man die Anprallvideos des Tests TM 3.60 mit dem UFS „BLM.ID-N2/01“ (Nr. 10 und Nr. 22), so zeigt sich zumindest im ersten Teil des Anpralls ein analoges Verhalten des Dummys.

Das ist sehr günstig, da nur für dieses MPS alle Prüfberichte und Videos zur Verfügung stehen. Um Hinweise darauf zu finden, welche Grenzwerte für einen weichen UFS bei der Prüfung TM 3.60 kritisch sind, wurden die Messwerte am Dummy-Hals für den UFS BASYC ausgewertet und berechnet, welcher Prozentsatz der jeweiligen Grenzwerte für den Level II erreicht wurden. Je höher der Prozentsatz, umso wahrscheinlicher erscheint eine Überschreitung des Grenzwertes bei einer Prüfung des UFS-ESP, d.h. umso kritischer ist die Messgröße.

¹ Nach den vorliegenden technischen Unterlagen handelt es sich um Stahl der Güte S355. Laut Studiengesellschaft Stahlschutzplanken e. V. wird in den Prüfberichten nach

TS 1317-8 die Stahlgüte S235 ausgewiesen. Die Prüfberichte liegen jedoch im Projekt nicht vor, daher wird im Folgenden von der Güte S355 ausgegangen, entsprechend der vorliegenden Dokumentation.

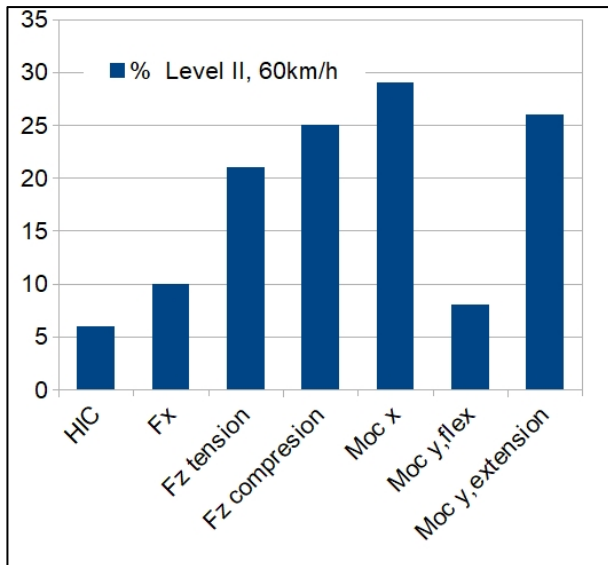


Bild 23 So nahe kamen die Messwerte bei der Prüfung TM 3.60 an dem UFS "BASYC" ihrem jeweiligen Grenzwert in Prozent. Für die Größen Fx, Fz Streckung und Fz Stauchung sind die Grenzwerte zeitanhängig, es wurde die größte Annäherung näherungsweise aus den Messgraphen bestimmt. Datengrundlage: [15]

Bild 23 zeigt, dass es vier herausragende Messwerte gibt: die Hals-Streckung (F_z Streckung), die Hals-Stauchung (F_z Stauchung), die seitliche Kopfbiegung (M_{OCx}) und Kopfüberstreckung nach hinten (M_{OCy} extension). Die Größen sind in Bild 24 anschaulich illustriert.

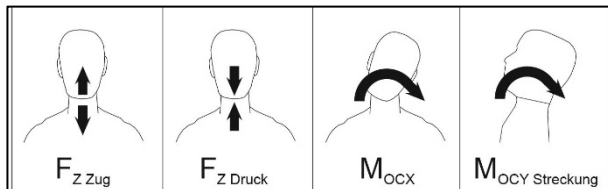


Bild 24 Illustration der kritischen Dummy-Messgrößen nach [7].

Die weitere Auswertung der Messgraphen in [15] zeigt, dass diese vier Messgrößen zu unterschiedlichen Zeiten die größte Annäherung an den Grenzwert erreichen:

1. $t = 25$ ms: die Halskompression,
2. $t = 60$ ms, die Halsstreckung
3. $t = 100$ ms, die seitliche Kopfbiegung
4. $t = 110$ ms, die Kopf-Überstreckung nach hinten

Im Fall der Kopf-Überstreckung gibt es jedoch auch ein kleineres Maximum bei 25 ms. Zu diesem Zeitpunkt wird etwa 18% des Grenzwertes erreicht.

Für das vorliegende Projekt führt dies zu dem Hinweis, dass beim Primärprall die Hals-Kompression, die Hals-Streckung und die Kopfüberstreckung nach hinten kritisch werden könnten.

Ob die seitliche Kopfbiegung auch bei Prüfung des UFS-ESP kritisch werden kann, muss offen bleiben da zu dem späten Zeitpunkt der Einfluss der konstruktiven Unterschiede auf die Messwerte maßgebend sein könnte.

- BLM.ID-N2/01, Industrias Duero (Nr. 10 u. Nr. 22)

Die Daten zu den Einträgen Nr. 10 und Nr. 22 stammen aus verschiedenen Quellen, erst im Laufe der Analyse konnte klar gezeigt werden, dass es sich um baugleiche Konstruktionen handelt.

Dieser metallische UFS ist dem UFS-ESP ähnlich. Die Aufhängung weist zwei interessante Unterschiede auf. Zum einen finden sich Aufhängebügel im Pfostenbereich, diese Maßnahme wurde bereits im Abschnitt 3.3.3.2 diskutiert. Zwischen den Pfosten befindet sich auch ein Aufhängebügel. Zum anderen werden Doppelbügel eingesetzt, deren Prinzip in Bild 25 skizziert wird.

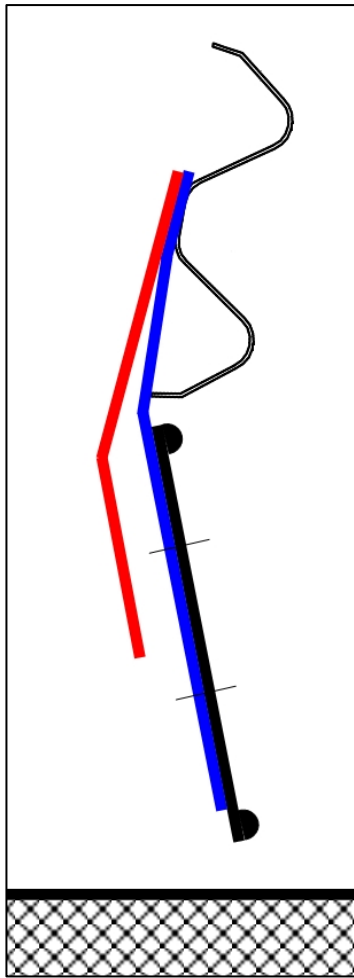


Bild 25 Skizze des Querschnitts mit Doppelbügel (rot, blau) des UFS BLM.ID-N2/01 (Nr. 10 u. Nr. 22) nach [16] als Verbindung zwischen Holm (oben) und UFS (unten).

Dieser Doppelbügel besteht offenbar aus einem Aufhängebügel mit geringerer Stärke und einem rückwärtigen Stützbügel mit größerer Materialstärke. Der Stützbügel soll vermutlich eine zu große Durchbiegung des UFS verhindern. Ein weiterer auffälliger Unterschied zur Aufhängung des UFS-ESP liegt darin, dass der Aufhängebügel statt mit einer mittigen mit zwei randnahen Schrauben mit dem UFS-Blech verschraubt ist.

Damit soll offenbar ein kontrollierteres Verhalten des UFS erreicht werden, insbesondere soll offenbar ein Kippen des UFS erschwert werden. Dies deutet darauf hin, dass Probleme mit durchrutschenden Dummy-Teilen (z. B. Arm) gesehen werden.

Dies wird auch gestützt durch die Front-Gestaltung des UFS. Durch die Aufkantung an den Rändern entsteht eine Gleitschiene für den Dummy (angedeutet in Bild 25).

3.3.4 Vergleich eines in Australien geprüften MPS mit der ESP-UFS

Es wurde nur eine Quelle für eine außereuropäische Prüfung nach DIN TS 1317-8 gefunden. Dies ist auch nicht verwunderlich, da es sich um eine europäische Vornorm handelt.

Das Centre for Road Safety, Transport for NSW (New South Wales), Sydney, Australia hat einige Konstruktionen nach EN TS 1317-8 geprüft [17]. Dabei wurde auch ein MPS geprüft, welches als „public domain“ System bezeichnet wurde. Nach den Fotos besteht große Ähnlichkeit mit dem UFS-ESP ([17]). Nachfragen in Australien nach weiteren technischen Details wurden leider nur sehr verzögert und ohne weitere Angaben beantwortet.

Der UFS ähnelt im Querschnitt anscheinend dem UFS-ESP. Bei dem Bügel ergeben sich Abweichungen. Es werden keine Angaben zum Pfostenabstand gemacht. Den Fotos in [17] lässt sich entnehmen, dass es zwischen den Stößen des Holms einen weiteren Pfosten gibt. Es konnte kein Hinweis darauf gefunden werden, dass die Raster-Länge des Holms von den üblichen 4 m abweicht. Höchstwahrscheinlich beträgt der Pfostenabstand daher 2 m. Das Resultat der Prüfung nach DIN TS 1317-8 für das „Public Domain“-System zeigt Tab. 3.

Die Resultate werden in [17] tabellarisch dokumentiert, ohne genaue Definition der Einträge. Diese müssen daher interpretiert werden. Um dies möglichst transparent zu tun, wurden in Tab. 3 die Original-Einträge auszugsweise übernommen, lediglich die Formatierung wurde geändert, um die Lesbarkeit zu verbessern. Die Interpretation der Einträge wird im Folgenden erläutert:

- ➔ Die Spalte „Mid-spam 60 km/h“ zeigt die Resultate für den Anprall zwischen den Pfosten (Anprallweg 3) bei einer Anprallgeschwindigkeit von 60 km/h (Geschwindigkeitsklasse 60).
- ➔ Die Spalte „Post-centered 60 km/h“ zeigt die Resultate für den Anprall auf den Pfosten (Anprallweg 1) bei einer Anprallgeschwindigkeit von 60 km/h (Geschwindigkeitsklasse 60).
- ➔ Die Spalte „Mid-spam 70 km/h“ entspricht der „Mid-spam 60 km/h“, nur für die höhere Geschwindigkeitsklasse 70.

	Mid-spam 60 km/h	Post-centered 60 km/h	Mid-Spam 70 km/h
Head Injury Criterion (HIC ₃₆)	344	492	487
Neck shear (kN)	0,6	-0,4	1,0
Neck tension (kN)	1,8	2,3	4,0
Neck compression (kN)	5,9	3,6	6,3
Neck lateral bending (Nm)	96,3	-66,2	104,5
Neck extension (Nm)	13,2	25,6	24,4
Neck flexion (Nm)	14,4	24,8	38,0
Injury Criteria	Not met	Severity II	Not met
ATD Criteria	Not met	Not met	Not met
MPS Criteria	Met	Met	Met
Overall test	Not met	Met	Not met

Tab. 3 Prüfergebnisse nach EN TS 1317-8 des Centre for Road Safety, Transport for NSW, Sydney, Australia an einem "Public-Domain"-MPS, dessen UFS dem UFS-ESP ähnlich scheint [17].

Die einzelnen Zeilen enthalten die Abnahme- bzw. Beurteilungsgrößen nach EN TS 1317-8. Die ersten Zeilen zeigen die Messungen am Dummy-Kopf und -Hals, deren Ergebnisse in der Zeile „Injury criteria“ zusammengefasst werden. In der Zeile „ATD criteria“ geht es um die Frage, ob mehr als eine Hand des Dummys hinter das MPS gelangt ist, er im UFS hängengeblieben ist, oder ob unzulässige Beschädigungen am Dummy aufgetreten sind. Die Zeile „MPS criteria“ drückt aus, ob ein Längselement des MPS gerissen ist. In der letzten Zeile („Overall test“) wird das Gesamt-Testergebnis zusammengefasst. Dabei hat sich offenbar ein Fehler eingeschlichen. Im Text des Artikels heißt es ganz klar, dass der Test in allen drei Fällen nicht bestanden wurde. Diese Bewertung passt auch zu den übrigen Einträgen in Tab. 3 Prüfergebnisse nach EN TS 1317-8 des Centre for Road Safety, Transport for NSW, Sydney, Australia an einem "Public-Domain"-MPS, dessen UFS dem UFS-ESP ähnlich scheint [17]. Offenbar müsste es daher in allen drei Spalten korrekt „not met“ (nicht bestanden) heißen.

Hellgrau unterlegte Werte liegen außerhalb von Anprallheftigkeitsstufe I, aber noch innerhalb der Stufe II. Dunkelgrau unterlegte Werte liegen außerhalb beider Anprallheftigkeitsstufen, d.h. die Belastungen des Dummys sind höher als von der DIN EN 1317-8 erlaubt.

Tab. 3 lässt sich entnehmen, dass die Druckkraft auf den Dummy und das Durchrutschen von Teilen des Dummys die kritischen Parameter darstellen. (Die Halsdehnung kommt erst ab Geschwindigkeitsstufe 70 hinzu.) Ob Teile des Dummys durchrutschen hängt auch von den exakten Abmessungen des UFS ab. Mangels detaillierterer technischer Informationen, bleibt unklar, wie relevant dies für das vorliegende Projekt ist.

Es bleibt festzuhalten, dass die Druckkraft auf den Hals einen kritischen Wert erreicht. Die Ergebnisse des Anprallwegs 3 lassen sich aufgrund der unterschiedlichen Pfostenabstände nicht unmittelbar auf den UFS-ESP übertragen. Beim Pfostenanprall (Anprallweg 1) bleibt der Wert jedoch noch innerhalb der Anprallheftigkeitsstufe II.

3.4 Auswertung der durchgeführten Anprallversuche

Die durchgeführten Pkw-Anprallversuche zeigen auf, dass ein UFS das Verhalten unter Anprall erheblich beeinflussen kann. Es ist möglich, dass zwar die Schutzeinrichtung allein die Normen DIN EN 1317-1/2 erfüllt, nicht jedoch die Kombination aus Schutzeinrichtung und Unterfahrschutz.

Für die ESP-UFS ist die Erfüllung der DIN EN 1317-1/2 nachgewiesen. Wird der UFS geändert, kann sich dies jedoch ändern. Es empfiehlt sich daher die Änderungen so gering wie möglich zu halten. Dies gilt insbesondere für die Verschraubung.

Der in Abschnitt 3.1.3.4 beschriebene Dummyanprall wurde mit einem instrumentierten Dummy durchgeführt. Dieser wurde aber nicht wie in der DIN EN 1317-8 gefordert auf dem Rücken liegend, sondern auf dem Bauch liegend durchgeführt. Dies erschien in dem Projekt als die wahrscheinlichere Anprallsituation eines rutschenden Motorradfahrers. Auch der Anprallwinkel (25°) und die Anprallgeschwindigkeit (30 km/h) des Dummys waren kleiner als im Teil 8.

Der Unterfahrschutz war gleich dem UFS-ESP aus 3.1.3.4, die Anbringung erfolgte jedoch nicht am Holm sondern am Pfosten. Der Anprallpunkt lag nicht am Pfosten oder mittig zwischen den beiden

Pfosten wie in Teil 8 gefordert. Bei dem Versuch lag der Anprallpunkt im Dreifelpunkt des Unterfahr-schutzes vor dem Pfosten.

Die gemessenen Werte aus dem damals durchge-führten Versuch wurden überarbeitet und ange-passt, um Rückschlüsse auf einige der zu erwarten-den Messwerte beim Anprall an den UFS-ESP nach DIN TS 1317-8 ziehen zu können. So wurden die Werte entsprechend dem Teil 8 erneut eingelesen, neu ausgerichtet und bewertet. Außerdem wurden die geringere Geschwindigkeit und der geringere Anprallwinkel energetisch betrachtet und die ge-messenen Werte dahingehend korrigiert.

Der HIC war beim 25-Grad-Anprall mit einem Wert von 23 unkritisch. Durch einen höheren Energieein-trag (78 % mehr Energie durch die höhere Ge-schwindigkeit und 8 % mehr durch den größeren Winkel) sollte dieser Wert vermutlich unkritisch blei-ben.

Bei der Hochrechnung der anderen Werte war beim Wert $MOCY_{Streckung}$ eine Überschreitung des Level-I ersichtlich, Bild 26. Durch das beobachtete Dummy-Verhalten wurde eine Überschreitung dieses Werts jedoch als eher unwahrscheinlich angenommen.

Für die Halsdruckkraft wurde eine höhere Änderung prognostiziert. Der höhere Energieeintrag in Folge der höheren Geschwindigkeit und des größeren Winkels würde direkte Auswirkungen auf die Hals-druckkräfte haben. Eine Hochrechnung der Mess-werte (Bild 26) ergab jedoch auch hier Werte, die sich weit unterhalb der Grenzwerte befanden.

Stufe der Anprallhöhe	Zulässige Höchstwerte						
	Kopf	Nacken					
	HIC ₃₆	F _x	F _z Zug	F _z Druck	MOC _x	MOC _y Streckung	MOC _y Beugung
	[]	[N]			[Nm]		
I	650	Bild 7	Bild 8	Bild 9	134	42	190
II	1.000	Bild 10	Bild 11	Bild 12	134	57	190
BAST 04.04 IST-Werte (25° / 45 km/h)							
	23	-	-	-	33,56	28,57	20,56
I	4 %	-	-	-	25 %	68 %	11 %
II	2 %	-	-	-		50%	
BAST 04.04 hochgerechnet auf Anprall nach 1317-8 (30° / 60 km/h)							
	-	-	-	-	59,7	50,9	36,6
I	-	-	-	-	45 %	122 %	19 %
II	-	-	-	-		89 %	

Bild 26 Prognostizierte Werte für BAST 04.04 und Anfor-derungen nach [7]

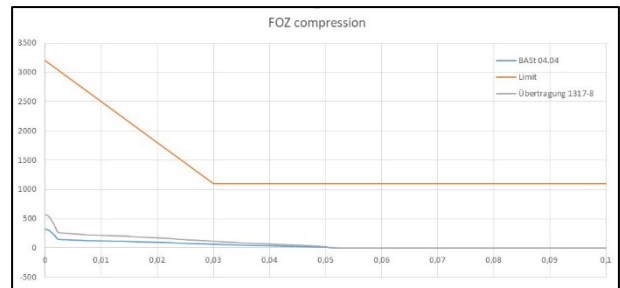


Bild 27 Änderung der Halsdruckkräfte bei BAST 04.04 durch höheren Energieeintrag

Die im Abschnitt 3.2 gewonnenen Erkenntnisse wurden unter folgenden Fragestellungen ausgewer-tet:

1. Welche Aussicht besteht für den UFS-ESP die Anforderungen nach DIN TS 1317-8 zu erfüllen?
2. Welcher Anprall (Anprallweg 1 – auf den Pfosten oder Anprallweg 3 – zwischen den Pfosten) ist als kritischer einzustufen?
3. Sind Modifikationen am UFS-ESP erforder-lich?

Zur Einschätzung, ob der UFS-ESP geeignet ist, die Anforderungen der DIN TS 1317-8 zu erfüllen, fin-den sich gegensätzliche Hinweise.

Der UFS Nr. 1 in Tab. 1 zeigt eine sehr große Ähn-lichkeit mit dem UFS-ESP. Die Anforderung der DIN EN 1317-8 wurden sogar für den höheren Level I bestanden. Dies weist darauf hin, dass der UFS-ESP geeignet ist, die DIN TS 1317-8 zu erfüllen.

UFS Nr. 2 in Tab. 1 legt das Gegenteil nahe. Es handelt sich um einen deutschen Hersteller, der mit einem UFS ähnlich dem UFS-ESP in der Entwick-lung startete, diesen jedoch als untauglich verwarf und daher zu einem hinsichtlich Materialstärke und Querschnitt abweichenden UFS kam. Dies weist darauf hin, dass der UFS-ESP nicht geeignet ist, die DIN TS 1317-8 zu erfüllen.

Die Versuche in Australien (Abschnitt 3.3.4) weisen darauf hin, dass die Anforderungen der Geschwin-digkeitsklasse 2 für den Anprallweg 1 erfüllt werden können, sofern keine Dummy-Teile durchrutschen. Aufgrund eines früheren Dummy-Versuchs (Ab-schnitt 3.3.3.3) erscheint das Durchrutschen von Teilen des Dummys als unwahrscheinlich. Die An-forderungen des Anprallwegs 1 könnten daher durchaus erfüllt werden.

- ➔ Insgesamt wurden hinreichende Hinweise darauf zusammengetragen, dass die Er-folgsaussichten einer Prüfung des UFS-ESP groß genug sind, um die Prüfung im Rahmen dieses Projektes durchzuführen.

Für den Anprallweg 1 zeigen die Versuche in Australien (Abschnitt 3.3.4), dass Probleme mit der Anprallheftigkeit zu erwarten sind. Aufgrund des geringeren Abstandes des UFS zum Pfosten ist bei der ESP-UFS die Situation noch ungünstiger einzuschätzen.

Der Vergleich mit erfolgreich geprüften MPS mit 4 m Pfostenabstand in Abschnitt 3.3.3.3 deutet auf geringe Probleme mit der Anprallheftigkeit hin, da in Bild 23 alle Parameter unterhalb von 30 % des Grenzwertes bleiben. Der zweiteilige Bügel bei MPS Nr. 10 und Nr. 22 in Tab. 1 (siehe auch Abschnitt 3.3.3.3) soll die Abstützung des UFS verbessern, was auf Probleme hinsichtlich des Durchrutschens von Teilen des Dummies hindeutet.

Für den Anprallweg 3 sind daher Probleme beim Durchrutschen von Teilen des Dummies zu erwarten.

- Insgesamt sind die Hinweise auf Probleme bei Anprallweg 1 als konkreter anzusehen. Der Anprall auf den Pfosten ist daher als der kritischere anzusehen.

Die Versuche in Australien (Abschnitt 3.3.4) weisen darauf hin, dass selbst bei einem größeren Abstand zwischen UFS und Pfosten die Anforderungen an die Anprallheftigkeit nur knapp erfüllt werden. Aufgrund des geringeren Abstands zum Pfosten kann der UFS-ESP weniger zurückweichen, es ist daher eine tendenziell höhere Anprallheftigkeit zu erwarten. Da es nicht möglich ist, den Abstand zwischen Pfosten und UFS zu erhöhen, erscheint es sinnvoll, ein Deformationselement zwischen Pfosten und Unterfahrerschutz anzubringen.

- Zwischen UFS und Pfosten wird ein Deformationselement verwendet.

4 Erste Versuchsreihe

4.1 Auswahl und Auslegung des zu prüfenden MPS

Wie in den vorigen Abschnitten abgeleitet, wurde in der ersten Versuchsreihe die ESP mit Unterfahrerschutz geprüft. Diese sollte möglichst wenig und wenn dann möglichst nachrüstbar umgestaltet werden.

Wie in Abschnitt 3.4 ausgeführt, sollte als einzige Änderung ein Deformationselement zwischen Pfosten und Unterfahrerschutz angebracht werden.

Ein erster Entwurf des Deformationselements wurde in der 1. Betreuerkreissitzung vorgestellt und

hinsichtlich Montagefreundlichkeit und Herstellbarkeit, insbesondere mit den Industrievertretern im Betreuerkreis, abgestimmt. Die finale abgestimmte Version des Deformationselements zeigen Bild 28 und Bild 29.

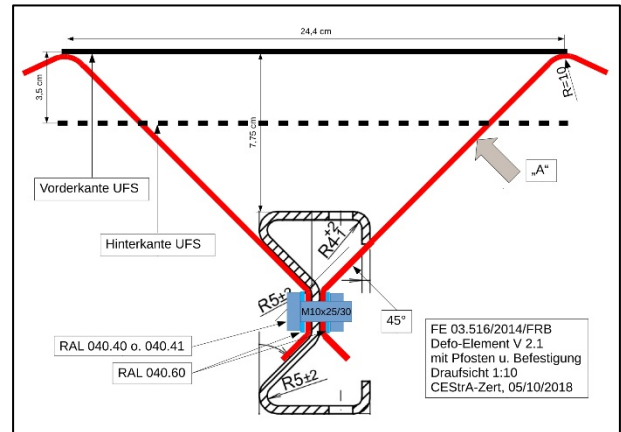


Bild 28 Zweiteiliges Deformationselement (rot) in der Draufsicht, montiert an Sigma-Pfosten der ESP

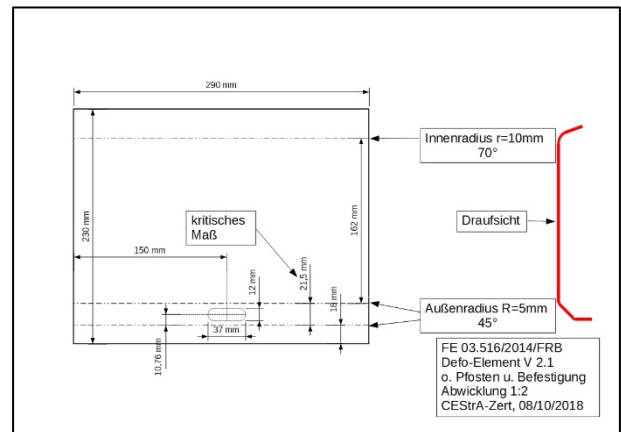


Bild 29 Ein Teil des zweiteiligen Deformationselements in der Abwicklung

Die Blechstärke wurde im Betreuerkreis nicht festgelegt. Dieser kommt aber für die Steifigkeit des Deformationselements eine große Bedeutung zu. Da keinerlei Erfahrungswerte für diese Form und dieses Einsatzgebiet vorlagen, wurde mittels statischer Abschätzungen ein sinnvoller Bereich für die Blechstärke bestimmt. Dazu wurde über das Flächenträgheitsmoment das Biegeverstandsmoment berechnet und daraus wiederum die auf den Dummy wirkende Kraft und deren Richtung bestimmt. Trotz der präzisen Berechnungen handelt es sich nur um eine grobe Näherung, da die relevante Vertikalkraft² mit zunehmendem Aufbiegen des Deformationselements stark abfällt und die Biegesteifigkeit des Unterfahrerschutzes nicht bekannt ist.

² Vertikal zum Unterfahrerschutz.

Als Ergebnis zeigte sich, dass ein vielversprechender Bereich der Blechstärken zwischen 2 und 4 mm liegt.

4.2 Ablauf der Versuchsreihe

Für die erste Versuchsreihe waren im Vorfeld drei Versuche eingeplant. Nach dem jeweiligen Versuch gab es unterschiedliche Verfahrensweisen, je nach Ergebnis. Der erste Versuch SH 18.58 war als Anprall am Pfosten mit 60 km/h vorgesehen.

Bei einem positiven Ausgang wäre als zweiter Versuch der Anprall zwischen den Pfosten durchgeführt worden. Wenn auch dieser gut verlaufen wäre und die gemessene Anprallheftigkeit so niedrig gewesen wäre, dass das Deformationselement entbehrlich erschiene, wäre der Anprall auf den Pfosten ohne Deformationselement wiederholt worden.

Sofern beim ersten Anprall auf den Pfosten kein positives Ergebnis erzielt worden wäre, sollte die Versuchsreihe mit einem modifizierten Deformationselement fortgesetzt werden, sofern sich dadurch eine Verbesserung des Ergebnisses erwarten ließe.

Die Nachgiebigkeit des Deformationselements lässt sich durch Wahl der Wandstärke des Bleches steuern. Um möglichst viele Varianten abzudecken, wurden für die Versuchsreihe nicht nur Deformationselemente mit einer Wandstärke, sondern mit vier verschiedenen Wandstärken (2, 3, 4 und 5 mm) zur Verfügung gestellt. Gegenüber der Einschätzung in Abschnitt 4.1 wurde die Wandstärke 5 mm zusätzlich aufgenommen für den Fall, dass sich der Pfostenanschlag als so heftig herausstellen sollte, dass dieser auf jeden Fall verhindert werden muss.

Begonnen wurde die Versuchsreihe mit einem Deformationselement mit 3 mm Wandstärke (Mittelwert der Abschätzung in Abschnitt 4.1).

4.3 Schutzeinrichtung

Als Schutzeinrichtung wurde eine einfache Stahlenschutzplanke mit Pfostenabstand 4 m verwendet, siehe Bild 30. Der Holm der Schutzeinrichtung war im B-Profil ausgeführt. Es wurden, analog zur Erstprüfung, 60 m ESP 4.0 aufgebaut. Am Anfang und Ende der Schutzeinrichtung war jeweils eine 12-m-Regelabsenkung verbaut.



Bild 30 ESP 4.0 mit angebrachtem Unterfahrerschutz und Deformationselementen

4.4 Modifikation des MPS

Mehrere Entwürfe für das Deformationselement wurden dem Betreuerkreis als Entscheidungsgrundlage vorgelegt. Die Wahl fiel auf einen zweiteiligen Entwurf, siehe Bild 31.

Zur Anbringung der beiden Teile des Deformationselements musste ein Loch im Pfosten gebohrt werden. Mittels einer Schraube M 10x45 8.8 (Teile-Nr. 040.54 [18]), zwei Unterlegscheiben und einer Mutter wurden beide Teile am Pfosten befestigt. Beim ersten Versuch wurde die 3-mm-Variante der Deformationselemente verwendet.

Der Unterfahrerschutz und dessen Aufhängung entspricht dem der „Einfachen Schutzplanke mit Unterfahrerschutz (ESP-UFS)“ (RAL Zeichnung: S5.2-101 [18])



Bild 31 Zweiteiliges Deformationselement in der praktischen Umsetzung

4.5 Dummy

Der Teil 8 der EN 1317 fordert einen Dummy vom Typ Hybrid III 50th percentile male mit diversen Modifikationen. So wird anstatt des normalen Beckens ein sogenanntes Stehbecken verbaut. Dieses dient in der Regel dazu, den Dummy aufrecht stellen zu können. Zusätzlich wird der Hals gegen einen Hals mit 6-axialem Messglied getauscht. Dies ist zugleich die wichtigste Modifikation, da viele Bestehens-Kriterien aus diesen Messdaten generiert werden. Die Schulter wird ebenfalls getauscht, sie wird durch ein brechbares Schultergelenk ersetzt. Eine

Halskrause, die dem Halsfleisch ähnelt, wurde ebenso eingesetzt wie definierte Motorradbekleidung.

Als Helm wurde der in Teil 8 genannte Referenzhelm NZI Active in der Größe 57 verwendet. Dieser Integralhelm wurde dem Dummy mit Hilfe der Helmschablone aufgesetzt, siehe Bild 32.

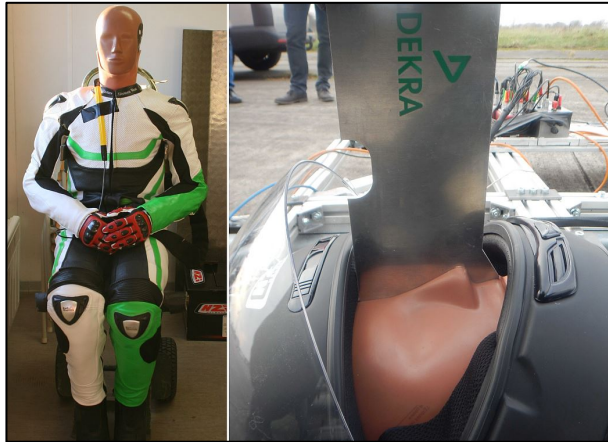


Bild 32 Eingesetzter Dummy HIII 50th percentile male

4.6 Versuchsdurchführung

Der erste Anprallversuch (SH 18.58) wurde am 28. November 2018 auf dem DEKRA-Testgelände in Eggebek durchgeführt; Bild 33 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung.



Bild 33 Versuchsanordnung Versuch SH 18.58

Der Dummy prallte mit einer Geschwindigkeit von 61,5 km/h, einem Winkel von 28° an den UFS.

Bild 34 zeigt den zeitlichen Ablauf des Anprallvorgangs. Der Kopf des Dummies wird direkt umgelenkt und der Dummy prallt mit der Schulter an den Unterfahrschutz. Der UFS verformt sich und legt sich um den Pfosten. Nachdem der Dummy parallel zur Schutzeinrichtung ist, prallt er mit den Füßen am Unterzug an. Die Umlenkung ist komplett und der Dummy verlässt in einem kleineren Winkel als dem Anprallwinkel die Schutzeinrichtung.

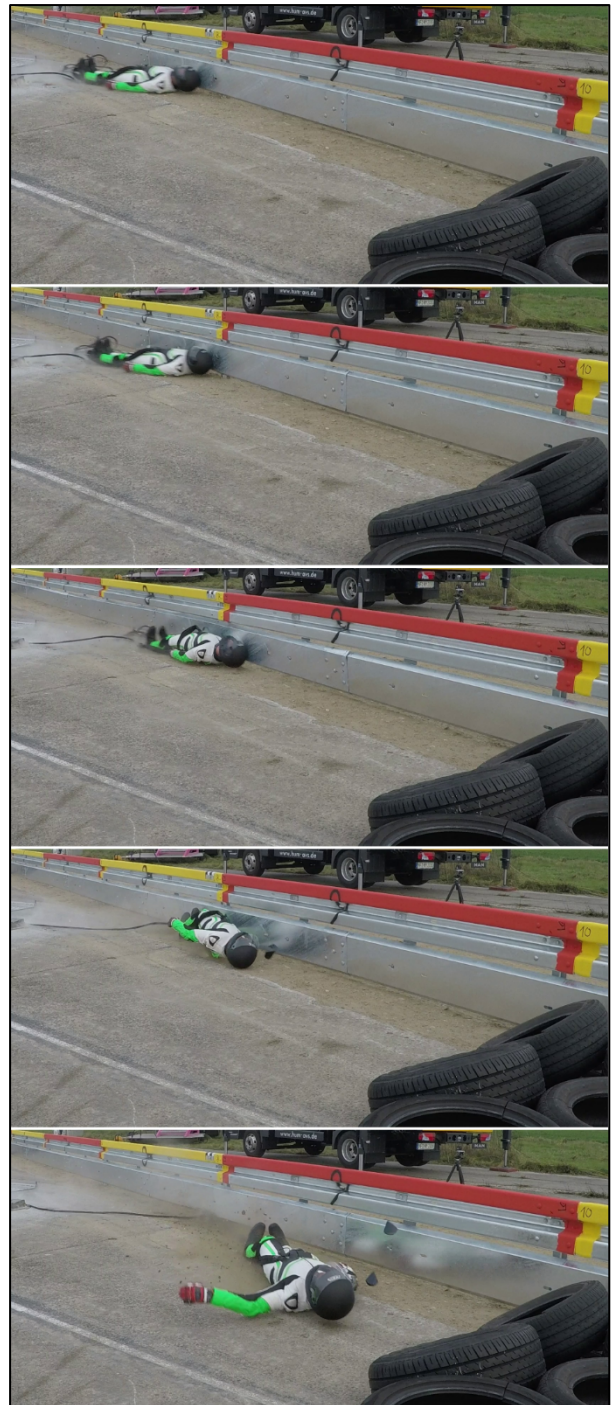


Bild 34 Anprallsequenz des Dummies

4.7 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering, Bild 35 und Bild 36.

Der angeprallte Pfosten der Schutzeinrichtung hatte sich minimal (< 1 cm) in Anprallrichtung verschoben.

Das Deformationselement 9V wurde stark, das Element 9H nur gering aufgebogen.

Der Unterfahrschutz zeigte deutlichere Spuren des Anpralls. Die untere Kante des Unterfahrschutzes wurde am Pfosten umgelegt.



Bild 35 Vorderseite der Schutzeinrichtung und Anprallpunkt nach dem Versuch



Bild 36 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch

Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung bzw. des MPS.

Der Dummy saß nicht im Prüfgegenstand fest.

Keine Gliedmaße oder Teile von Gliedmaßen hatten sich vollständig vom Dummy gelöst und es gab keine Riss-, Platz- oder Schnittverletzungen im ATD-Fleisch des Dummys.

Die rechte Schulter (anprallseitig) brach. Dies führte zu einem erhöhten Eindringen im Rippenbereich

des Dummys. Bei der Reparatur des Dummys waren dadurch starke Beschädigungen des Rippenpakets des Dummys zu erkennen, Bild 37. Die oberen 3 Rippen mussten ersetzt werden.

Inwiefern hier die Anforderung an die Vollständigkeit der Messausstattung des zu verwendenden Dummys überarbeitet werden muss, sollte in den entsprechenden Arbeitsgruppen der normgebenden Stellen diskutiert werden. Die Soll-Bruchstelle Schulter wird vermutlich häufig eine stärkere Eindringung im Rippenbereich zulassen. Werden hier kalibrierte Messrippen eingesetzt, wird der Austausch aufwändig und teuer.

Die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten ergab die folgenden Messwerte (Grenzwerte der EN 1317-8 in Klammern):

- HIC_{36} : 414 (650)
- M_{OCX} : 69 NM (134 NM)
- M_{OCY} Streckung: 27 NM (42 NM)
- M_{OCY} Beugung: 15 NM (190 Nm)
- $F_{OX MAX}$: 0,48 kN (Bild 38)
- $F_{OZ Zug MAX}$: 1,64 kN (Bild 39)
- $F_{OZ Druck MAX}$: 5,87 kN (Bild 40)

Bis auf die Hals-Druckkraft liegen alle Werte unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit.



Bild 37 "Gebrochene" Schulter und beschädigtes Rippenpaket

Die Halskräfte werden nicht nur durch absolute Werte berechnet bzw. eingestuft, sondern durch sortierte Wertekurven (Neck Injury Criteria – NIC), die unterhalb einer bzw. zweier Grenzlinien liegen sollen. Liegt eine Wertekurve oberhalb der ersten Grenzkurve aber unterhalb der zweiten, wird Stufe I nicht erfüllt, dafür aber Stufe II.

Das NIC der Hals-Scherkraft F_x ist in Bild 38 dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass die Wertekurve (rot) deutlich unterhalb den beiden Grenzkurven für Level I und II (braun und schwarz) liegt.

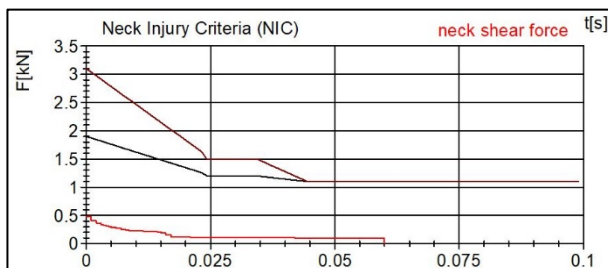


Bild 38 Hals-Scherkräfte F_x

Auch für das NIC der Hals-Zugkraft ist ein ähnliches Bild zu erkennen, Bild 39. Die erreichten Werte liegen deutlich unter den Grenzwerten.

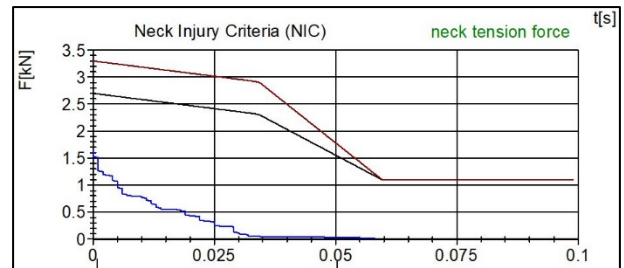


Bild 39 Hals-Zugkräfte F_z Streckung

Anders verhält es sich bei den Druckkräften im Hals. Wie in Bild 40 zu erkennen ist, liegt der tatsächliche Wert über den beiden Grenzwerten.

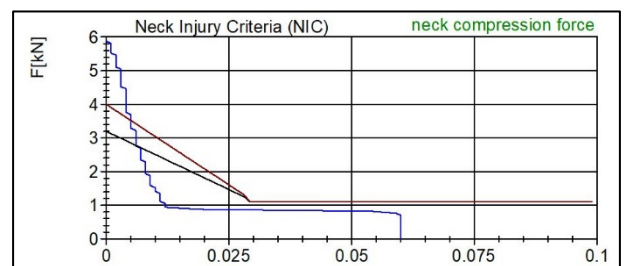


Bild 40 Hals-Druckkräfte F_z Stauchung

Die Überschreitung beider Grenzwerte für die Hals-Druckkraft bedeutet gleichzeitig, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung nicht bestanden hat.

Nach der ersten Sichtung des aufgezeichneten Film- und Messmaterials auf dem Testgelände war der erste Ansatz ein dünneres (2 mm statt 3 mm) Deformationselement einzusetzen. Die erste messtechnische Auswertung auf dem Testgelände erzeugte jedoch Unklarheiten, vor allem in Bezug auf die zugehörigen Filmdateien. Es wurde beschlossen, zuerst eine detaillierte Auswertung des Versuchs zu machen, da eine solche Auswertung nach dem Teil 8 der EN 1317 bisher noch nicht durchgeführt und auf Plausibilität geprüft wurde. Aus dieser Auswertung sollten fundierte Schlussfolgerungen für eine weitere Versuchsreihe gewonnen werden.

4.8 Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse des Versuchs SH 18.58

Die aus Versuch SH 18.58 gewonnenen Messdaten wurden in Nachgang zu dem durchgeführten Versuch aufbereitet und analysiert. Da die Hals-Druckkraft das einzige Nichtbestehens-Kriterium darstellte, wurden speziell diese Werte betrachtet.

4.8.1 Auswertung der Film- und Messdaten

Zuerst fällt die Verschiebung des zeitlichen Verlaufs der Messdaten auf. Der Anstieg der Hals-Druckkraft beginnt schon vor dem Zeitpunkt $t = 0$ ms. Hier ist

zu erwähnen, dass die EN 1317 in Kapitel 6.4 fordert, den Erstkontakt des ATD mit dem Prüfgegenstand anzuzeigen bzw. aufzuzeichnen – es sind jedoch keine Kontaktstreifen auf dem Helm erlaubt. Da der Helm jedoch als erstes mit dem Unterfahrschutz in Kontakt tritt (Bild 42), ist es schwer ein mechanisches Erstkontaktsignal zu verbauen. Die Filmdaten können im Nachgang für eine Erstkontaktbestimmung verwendet werden, die Messdaten

müssen aber autark getriggert werden. Um dieses Signal zu erhalten, wurde beschlossen einen Kontaktstreifen auf der rechten Schulter zu installieren (Bild 43), da diese zeitnah zum Kopfkontakt den Unterfahrschutz berühren würde. Eine nachträgliche Synchronisierung der Film- und Messdaten konnte so gewährleistet werden.

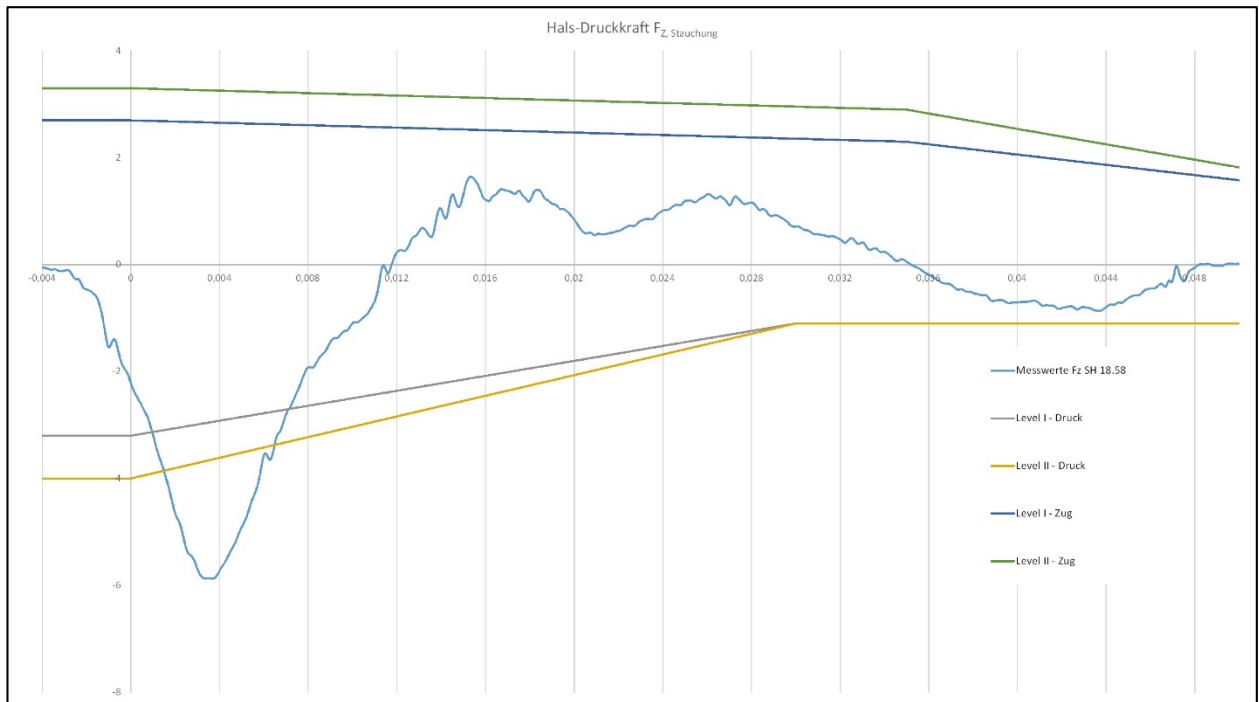


Bild 41 Zeitlicher Verlauf der Hals-Druckkraft

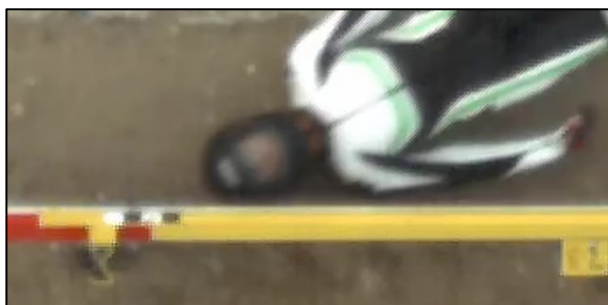


Bild 42 Erstkontakt Kopf/Schulter/Unterfahrschutz



Bild 43 Schulter mit Bandschalter (gelb)

Die in Bild 41 dargestellten Messwerte zeigen den zuvor erläuterten Unterschied. Aus den aufgezeichneten Messdaten kann entnommen werden, dass

der Kopfanprall ca. 3 – 4 ms vor dem Schulteranprall stattgefunden hat, da sich die Messdaten für den Kopf ab ca. -0,004 s signifikant ändern.

Im Folgenden beziehen sich alle Zeitangaben auf die Zeitskala mit Schulteranprall bei $t = 0$ s.

Bei der Bewertung der Halskräfte muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass nicht der reine zeitliche Verlauf der Halskräfte zur Bewertung herangezogen wird. Das NIC wird durch den Betrag und die Verweildauer der Kraft bestimmt. Die Verweildauer beschreibt das maximale Zeitintervall, für welches der Messwert eines Signals eine bestimmte untere Schwelle überschritten hat. Diese Berechnung erfolgt bei konstanten Abtastraten kumulativ. Hierzu werden die absoluten Kraftwerte in absteigender Reihenfolge sortiert und über die Zeit in das Grenzwert-Diagramm eingetragen. Somit ist der zeitliche Verlauf der Hals-Druckkraft-Belastung nur bedingt aussagefähig für die Erfüllung des Kriteriums.

Was aber in den Messwerten gut zu bewerten ist, ist die maximale Belastung. Diese geht direkt in die Staffelung als Maximalwert ein und führt zum Nichtbestehen. Betrachtet man den Maximalwert der Hals-Druckkraft genauer, stellt man fest, dass die Überschreitung des Grenzwerts für den Level II (4 kN) innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums stattfindet. Aus den Zeitdaten kann man ermitteln, dass der Maximalwert (5,87 kN) nach ca. 3,5 ms erreicht wird. Dies entspricht ca. 7–8 ms nach dem Erstanprall des Kopfes.

Wenn man diese Zeitspanne nun in die optische Auswertung mit einbezieht, ist zuerst einmal festzustellen, dass bei einer geforderten Mindest-Bildfrequenz nach [7] von 200 Bildern pro Sekunde und einer bei dem Versuch aus technischen Gründen (Parametrisierung der Frequenz der High-Speed-Kameras) gewählten Bildfrequenz von 250 Bildern pro Sekunde (d. h. jedes Bild wird im Abstand von 4 ms aufgezeichnet) nur effektiv zwei Bilder für die Auswertung zur Verfügung stehen. Dies ist im vorliegenden Fall nur begrenzt dienlich, da der messtechnische Peak in einem sehr kurzen Zeitraum stattfindet. Für die zukünftigen Versuche wird die Bildfrequenz daher auf 1.000 Bilder pro Sekunde erhöht, um mehr Bildmaterial zur Auswertung zur Verfügung zu haben.

Betrachtet man die ausgesuchten Bildbereiche der Videos genauer, wie in Bild 44 dargestellt, kann man lediglich in der unteren Reihe Erkenntnisse erlangen. Hier ist zum Zeitpunkt $t = -4$ ms noch keine Bewegung des Unterfahrschutzes zu erkennen. Bei $t = 0$ ms bewegt sich der Unterfahrschutz und bei $t = 4$ ms berührt der Unterfahrschutz schon fast den Pfosten.

Bezieht man die Einzelbilder nun auf die Messwerte, kann man zu drei Schlussfolgerungen kommen:

- entweder ist das Deformationselement zu steif oder
- der Unterfahrschutz ist zu steif oder aber
- es ist eine Kombination aus beiden

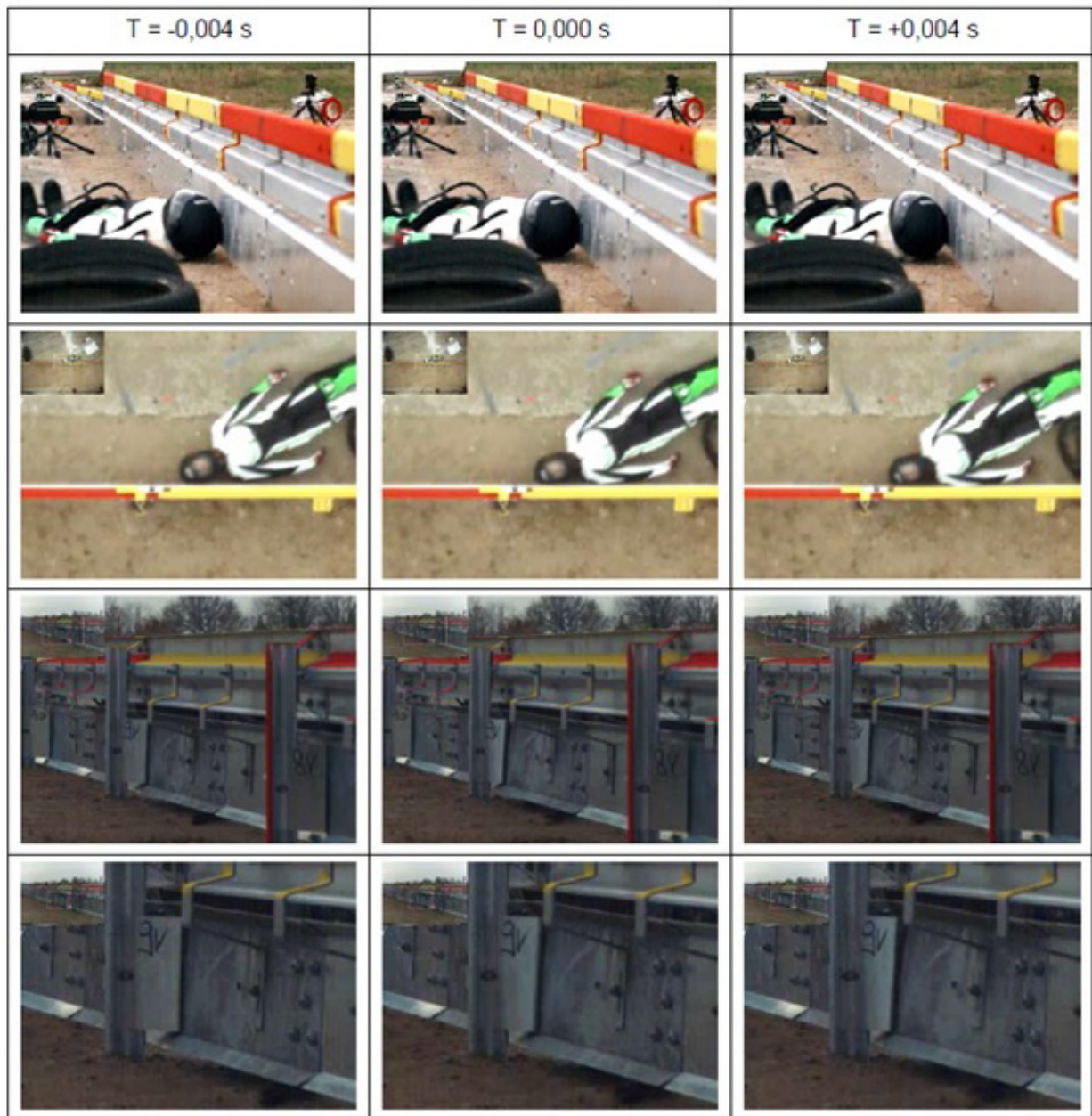


Bild 44 Filmdaten zur Analyse der maximalen Hals-Druckkraft

4.8.2 Schlussfolgerungen der Auswertung des ersten Versuchs

Wie im vorigen Abschnitt wird auch in diesem Abschnitt die Zeitskala mit Schulteranprall bei $t = 0$ s genutzt; sofern nicht anders angegeben.

Der Maximalwert der Hals-Stauchung tritt bei ca. 3,5 ms auf. Der Maximalwert liegt damit zwischen Spalte 2 und Spalte 3 der Fotografien in Bild 44, allerdings dichter an Spalte 3. Zwischen Spalte 2 und Spalte 3 beginnt die Verformung des Deformationselements und des Aufhängebügels. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass die Verformung beider Elemente einen Einfluss auf das Messergebnis gehabt hat, es ist jedoch unklar in welchem Ausmaß.

Es lässt sich daher nicht eindeutig klären, ob insbesondere das Deformationselement am Zustandekommen des Maximalwertes beteiligt ist.

Sofern die Eigensteifigkeit des MPS, ohne das Mitwirken des Deformationselements, zu der unzulässig hohen Anprallheftigkeit führt, muss der Lösungsansatz „Deformationselement“ fallen gelassen werden. In diesem Fall wären konstruktive Änderungen am MPS unumgänglich, um die intrinsische Steifigkeit zu senken.

Es wurden vier mögliche Alternativen für eine Versuchsdurchführung ausgearbeitet und mit ihren Vor- und Nachteilen gegenübergestellt sowie die Resultate eingeschätzt. Auf Grundlage dieser Möglichkeiten wurde innerhalb des Betreuerkreises die

Entscheidung getroffen, den UFS-ESP nicht weiter zu untersuchen, sondern eine Ersatzkonstruktion mit einer reduzierten Wandstärke zu prüfen. Um richtig einzuschätzen, ob eine Reduzierung der ursprünglichen Materialstärke des UFS von 2,5 mm die Anprallheftigkeit in ausreichendem Maße senken kann, wurde eine Näherungsbetrachtung durchgeführt, nach der eine Blechstärke von 1,5 mm als geeignet erschien.

Das Vorgehen wird der Einfachheit halber am Beispiel einer auf 2,0 mm reduzierten Blechstärke erläutert. Unter der Annahme, dass bei dem durchgeführten Versuch mit einer Blechstärke des Unterfahrschutzes von 2,5 mm und den Deformationselementen die Kraft, die auf den Kopf des Dummys während der ersten 12 ms nach Schulter-Anprall wirkte, allein aus der Massenträgheit des Unterfahrschutzes resultiert, lässt sich die zu erwartende Messkurve bei einem Anprall TM 1.60 abschätzen. Vernachlässigt wurde dabei die Reibungskraft zwischen UFS und Helm³. Die Reduzierung der Blechdicke um 20 % (2,5 mm → 2,0 mm) reduziert auch die Massenträgheit des UFS um 20 %. Daraus ergibt sich, dass die auf den Kopf des Dummys wirkende Kraft und damit auch die Hals-Stauchung um 20 % reduziert wird.

Basierend darauf kann eine einfache Simulation der zu erwartenden Druckkraft auf den Hals bei 2,0 mm Blechstärke des UFS aus der gemessenen Druckkraft bei 2,5 mm Blechstärke berechnet werden, indem die Messwerte um 20 % reduziert werden. Eine Reduzierung auf 2 mm Blechstärke reicht jedoch nicht aus, um die Grenzlinie für die Anprallheftigkeitsstufe II zu unterschreiten (Bild 45). Dies gelingt erst bei einer Blechstärke von 1,5 mm (Bild 45), entsprechend einer Reduktion der Halsdruckkraft um 40 %.

Nicht berücksichtigt wurde bei der Simulation, dass die geringere Materialdicke zu einer geringeren Biegesteifigkeit des UFS führt. Dies bedeutet, dass beim Anprall eine geringere Fläche und damit ein geringerer Massenanteil des UFS verschoben wird. Die Massenträgheit wird daher etwas stärker gesenkt, als in der Simulation nach Bild 45 angenommen. Dieser Effekt sollte daher zu einem leicht günstigeren Verlauf der Halsdruckkraft führen.

Die reale Messkurve kann dennoch höher liegen als simuliert. Dies liegt zum einen an Toleranzen in den Versuchsparametern, wie z. B. die Anprallgeschwindigkeit und der Anprallwinkel. Dies liegt aber vor allem an der grundlegenden Annahme, dass die Halsdruckkraft allein auf die Massenträgheit des UFS zurückzuführen ist. Wie oben erläutert, ist dies

durchaus fraglich, da es wahrscheinlicher erscheint, dass Bügel und/oder Deformationselement mitgewirkt haben. Eine gegenüber der Simulation erhöhte Druckkraft auf den Hals wäre ein Indiz, dass die Grundannahme nicht zutrifft und Bügel oder Deformationselement doch einen relevanten Beitrag geliefert haben.

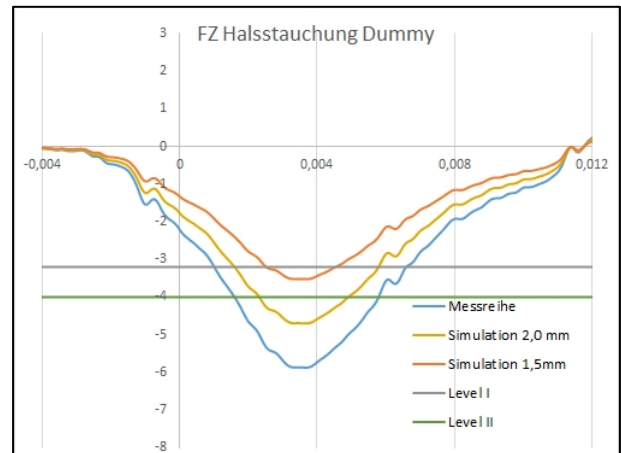


Bild 45 Gemessene Druckkraft auf den Hals bei UFS mit 2,5 mm Blechstärke (unterste Kurve, "Messreihe"), berechnete Druckkraft für 2,0 mm Blechstärke (mittlere Kurve, "Simulation 2,0 mm") und für 1,5 mm Blechstärke (obere Kurve, "Simulation 1,5 mm"). Maximalwert für Anprallheftigkeitsstufe I (obere Gerade, „Level I“) und –stufe II (untere Gerade „Level II“).

Nun könnte man versucht sein, die Blechstärke noch weiter zu reduzieren, um in Bild 45 zu einem noch günstigeren Kurvenverlauf und einer günstigeren Anprallheftigkeit zu gelangen. Dagegen sprechen sowohl verarbeitungs- und montagetechnische Probleme als auch sicherheitstechnische Bedenken. Je dünner das Blech des UFS, umso größer die Gefahr, dass sich bei einem Unfall Risse oder Falten im Blech bilden, etwa wenn das Motorrad vor dem Aufsassen in den Unterfahrschutz prallt. An solchen Beschädigungen kann ein Motorradfahrer hängenbleiben, mit möglicherweise erheblichem Verletzungsrisiko. Je dünner das Blech des UFS, umso schlechter schützt es Motorradfahrer vor den dahinter liegenden Kanten, von Pfosten oder Aufhängebügeln. Weiter erhöht sich die Gefahr von ausreißenden Schrauben. Kurz, die Sicherheitsreserve der Konstruktion gegenüber Unfallsituationen, die nicht der Prüfsituation entsprechen, verringert sich. Auf eine weitere Reduzierung der Blechstärke des UFS, ohne experimentelle Erfahrung, wurde daher verzichtet.

³ Der Reibbeiwert zwischen Stahl und Polyamid liegt je nach Quelle zwischen etwa 0,3 und 0,5. Tatsächlich wirkt aber die Reibung zwischen Lack und Zinkoberfläche, also

zwischen zwei sehr glatten Oberflächen. Es sind daher eher niedrigere Werte zu erwarten.

4.9 Design und Festlegung des MPS für die zweite Versuchsreihe

Basierend auf den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe wurden im Betreuerkreis des Projektes vier Varianten für die weitere Vorgehensweise diskutiert:

1. MPS wie in Versuchsreihe 1 mit folgender Änderung:
Tausch der Deformationselemente mit 3 mm Wandstärke gegen solche mit 2 mm Wandstärke.
2. MPS wie in Versuchsreihe 1 mit folgender Änderung:
Entfernen der Deformationselemente (ersatzlos).
3. MPS wie in Versuchsreihe 1 mit folgender Änderung:
Absenken der Blechstärke des UFS von 2,5 mm auf 1,5 mm und Weglassen der Deformationselemente.
4. Verwendung des gleichen MPS bzw. UFS wie beim MPS „Passco L1 MPS“ (Nr. 2 in Tab. 1) oder beim „Eco-Safe MPS“ (Nr. 33 in Tab. 1), sofern deren Hersteller zustimmen.

Der AG wertete die Stellungnahmen des Betreuerkreises aus. Zusätzlich hatte er die Möglichkeit in die Prüfberichte und Videos zur Prüfung des MPS „Passco L1 MPS“ Einblick zu nehmen. In der Gesamtschau entschied sich der AG für die Variante 3, was auch weitgehend der Meinung des Betreuerkreises entsprach.

In der Folge zeigte sich, dass zwischen den Varianten 3 und 4 kein großer Unterschied besteht. Ein Vergleich der RAL-Zeichnung L5.4-101 [18] mit den technischen Daten des Passco L1 MPS [13] zeigte, dass beide UFS den gleichen Querschnitt aufweisen, abgesehen von der Materialstärke von 1,5 mm (Passco) bzw. 2,5 mm (RAL) und einer mittigen 80 mm breiten und 5 mm tiefen Längsnut (Passco).

Eine solche Längsnut erfordert mindestens einen zusätzlichen Bearbeitungsschritt sowie mindestens ein zusätzliches Werkzeug. Die Längsnut erhöht daher die Produktionskosten für den UFS. Es lag daher die Vermutung nahe, dass die Längsnut produktionstechnische Gründe hat.

Freundlicherweise erteilte Herr Thewes von der Firma Meiser dazu Auskunft [24]. Danach ist die Längsnut unabdingbar für die Feuerverzinkung der Bleche.

Bei der für Stahlschutzplanken-Bauteile üblichen Feuerverzinkung werden die Teile in ein Bad mit

flüssigem Zink getaucht und so überzogen. Bei der geringen Blechstärke des UFS von 1,5 mm würde sich ein unprofiliertes Blech, aufgrund der hohen Temperatur im Zink-Bad, stark verziehen und wäre für eine sachgerechte Montage unbrauchbar. Die Längsnut wird benötigt, um die erforderliche Stabilität des UFS herzustellen.

In Rücksprache mit dem AG wurde beschlossen, dass vor diesem Hintergrund auf die Längsnut nicht verzichtet werden kann. Es galt zu vermeiden, dass im Forschungsprojekt Konstruktionen erprobt werden, die sich zwar auf dem Testgelände bewähren, deren Herstellung aber nicht praktikabel ist.

Mit dieser Festlegung, folgte man nun de facto der Variante 4.

Diesem Ansatz folgend wurde ein erster Entwurf des MPS in enger Anlehnung an Passco L1 MPS erstellt, der im Betreuerkreis per Email verteilt und zur Diskussion gestellt wurde. Dabei wurde u.a. seitens der Gütegemeinschaft Stahlschutzplanken eine zu große Ähnlichkeit mit ihrem Eco-Safe MPS kritisiert. Damit fehlte die eindeutige Zustimmung des Herstellers und dieser Entwurf wurde fallen gelassen.

Ein zweiter Entwurf für das MPS wurde erstellt. Für diesen Entwurf werden im Folgenden zuerst die Unterschiede zur ESP mit Unterfahrerschutz und zum Passco L1 MPS beschrieben, bevor UFS, Verschraubung und Aufhängebügel im Detail beschrieben werden.

Im Vergleich zur ESP mit Unterfahrerschutz nach RAL [18] wurde beim UFS der Querschnitt, die Materialstärke und das Lochbild geändert. Ebenso wurde gegenüber RAL [18] die Form der Aufhängebügel und die Verschraubung geändert. Beibehalten wurde die Position der Stöße des UFS, sowie Anzahl und Positionierung der Aufhängebügel.

Im Vergleich zum Passco L1 MPS wurde lediglich die Längsnut annähernd und die Breite des unverformten Blechs (Nettobreite) beibehalten. Die Nettobreite sollte beibehalten werden, um das gleiche Ausgangsmaterial wie für die Herstellung des Passco L1 MPS und des Eco Safe MPS nutzen zu können. Auf die Längsnut sollte nicht verzichtet werden (s. o.). Die Breite der Längsnut ließ sich nicht verändern, da dann ein neues (teures) Werkzeug erforderlich gewesen wäre. Somit konnte nur die Tiefe der Längsnut erhöht werden, aber nur um 0,5 mm, da sich sonst die Nettobreite nicht erhalten ließ. Die Nettobreite ergibt sich rechnerisch (ohne Berücksichtigung von Biege-Rundungen und Materialstärke) zu 418,6 mm. Die gleiche Berechnung ergibt für das Passco L1 MPS eine Nettobreite von 417,4 mm. Der Unterschied von 1,4 mm wurde in Kauf genommen, um auf der Zeichnung nur ganze

und halbe mm angeben zu können. Der Unterschied liegt deutlich innerhalb der üblichen Toleranzen. Statt der berechneten 417,4 mm wird in der technischen Dokumentation zum Passco L1 MPS [13] 414,2 mm als Nettobreite angegeben. Der Einfluss der Rundungen liegt daher offenbar bei ca. 3 mm.

Da für das Eco-Safe MPS voraussichtlich ein UFS aus S 235 JR zum Einsatz kommt, wurde auch hier ein S 235 JR vorgesehen (Bild 49), im Unterschied zum Passco L1 MPS mit S 355 [13].

Der UFS des zweiten Entwurfs (Bild 49) weist folgende wesentliche Merkmale auf:

- Die Blechstärke des UFS beträgt 1,5 mm.
- Als Material des UFS war ein S 235 JR vorgesehen. Da dieser in 1,5 mm Stärke nicht lieferbar war, wurde ein S 250 GD eingesetzt, wie in der Stückliste in Tab. 4 dokumentiert ist.
- Alle Schrauben im UFS, mit denen ein Motorradfahrer beim rutschenden Anprall in Kontakt kommen kann, werden als Rundkopfschrauben ausgeführt, um die Formaggressivität möglichst gering zu halten.
- Auf eine Neigung des UFS wie beim UFS der passco L1 MPS wurde verzichtet, um die Montagefreundlichkeit (v.a. in Kurven) zu erhöhen.
- Der senkrechte Anteil der Front wurde möglichst großflächig gestaltet, um ein Durchrutschen zu erschweren.
- Die Breite des ungebogenen Blechs des UFS ist die gleiche, wie beim „CMPS 60-2-W03“ (s. o.) (gleiche Nettobreite), um das gleiche Ausgangsmaterial nutzen zu können (zusammen mit dem vorigen Punkt ergibt sich daraus, dass die abgewinkelten Teile des UFS kürzer werden).
- Eine mittige Längsnut soll die Verwindungssteifigkeit erhöhen, um Herstellung und Handling bei der Montage zu erleichtern, und um die Feuerverzinkung zu ermöglichen. Zudem stehen die mittleren Schrauben weniger vor.

Da in der ersten Versuchsreihe kein Anprallversuch zwischen den Pfosten durchgeführt wurde, musste für die Auslegung der Bügel auf Einschätzungen zurückgegriffen werden. Aus den durchgeführten Versuchen am Pfosten lässt sich ableiten, dass die Bügel nicht zu steif sein dürfen, um die Halsstauchung nicht zu groß werden zu lassen.

Andererseits kommt nun die Gefahr des Durchrutschens von Teilen des Dummys als neuer Versagensmechanismus hinzu. Da die Aufhängung einseitig von oben erfolgt (siehe Bild 52) besteht die Tendenz zu einer Pendelbewegung, die Unterkante pendelt nach hinten. Durch diese Pendelbewegung kann sich am unteren Ende des UFS ein Spalt öffnen, durch den dann Teile des Dummys rutschen können. Die Aufhängebügel müssen demnach steif genug sein, um diese Pendelbewegung in ausreichendem Maße zu unterdrücken.

Leider steht kein Vergleichs-MPS für eine ESP-artige Schutzplanke mit 4-m-Pfostenabstand zur Verfügung, aus der sich Startwerte für das Design ableiten lässt (siehe Abschnitt 3.3.3.1). Auch von anderen Vergleichs-MPS, die nicht an ESP-artigen Schutzplanken montiert sind, lässt sich hinsichtlich der Aufhängebügel wenig ableiten (siehe Abschnitt 3.3.3.3). Allenfalls der Hinweis auf die Verwendung eines Doppelbügels konnte den Vergleichssystemen entnommen werden, jedoch ohne jeden Hinweis auf deren Abmessungen.

Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, wurde die Idee verfolgt einen Teil des Bügels steif und einen Teil deformierbar auszuführen. Die Deformation des Bügels sollte dabei eine Verlängerung des Bügels und damit ein Absenken des UFS begünstigen. Auf diese Weise sollte der durch die mögliche Pendelbewegung entstehende Spalt verkleinert und im Idealfall sogar geschlossen werden.

In Zusammenarbeit mit dem Betreuerkreis wurde schnell klar, dass sich dieses Prinzip, mit der aus wirtschaftlichen Gründen erforderlichen geringen Verarbeitungstiefe, mit einem Doppelbügel realisieren lässt. Ein Bügel übernimmt die Stützfunktion und ein zweiter Bügel den deformierbaren Teil.

Ungünstigerweise erfolgt in beiden Prüfungen nach TS 1317-8 der Anprall des Dummys nicht direkt auf einen Bügel, sondern zwischen zwei Bügeln. Angesichts der geringen Wirksamkeit, die die Bügel bei den bisherigen Versuchen gezeigt haben, erscheint es sinnvoll, mehr auf die Steifigkeit der Bügel abzustellen und weniger auf die Senkung der primären Anprallhärte. Da keine Indizien für eine erfolgversprechende Blechstärke vorliegen, wird auf die bei solchen Aufhängebügeln typische Blechstärke von 5 mm zurückgegriffen. Bei einem zu schwach ausgeführten Deformationsbügel funktioniert die vorgeprägte Richtung nicht und der Längungseffekt wird genauso verfehlt, wie bei einer zu starken Ausführung. Da keine Indizien für eine sinnvolle Blechstärke vorliegen wird der produktionstechnisch einfachste Ansatz gewählt: Blechstärke beider Bügelteile 5 mm.

- Der Bügel (Bild 50) wurde zweiteilig gestaltet. Bestehend aus einem vorderen Aufhänge- und Deformationsbügel und einem hinteren Stützbügel.

Die obere Schrägung erleichtert eine Biegung nach unten, was eine Verschiebung des Langlochs, an dem der UFS befestigt wird, nach unten begünstigt und somit zu einer effektiven Längung der Aufhängung führen soll. Die steifere untere Aufkantung soll hingegen formstabil bleiben und so die stärkere Neigung der Unterkante aufgrund der Pendelbewegung ausgleichen.

Der hintere Bügel dient dabei als Stützbügel, der die Gesamtsteifigkeit erhöhen und die Deformation des vorderen Bügels erleichtern soll. Ein stärkerer Überstand am unteren Ende wäre dabei für die Bügelfunktion wünschenswert, würde jedoch die Gefahr erhöhen, dass sich scharfe Kanten im Spaltbereich unter der Unterkante des UFS zeigen. Angesichts der Geschwindigkeit mit der der Anprall abläuft erscheint der Überstand als ausreichend.

Die Verschraubung erfolgt mit einer Halbrundkopfschraube nach RAL [18], da solche Schrauben im Kopfbereich weniger scharfe Kanten aufweisen als eine übliche Sechskantschraube. Bild 46 zeigt die Köpfe der verschiedenen Varianten dieses Schraubentyps in der RAL [18] maßstäblich in eingeschraubten Zustand (ohne Unterlegscheibe) im Vergleich.

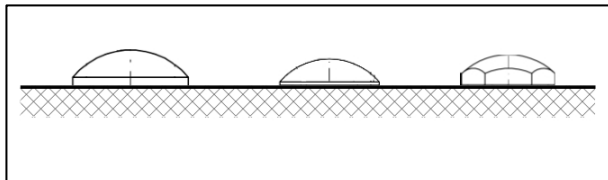


Bild 46 Halbrundkopfschraube 024.48 (links), Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 (mittig, Nase versenkt daher nicht zu sehen) und Halbrundkopfschraube mit Sechskant 040.03 (rechts), Bauteilnummern nach RAL [18]

Es ist leicht zu erkennen, dass die Halbrundkopfschraube mit Sechskant formaggressiver für einen daran entlang gleitenden Motorradfahrer ist als die Halbrundkopfschrauben ohne Sechskant.

Es wird die Halbrundkopfschraube 024.48 aus der RAL mit dem größten Kopf gewählt (Bild 46 links und Bild 47). Diese Wahl hat folgende Vorteile:

- Es ist keine Unterlegscheibe oder Lasche unter dem Kopf erforderlich. Es werden dadurch zusätzliche Kanten vermieden, die bei Anbringung in engen Kurven aufklaffen könnten.
- Die Schraube steht im Vergleich zur Halbrundkopfschraube mit Nase (Bild 46 mittig) zwar weiter vor, jedoch nur 3 mm. Zudem

bleibt der Anstellwinkel der Schraube zum Unterfahrschutzblech etwa gleich.

- Der Unterfahrschutz ist mit 1,5 mm Blechstärke dünn. Der große Schraubenkopf verkleinert die Gefahr von Lochleibung.

Unterhalb des Kopfes besitzt die Schraube einen Absatz mit ovalem Querschnitt. Dieser Absatz soll sich in einem Langloch verklemmen und so den Schraubenkopf beim Verschrauben fixieren, da ein Gegenhalten mit einem Schraubenschlüssel nicht möglich ist. Die Höhe dieses Absatzes ist in der RAL nicht vermaßt (im Gegensatz zu Bild 47). Diese soll am Stoß zwei Unterfahrschutz-Bleche, also $2 \times 1,5 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$ Blech klemmen. Die Höhe dieses Absatzes muss folglich weniger als 3 mm betragen, um eine sichere Klemmung der Bleche zu gewährleisten, da die Blechstärke Toleranzen aufweist und dünner sein kann, als das Nennmaß. Exemplarische Versuche zeigten, dass der Absatz zu hoch ist, um eine sichere Klemmung zu gewährleisten [25]. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein Stoßverstärker eingeführt (siehe Bild 49) und damit die zu klemmende Blechstärke auf $3 \times 1,5 \text{ mm} = 4,5 \text{ mm}$ erhöht.

Alternativ kämen Unterlegscheiben in Betracht, deren Innendurchmesser groß genug ist das Oval unter dem Schraubenkopf aufzunehmen. Eine solche Unterlegscheibe müsste einen Lochdurchmesser zwischen 27 mm (größter Durchmesser des Ovals: 26 mm) und 30 mm (komplette Deckung des Lochs durch den Schraubenkopf) haben. In der RAL [18] gibt es keine geeignete Scheibe. In der ISO 7091 [21] gibt es eine entsprechende Scheibe, allerdings nur in der Klasse der „zu vermeidenden Größen“. Diese Scheiben weisen die Abmessung $50 \times 30 \times 4 \text{ mm}$ auf. Daraus wurde für 6 Scheiben eine Gesamtmasse von 0,24 kg berechnet und somit mehr als die doppelte Masse des Stoßverstärkers (0,11 kg, s. Tab. 4). Die Verwendung von Unterlegscheiben würde somit die Massenträgheit im Stoßbereich ungünstigerweise weiter erhöhen. Kostenvorteile sind nicht zu erwarten, weil solche Scheiben mit Feuerverzinkung gesondert hergestellt werden müssten.

Die erläuterte Problematik besteht nur beim Stoß des UFS. Der Aufhängebügel weist eine Materialstärke von 5 mm auf. Mit dem Unterfahrschutzblech führt dies zu einer zu klemmenden Blechstärke von 6,5 mm, die für die Schraube 024.48 kein Problem darstellt.

Der Stoßverstärker hat den Nachteil, die Biegesteifigkeit und Massenträgheit im ohnehin doppellagigen Stoß weiter zu erhöhen. Alternativ wurde daher die Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 nach RAL in Betracht gezogen (Bild 46 mittig und Bild 48).

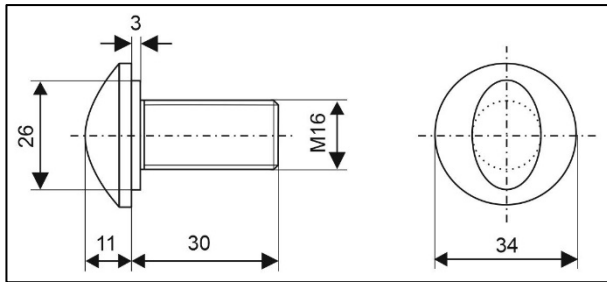


Bild 47 Halbrundkopfschraube 024.48 Maße nach RAL [18] sowie nach [23], eigene Zeichnung

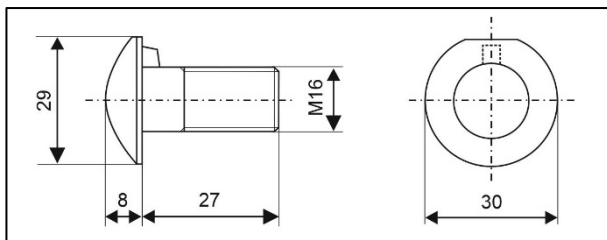


Bild 48 Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 Maße nach RAL [18], eigene Zeichnung

Diese Schraube kann jedoch ebenfalls keine sichere Klemmung im Unterfahrschutz-Stoß gewährleisten. Dies wurde grafisch aus der RAL-Zeichnung ermittelt und wiederum in exemplarischen Versuchen geprüft [25]. Die Schraube 40.00 würde daher ebenfalls einen Stoßverstärker benötigen. Es ergibt daher hinsichtlich der Problematik „Klemmung Stoßverstärker“ keinen Vorteil, auf die Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 auszuweichen.

Hinzu kommt, dass diese Schraube neben den Nachteilen des kleineren Kopfes (s. o.) beim Verklemmen im Langloch statt des sich beidseitig anschmiegenden Ovals eine nur einseitige und kantige Nase aufweist. Die Gefahr von Beschädigungen des Unterfahrschutzes bei der Verschraubung ist daher als größer einzuschätzen. Eine Beschädigung des UFS kann aber zu formaggressiven Rissen oder Spalten beim Anprall führen, die einen Motorradfahrer erheblich gefährden können. Dabei ist auch zu bedenken, dass der Anprall des Motorrads bei den Prüfungen nicht berücksichtigt wird. Dieser Anprall kann aber bei Unfällen eine erheblich größere Belastung in den UFS einleiten und die Gefahr der Rissbildung erhöhen.

Insgesamt wurde daher die größere Halbrundkopfschraube 024.48 als geeigneter eingestuft und verwendet.

Neben der Klemmung ist zu prüfen, ob die Schraube die erforderliche Länge für eine sichere Verschraubung aufweist. Die Darstellung in der RAL (Bild 47) ist dabei irreführend, da die Länge des Schraubenschaftes korrekt mit 30 mm angegeben wird, gezeichnet wurde jedoch ein Schaft von 40 mm Länge. In Bild 51 wurde die korrekte Schaftlänge berücksichtigt. Es zeigt sich, dass die Schaft- und Gewindelänge ausreicht.

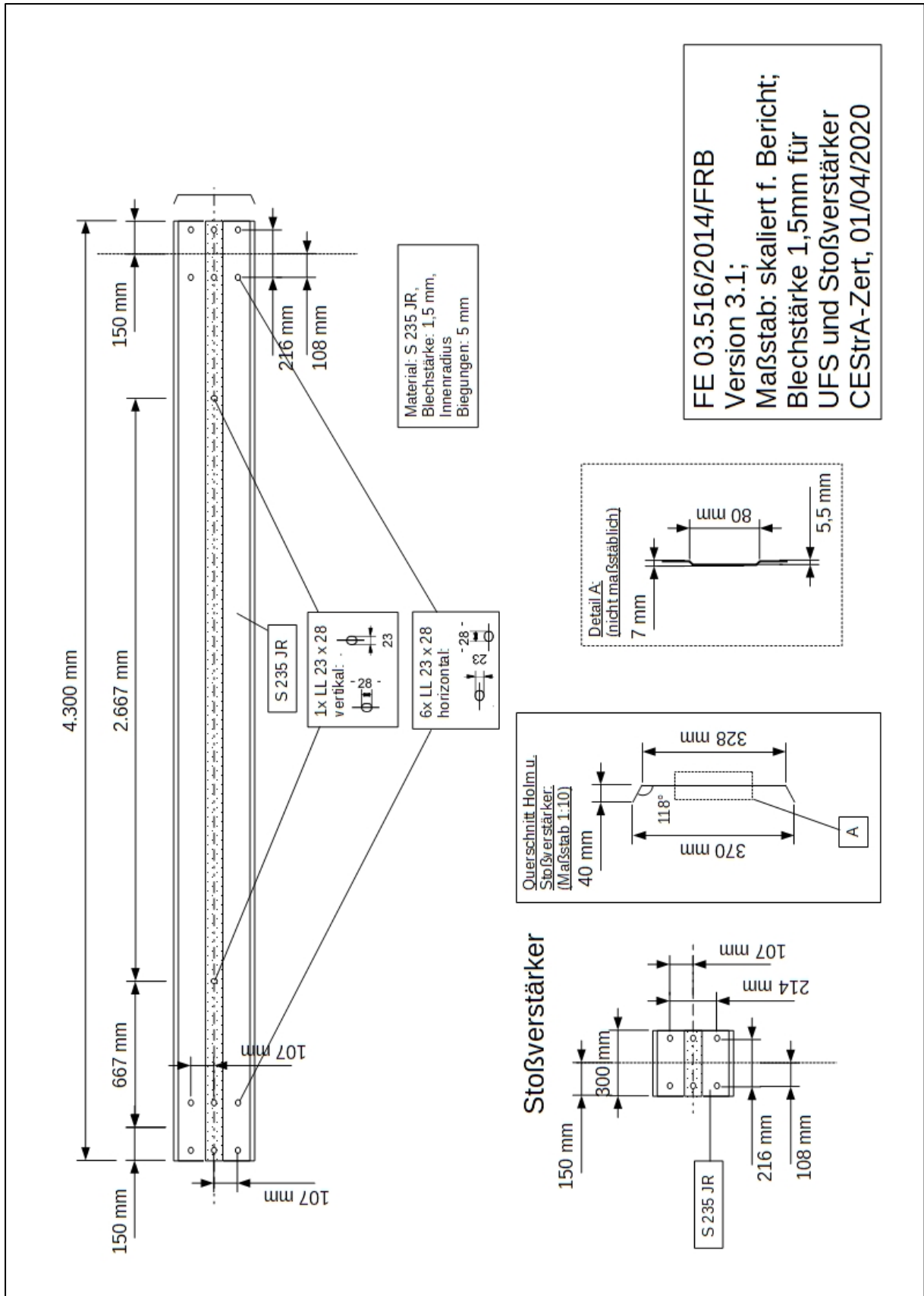


Bild 49 Unterfahrerschutz und Stoßverstärker, die angegebene Stahlgüte S 235 JR entspricht der Auslegung, bei der Prüfung kam ein S 250 GD zum Einsatz (s. Stückliste in Tab. 4)

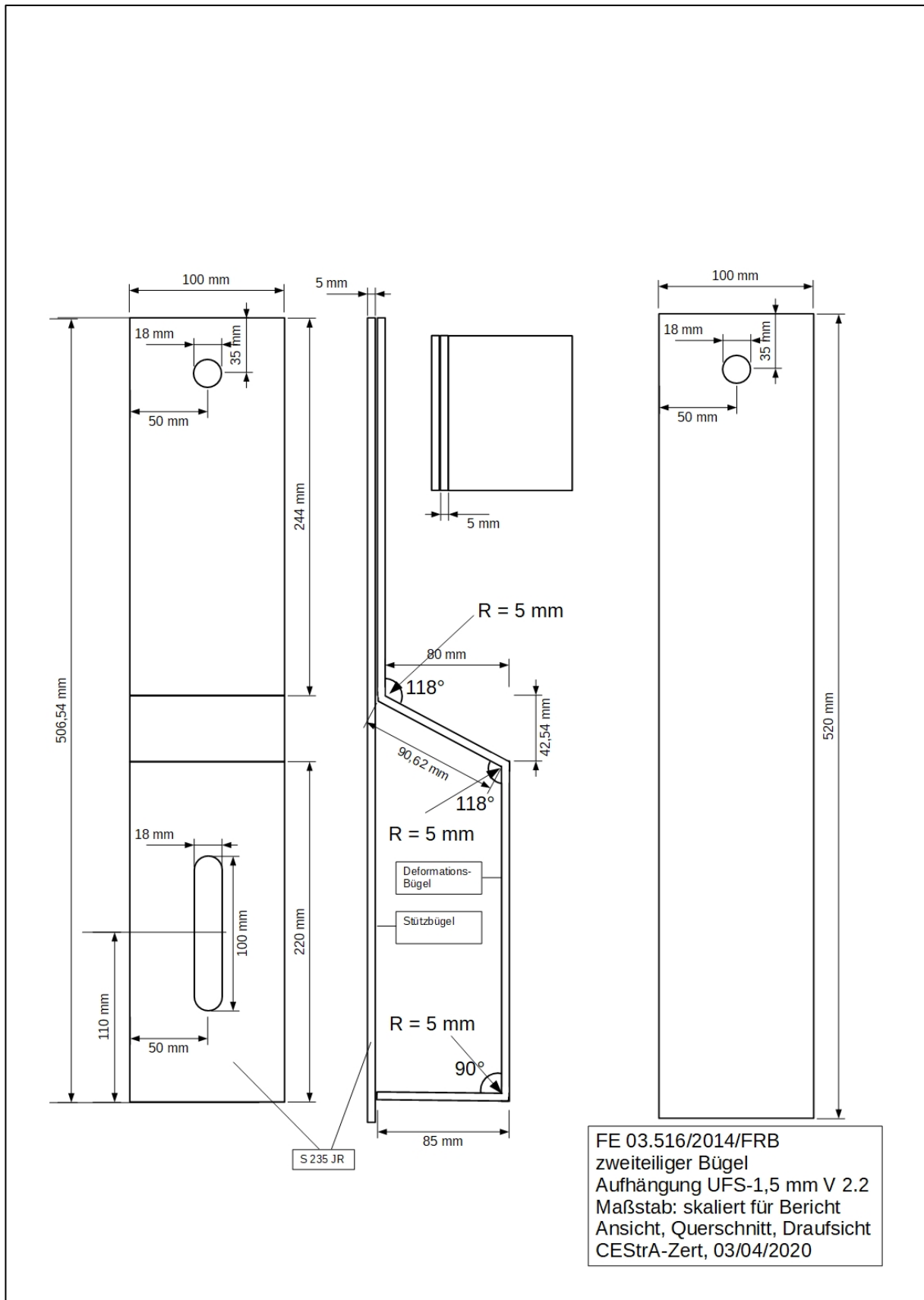


Bild 50 Dopperteiliger Bügel

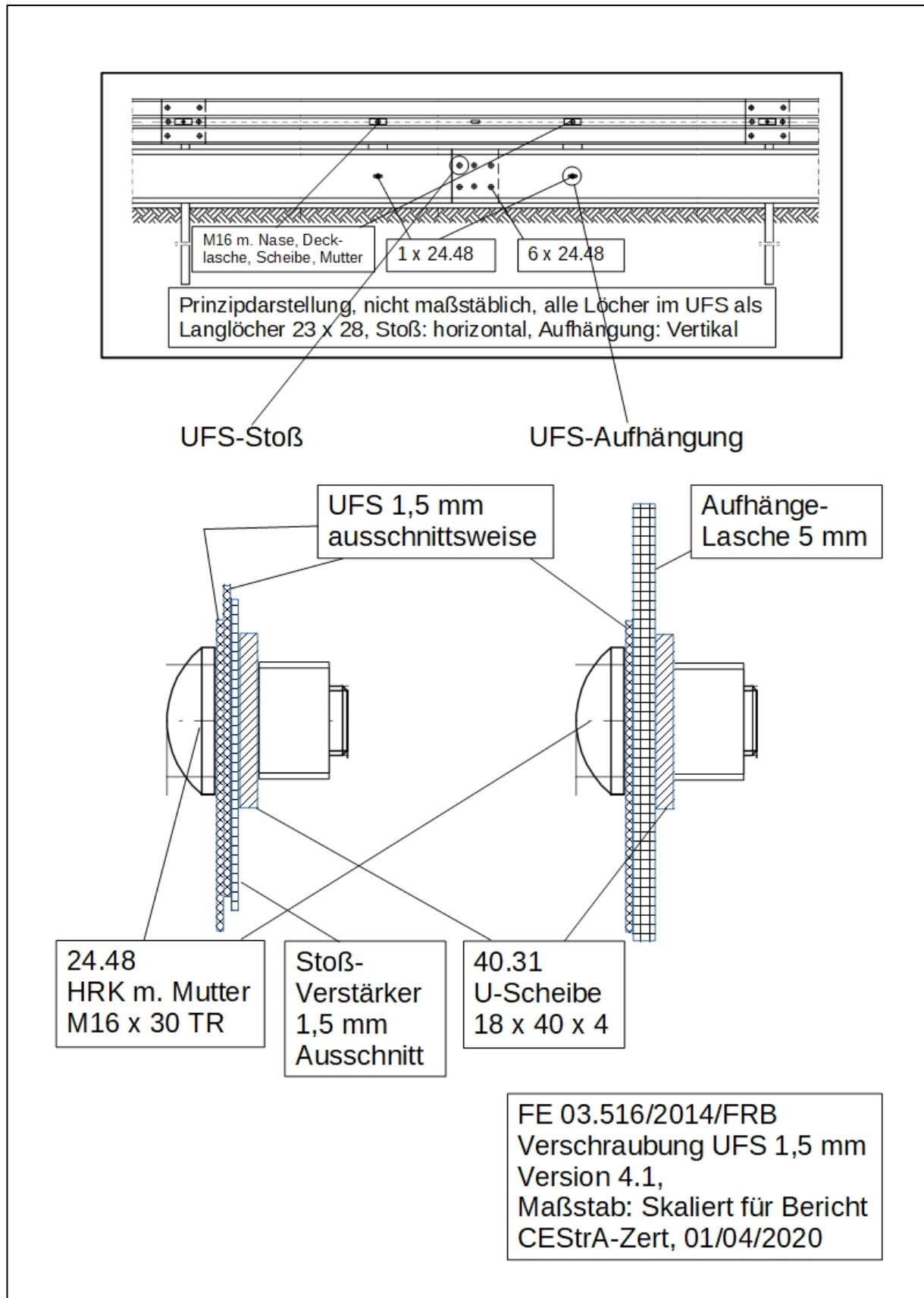


Bild 51 Verschraubung und Anordnung der Langlöcher des MPS mit 1,5 mm starkem UFS an der ESP. Die angegebenen Nummern sind Teile-Nummern nach RAL [18].

Stückliste 4 m MPS (1 Element)							
Anzahl	Bauteil	Abmessung [mm]	Material / Güte	RAL-Nr.	Norm	Masse einzeln [kg]	Masse gesamt [kg]
1	UFS-Holm	4300x418x1,5	S 250 GD	–	DIN EN 10346	21,14	21,14
1	Stoßverstärker	30x418x1,5	S 250 GD	–	DIN EN 10346	0,11	0,11
2	Aufhängebügel Stützbügel (gerade)	520x100x5	S 235 JR	–	DIN EN 10025	2,03	4,07
2	Aufhängebügel Deformationsbügel (profiliert)	639x100x5	S 235 JR	–	DIN EN 10025	2,49	4,98
8	HRK-Schraube M16x30, 5.8 TR mit Mutter 5	M 16x30	5.8 / 5	024.48	–	0,13	1,04
8	Scheibe 40x18x4 mm; ISO 4759-3	40x18x4		040.31	ISO 4759-3	0,15	1,20
2	HRK-Schraube m. Nase M 16x45, 4.6 mit Mutter 5	M 16x45	4.6 / 5	040.01	ISO 4032	0,10	0,20
2	Scheibe 18; ISO 7091	30x18x3		040.30	ISO 7091	0,01	0,02
2	Decklasche M16	40x115x5	S 235 JR	010.00	DIN EN 10025	0,17	0,34
Summe:							33,10

Tab. 4 Stückliste zum MPS, welches in zweiter Versuchsreihe geprüft wurde. Die für den UFS vorgesehene Stahlgüte S 235 JR war teilweise nicht lieferbar, daher wurde ein bandverzinkter S 250 GD verwendet

Bild 52 zeigt den Querschnitt des MPS am Aufhängebügel. Zu beachten ist dabei insbesondere der Abstand von 50 mm zwischen der Unterkante des Unterfahrsschutzes und dem Bankett. Dieser Abstand darf nicht überschritten wohl aber unterschritten werden. Es empfiehlt sich daher, die Montage auf ein kleineres Maß auszulegen.

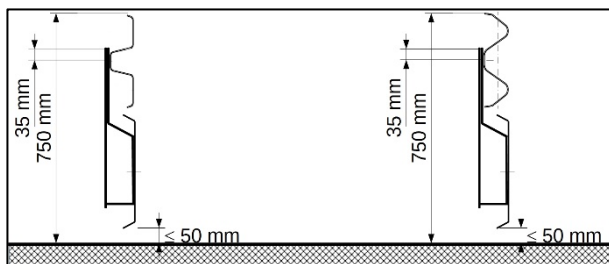


Bild 52 Querschnitt an Aufhängung des UFS

5 Zweite Versuchsreihe

Die zweite Versuchsreihe wurde Ende Juli 2019 auf dem DEKRA-Versuchsgelände in Eggebek durchgeführt.

5.1 Schutzeinrichtung

Als Schutzeinrichtung wurden erneut 60 m Einfache Stahlschutzplanke mit Pfostenabstand 4 m verwendet, siehe Bild 53. Der Holm der Schutzeinrichtung war im B-Profil ausgeführt. Am Anfang und Ende der Schutzeinrichtung war jeweils eine 12-m-Regelabsenkung verbaut.



Bild 53 ESP 4.0 mit angebrachtem MPS

5.2 Modifikation des MPS

In Bild 54 ist die Anbringung des MPS an der ESP 4.0 zu sehen.

Die Positionierung von je zwei Aufhängebügeln zwischen den Pfosten ist gut zu erkennen. Im Bereich der Pfosten befinden sich keine Aufhängebügel. Auch die Stoßpositionierung des UFS mittig zwischen den Pfosten ist gut zu erkennen.

In Bild 54 rechts wird die Verschraubung zwischen UFS und Aufhängebügel gezeigt. Sowohl das vertikale Langloch im Bügel, als auch der Schraubenüberstand sind zu erkennen.

Die Materialstärke des Unterfahrsschutzes wurde auf 1,5 mm reduziert und es wurden keine Deformationselemente am Pfosten verbaut.



Bild 54 Anbringung des UFS mit zweiteiligen Bügeln

Bild 55 zeigt den Stoßverstärker, der rückwärtig montiert wird, also keinen Einfluss auf das Abgleiten des Motorradfahrers an der Frontseite hat.



Bild 55 Vormontierter Stoßverstärker (Schrauben noch nicht festgezogen)

Bild 56 zeigt, dass die Halbrundkopfschrauben die Langlöcher im UFS komplett abdecken und so eine komplett geschlossene Gleitfläche für den Motorradfahrer bilden. Weiter ist die mittige Längs-Nut zur Stabilisierung der UFS-Bleche erkennbar.

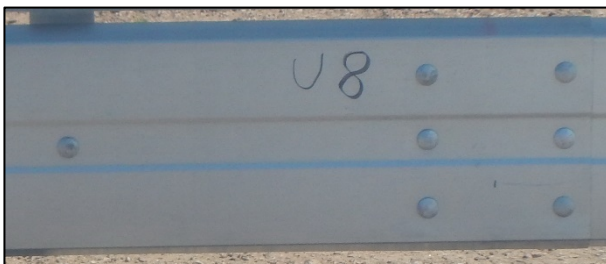


Bild 56 Verschraubung des UFS an Bügel und Stoß (Frontseite)

Der UFS wurde an beiden Enden der Schutzeinrichtung mit einem Sigma-Pfosten fixiert, um eine größere Einbaulänge des UFS zu simulieren (Bild 57). Gut zu erkennen sind zudem die horizontal ausgerichteten Langlöcher des UFS am Ende.



Bild 57 Endfixierung und Langlöcher im Stoßbereich des UFS

Abschließend zeigt Bild 58 die Frontseite der Gesamtkonstruktion.



Bild 58 Front der Gesamtkonstruktion ESP mit MPS

5.3 Dummy

Wie auch in der ersten Versuchsreihe wurde der modifizierte Dummy vom Typ Hybrid III 50th percentile male eingesetzt.

Der im ersten Versuch verwendete Helm wurde getauscht. So kam in der zweiten Versuchsreihe nicht ein matt, sondern ein glänzend lackierter Helm zum Einsatz. Eine mutmaßliche höhere Reibung, die durch eine matte Lackierung entsteht, sollte so minimiert werden. Das schnellere Abgleiten des Helms durch eine Reibungsminimierung sollte zusätzlich für geringere Halsbelastungen sorgen.

5.4 Versuch SH 19.60 (TM 1.60)

5.4.1 Versuchsdurchführung

Der erste Anprallversuch der zweiten Versuchsreihe (SH 19.60) wurde am 23. Juli 2019 auf dem DEKRA-Testgelände durchgeführt. Bild 59 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung.



Bild 59 Versuchsanordnung Versuch SH 19.60

Der Dummy prallte mit einer Geschwindigkeit von 64 km/h und unter einem Winkel von $30,3^\circ$ an den Unterfahrschutz.

Der Anprall verläuft ähnlich zu Versuch SH 18.58. Der Kopf des Dummys wird wiederum sehr schnell umgelenkt und der Dummy prallt mit der Schulter an den Unterfahrschutz. Der Unterfahrschutz verformt sich jedoch stärker und legt sich um den Pfosten. Nachdem der Dummy parallel zur Schutzeinrichtung ist, prallt er mit den Füßen am Unterzug an. Die Umlenkung ist komplett und der Dummy verlässt in einem kleineren Winkel als dem Anprallwinkel die Schutzeinrichtung. Die Endlage des Dummys ist in Bild 60 zu sehen. Bild 61 zeigt den zeitlichen Ablauf des Anprallvorgangs.

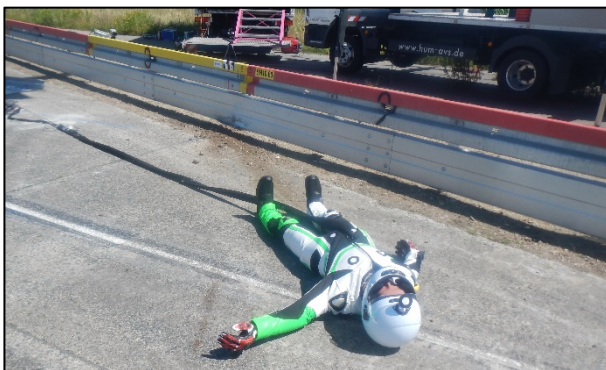


Bild 60 Endlage des Dummys

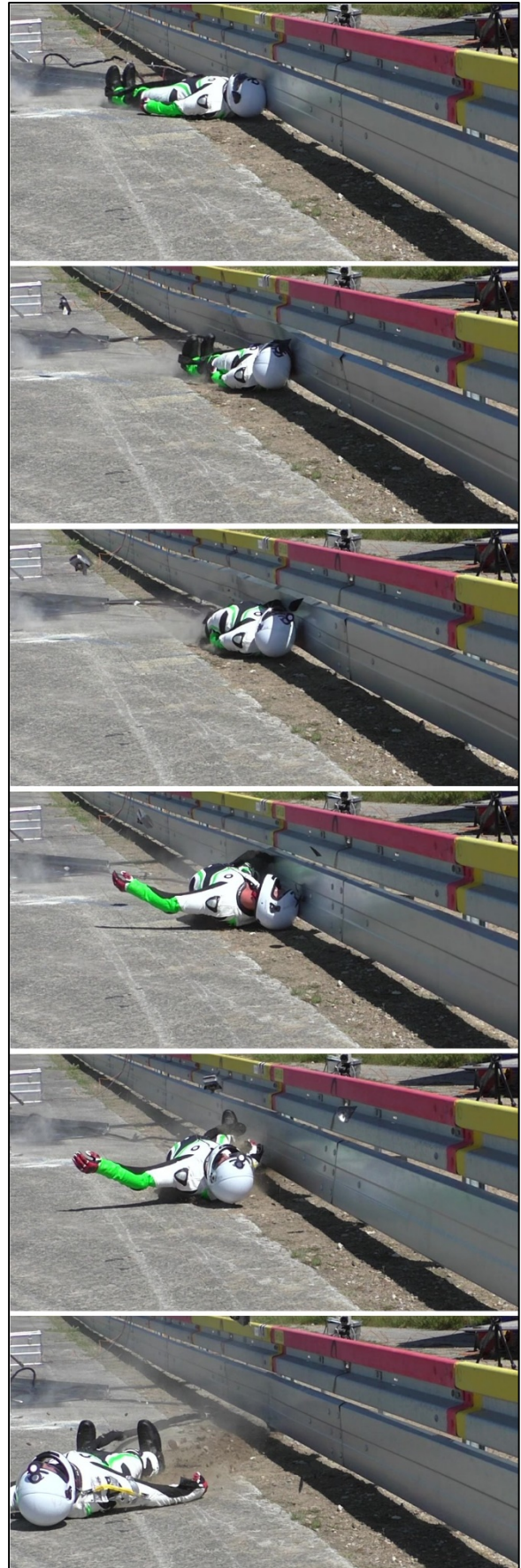


Bild 61 Ablauf des Anprallvorgangs

5.4.2 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering, Bild 62 und Bild 63.

Der angeprallte Pfosten der Schutzeinrichtung hatte sich minimal (< 1 cm) in Anprallrichtung verschoben. Die Halter des Unterfahrschutzes wurden nicht deformiert.

Der Unterfahrschutz zeigte deutlichere Spuren des Anpralls. Die untere Kante des Unterfahrschutzes wurde am Pfosten umgelegt und der komplette Unterzug wurde am Pfosten deformiert.



Bild 62 Vorderseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch



Bild 63 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch

Der Wirkungsbereich des MPS überschritt nicht die Baubreite der Schutzeinrichtung und war daher nicht relevant. Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung bzw. des MPS.

Der Dummy saß nicht im Prüfgegenstand fest. Keine Gliedmaße oder Teile von Gliedmaßen hatten sich vollständig vom Dummy gelöst und es wurden keine Riss-, Platz- oder Schnittverletzungen im ATD-Fleisch identifiziert. Die rechte Schulter (anprallseitig) brach erneut. Dies führte wiederum zu

erhöhten Intrusionen im Rippenbereich des Dummys, Bild 64.



Bild 64 Beschädigtes Rippenpaket

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

- HIC₃₆: 287 (650)
- M_{OCX}: 117 NM (134 NM)
- M_{OCY} Streckung: 30 NM (42 NM)
- M_{OCY} Beugung: 25 NM (190 Nm)
- F_{OX} MAX: 1,01 kN (Bild 65)
- F_{OZ} Zug MAX: 3,35 kN (Bild 66)
- F_{OZ} Druck MAX: 4,73 kN (Bild 67)

Die meisten dieser Werte, bis auf die Hals-Zug- und die Hals-Druckkraft, liegen unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit.

Der NIC der Hals-Scherkraft F_x ist in Bild 65 dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass die Wertekurve (rot) deutlich unterhalb der beiden Grenzkurven für Level I und II (braun und schwarz) liegt.

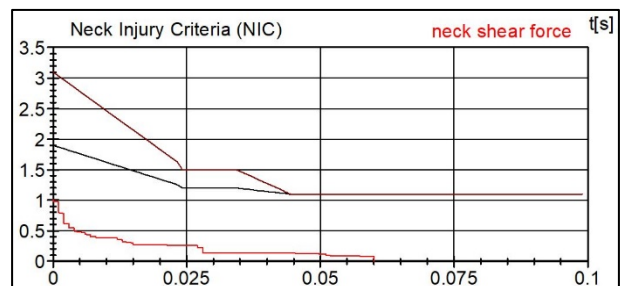
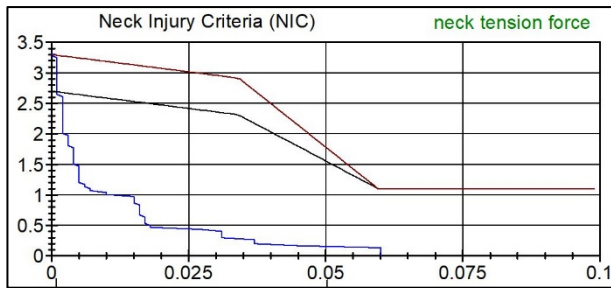
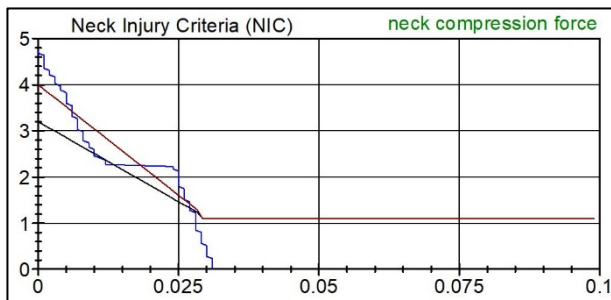


Bild 65 Hals-Scherkräfte F_x

Die Hals-Zug- bzw. -Druckkraft zeigt ein anderes Bild der Belastungen, Bild 66 und Bild 67. Die erreichten Werte liegen über den Grenzwerten für Level I und II.

Bild 66 Hals-Zugkräfte F_Z StreckungBild 67 Hals-Druckkräfte F_Z Stauchung

Diese Überschreitung der Grenzwerte für die Halskraft bedeutete, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung jedoch erneut nicht bestanden hat.

5.5 Versuch SH 19.61 (TM 3.60)

Der erste Anprallversuch wurde faktisch nicht bestanden. Eine Versuchsdurchführung mit mittigem Anprall an der Pfostenlücke wurde trotzdem als zielführend betrachtet. Die Neukonstruktion der Halter sollte hierbei überprüft werden. Zudem wurde vermutet, dass durch den zusätzlichen Stoßverstärker im Verbindungspunkt der einzelnen Unterfahrschutze die gesamte Massenträgheit des Unterfahrschutzes erhöht wird. Dies sollte durch Messwerte unterlegt werden und mögliche Interpretationen der Messwerte für weitere Tests liefern.

5.5.1 Versuchsdurchführung

Der zweite Anprallversuch wurde am 24. Juli 2019 auf dem DEKRA-Testgelände durchgeführt; Bild 68 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung.

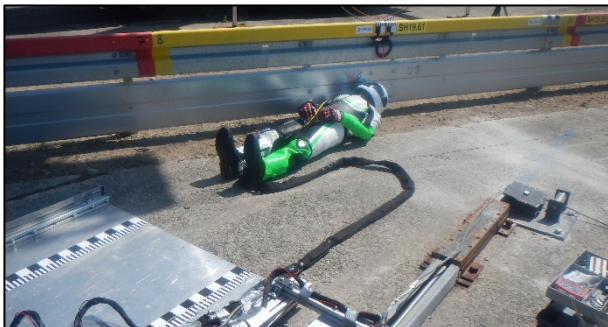


Bild 68 Versuchsanordnung Versuch SH 19.61

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

Der initiale Verlauf des Anpralls war sehr ähnlich zu den beiden bereits durchgeführten Anprallversuchen. Da der Anprallpunkt mittig zwischen beiden Pfosten lag, bog sich der Unterzug weiter durch. Dadurch klappte eine größere Lücke zwischen Unterzug und Boden auf, durch die der rechte Arm des Dummys durchrutschte. Aufgrund der Bewegung des Dummys zum Pfosten hin, erhöhte sich die benötigte Kraft um den Unterfahrschutz hoch zu drücken. Der Dummy wurde dadurch in eine Rotation versetzt und blieb nahe des Pfostens, mit seinem Arm unter dem Unterfahrschutz eingeklemmt, in seiner Endlage liegen.

Bild 69 zeigt den zeitlichen Ablauf des Anprallvorgangs, Bild 70 und Bild 71 die Endlage des Dummys.

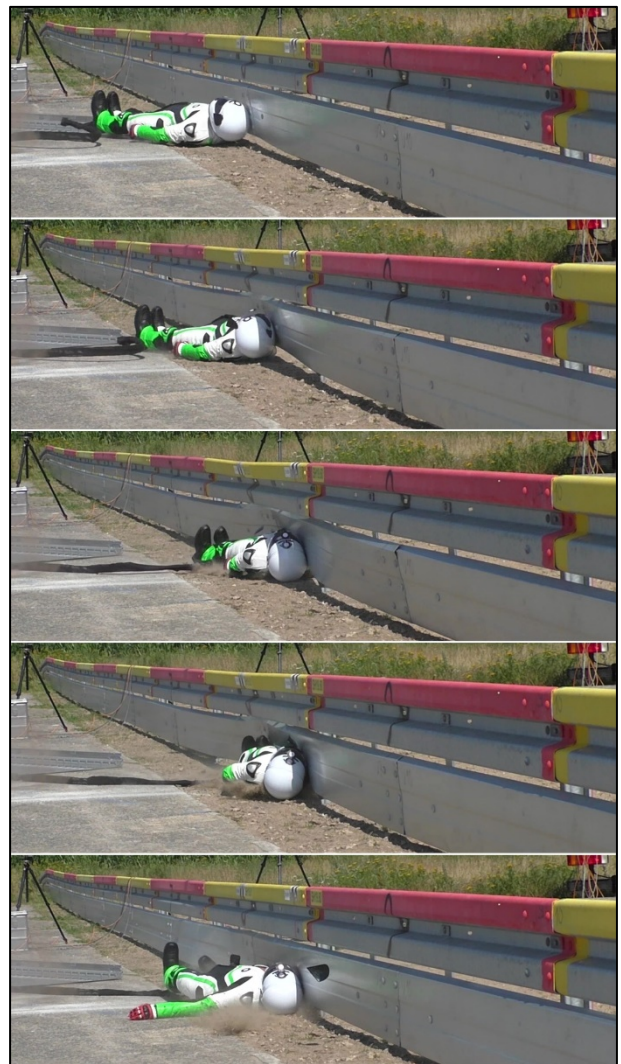


Bild 69 Ablauf des Anprallvorgangs



Bild 70 Endlage des Dummys



Bild 72 Vorderseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch



Bild 71 Endlage des Dummys (rückwärtige Ansicht)



Bild 73 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch

5.5.2 Ergebnisse

Die Beschädigungen an der Schutzeinrichtung und des MPS waren gering, Bild 72 und Bild 73.

Der Halter 8-1 wurde minimal nach hinten gebogen, Halter 8-2 geringfügig mehr. Er wurde zusätzlich im Kopfbereich der Schutzeinrichtung bleibend in Anprallrichtung deformiert.

Der Unterfahrschutz zeigte deutlichere Spuren des Anpralls. Die Stoßverbindung des Unterfahrschutzes auf der Rückseite klappte leicht auf. Auf der Vorderseite war kein Aufklaffen zu beobachten.

Die Verschiebung des Unterfahrschutzes betrug weniger als 8 cm und war damit im Vergleich zum Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung nicht relevant.

Es gab keinen Bruch eines Längselements der Schutzeinrichtung bzw. des MPS.

Der Dummy saß nach dem Anprall im Prüfgegenstand fest (Bild 70 und Bild 71). Die rechte Schulter (anprallseitig) war gebrochen und der komplette Arm wurde nur noch von der Schutzkleidung gehalten.

Es gab Schnittverletzungen im ATD-Fleisch des Dummys (Bild 74).



Bild 74 Schnittverletzungen im Dummy-Fleisch

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

- HIC₃₆: 334 (650)
- M_{OCX}: 77 NM (134 NM)
- M_{OY} Streckung: 17 NM (42 NM)
- M_{OY} Beugung: 16 NM (190 Nm)
- F_{OX} MAX: 0,48 kN (Bild 75)
- F_{OZ} Zug MAX: 1,3 kN (Bild 76)
- F_{OZ} Druck MAX: 5,23 kN (Bild 77)

Alle Werte (bis auf die Hals-Druckkraft) liegen unterhalb der Grenzwerte für die Stufe I der Anprallheftigkeit.

Das NIC der Hals-Scherkraft F_x ist in Bild 75 dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass die Wertekurve (rot) deutlich unterhalb den beiden Grenzkurven für Level I und II (braun und schwarz) liegt.

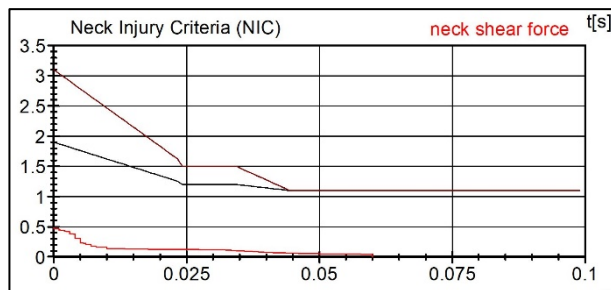


Bild 75 Hals-Scherkräfte F_x

Das NIC der Hals-Zugkraft bewegt sich ebenso in einem unkritischen Bereich, Bild 76

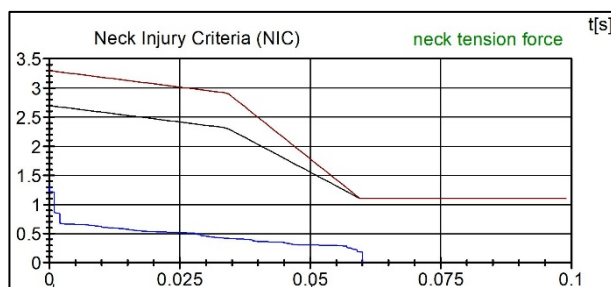


Bild 76 Hals-Zugkräfte F_z Streckung

Das NIC der Hals-Druckkraft (Bild 77) hingegen überschreitet sowohl Level I als auch II.

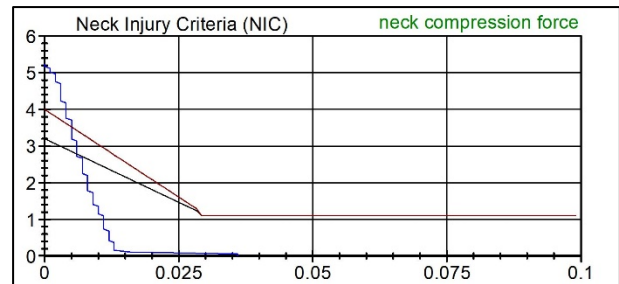


Bild 77 Hals-Druckkräfte F_z Stauchung

Die Überschreitung des Grenzwerts für das NIC der Hals-Druckkraft und auch das Festsitzen des Dummies in der Schutzeinrichtung bedeutete, dass das getestete System die Anforderungen an die Anprallprüfung nicht erfüllte und somit die Prüfung nicht bestanden hatte.

5.6 Auswertung und Beurteilung der Versuchsergebnisse der zweiten Versuchsreihe

Die beiden durchgeführten Anprallversuche der zweiten Versuchsreihe zeigten erneut die gleichen Versagenskriterien. Die Druckbelastung auf den Hals war bei beiden Versuchen zu hoch. Zusätzlich rutschte beim Anprall zwischen den Pfosten ein Arm des Dummies unter dem Unterfahrschutz durch und der Dummy blieb im MPS hängen.

5.6.1 Auswertung Versuch SH 19.60

Bei Versuch SH 19.60 wurde der Grenzwert für die Halsdruckkraft erneut überschritten. Der Grenzwert von 4 kN für Level 2 war mit einem tatsächlichen Wert von 4,73 kN um ca. 20 % zu hoch. Das war jedoch eine Reduktion von über 1 kN zum ersten Versuch SH 18.58. Für eine Unterschreitung des Grenzwerts war diese Reduktion jedoch immer noch zu gering, Bild 78. Dies zeigte jedoch, dass die Maßnahmen, die nach dem ersten Versuch getroffen worden sind, tendenziell richtig waren.

Analysiert man die Hals-Druckkraft des Versuchs SH 19.60 im Detail, ist wiederum ein extrem schneller Anstieg der Hals-Druckkraft zu erkennen, Bild 79. So ist wiederum bereits nach weniger als ca. 7 ms nach dem Erstanprall des Kopfs (Linie 1) mit der Schutzeinrichtung der Peak für die Hals-Druckkraft erreicht (Linie 2). Gleichzeitig ist mit dem Erreichen des Peaks auch der Grenzwert für Level 2 überschritten.

Alle im Folgenden verwendeten Zeitangaben beziehen sich auf den Schulteranprall, da für den Kopf-anprall wiederum kein Signalgeber am Helm eingesetzt werden durfte. Der Erstanprall des Dummy-Kopfes mit dem UFS erfolgte in dieser Zeitachse beim Zeitpunkt $t = -0,013$ s.

Der Peak in der Halsbelastung wird bei $t = -0,005$ s erreicht. Dies widerspricht der These, dass der Peak durch den Pfostenanprall generiert wird, da der Pfostenanprall erst zum Zeitpunkt $t = -0,001$ s stattfindet, Linie 3 Bild 79.

Ob der Peak durch die neu konstruierten Halter erzeugt wird, ist nicht leicht zu beantworten. Wenn man sich die Videos des Anprallversuchs anschaut, kann man eine Art „Deformationswelle“ im Unterfahrschutz erkennen. Aufgrund der geringen Materialstärke des UFS ist gut zu beobachten, dass sich der UFS mit dem Kopfanprall beginnend verformt. Diese Verformungswelle trifft ungefähr zum Zeitpunkt $t = -0,006$ s auf den vor dem Anprallpunkt liegenden Halter. Dies passt zeitlich fast mit dem Zeitpunkt des Peaks in der Halsdruckkraft zusammen. Dies könnte dem Einfluss des Halters geschuldet sein. Ein Einfluss des Halters lässt sich daher aus den Messdaten weder eindeutig bejahen, noch ausschließen.

Wenn man die Hals-Druckkräfte in Bild 67 weiter auswertet, fällt auf, dass im Zeitbereich von etwa $t = 0,015 - 0,025$ s eine zweite Grenzwertüberschreitung stattfindet. Dieser Zeitraum kann nicht eins-zu-eins mit den Messdaten in Bild 79 verglichen werden, da die Berechnung der beiden Graphen unterschiedlich ist. Man kann jedoch in dem Verlauf der Hals-Druckkraft in Bild 79 erkennen, dass es sich um den Zeitbereich $t = 0,003 - 0,016$ s handeln muss, da in diesem Bereich eine dauerhafte, betragsgleiche Belastung anliegt. Vergleicht man die Messdaten mit den Videos im zugehörigen Zeitraum, fällt auf, dass der Wert der Hals-Druckkraft abfällt, wenn der Unterfahrschutz komplett am Pfosten anliegt und sich der Helm vom Unterfahrschutz löst. Das Pendeln um diesen Wert der Hals-

Druckbelastung kommt also vermutlich vom Kontakt des Helms mit dem Unterfahrschutz und der damit verbundenen „Deformationsarbeit“. Diese Deformationsarbeit generiert Werte, die zwischen 2 und 3 kN pendeln.

Vergleicht man bei beiden Versuchen an den Pfosten (SH 18.58 und SH 19.60) die Hals-Biegemomente um die x-Achse, M_{0x} in Bild 80, fällt auf, dass das Hals-Biegemoment bei Versuch SH 19.60 höher und länger ausfällt. Dies könnte der höheren Blechstärke und den Deformations-elementen geschuldet sein, die in Versuch SH 18.58 verwendet wurden. 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, spricht dafür, dass Deformationselemente nicht notwendig sind.

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

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

	SH 18.58		SH 19.60		Grenzwerte	
	61,4 km/h		64 km/h			
HIC	414	64%	287	44%	650	
MOCX	69	51%	117	87%	134	
MOCY Streckung	27	64%	30	71%	42	
MOCY Beugung	15	8%	25	13%	190	
Hals Scherkraft	0,48	15%	1,01	33%	3,1	Level II
Hals Zugkraft	1,64	50%	3,35	102%	3,3	Level II
Hals Druckkraft	5,87	147%	4,73	118%	4,0	Level II

Bild 78 Vergleich der Messwerte bei den Versuchen mit Anprall am Pfosten

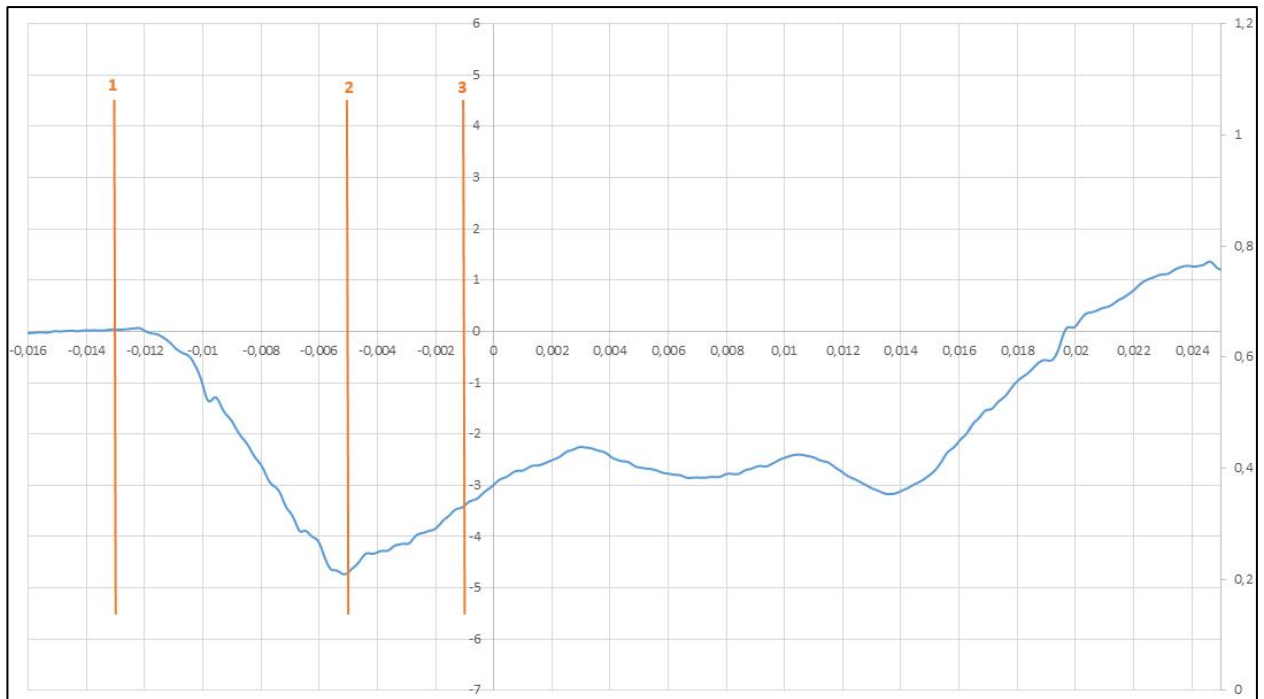


Bild 79 Auszug Hals-Druckkraft F_z bei Versuch SH 19.60 (Linie 1: Erstanprall Kopf; Linie 2: ursächlicher Peak für Grenzwertüberschreitung; Linie 3: Unterfahrerschutz liegt am Pfosten an)

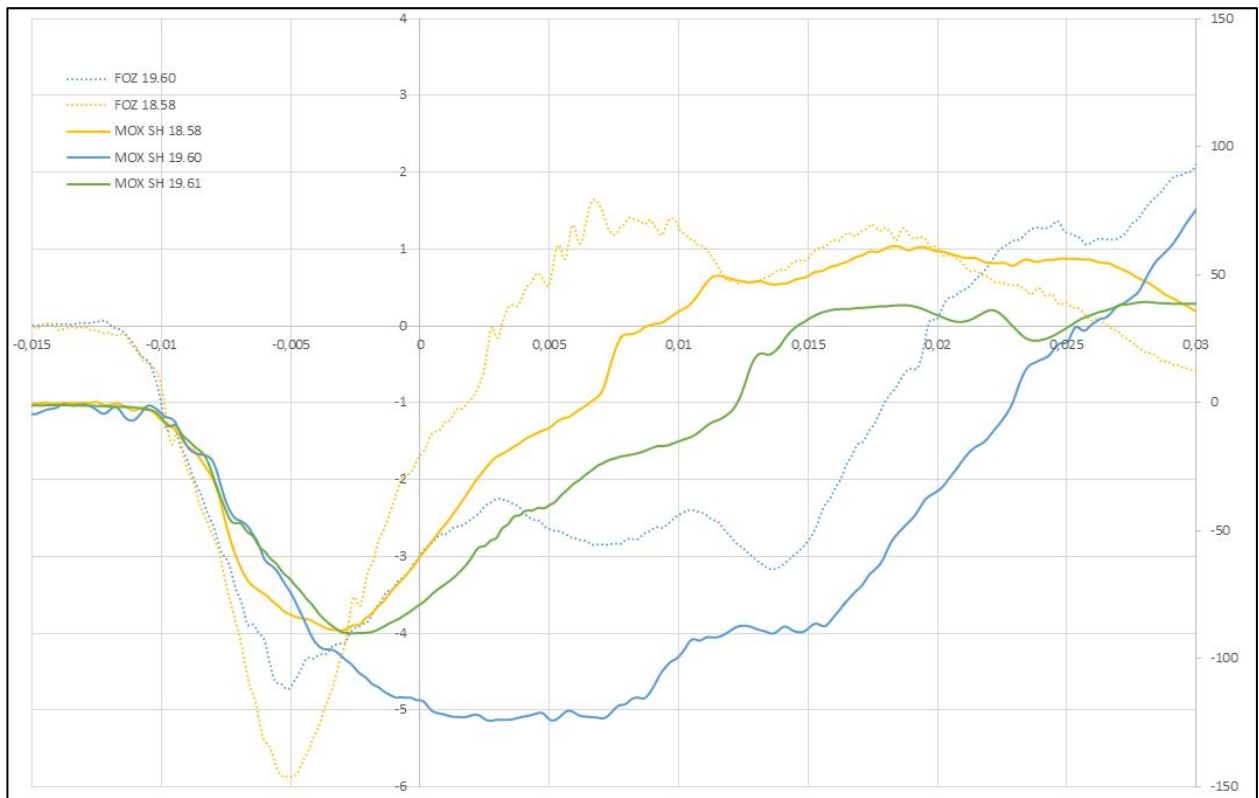


Bild 80 Vergleich der Halsdruckkräfte und der Biegemomente um die x-Achse. Zeitachse vereinheitlicht. Druckkräfte im Hals: $-F_z$, Zugkräfte: $+F_z$

5.6.2 Auswertung Versuch SH 19.61

Der Kurvenverlauf der Hals-Druckkraft ist bei beiden Versuchen mit Anprall am Pfosten vom Verlauf sehr ähnlich, Bild 80. Der Betrag der Hals-Druckkraft ist bei Versuch SH 19.61 mit Anprall zwischen den Pfosten 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 führen zu einer erhöhten Massenträgheit der Konstruktion im Anprallbereich. Diese wiederum führt – trotz einer geringeren Anprallgeschwindigkeit im Versuch SH 19.61 – zu einer höheren Halsbelastung.

Eine signifikante Änderung der beiden Verläufe ergibt sich durch den Anprall des Unterfahrschutzes am Pfosten bei $-0,001$ s, Bild 79. Während der Wert für die Hals-Druckkraft bei dem Versuch zwischen den Pfosten (SH 19.61) stark abnimmt, nimmt er beim Anprall auf den Pfosten (SH 19.60) nur gering ab und bleibt auf einem Wert der zu einer zusätzlichen Überschreitung des Grenzwerts im weiteren Verlauf führt, Bild 81. Diese anhaltend höheren Werte kommen vermutlich vom Kontakt des Helms mit dem Unterfahrschutz und der damit verbundenen „Deformationsarbeit“.

Die These „Halte des Unterfahrschutzes zu steif“ kann durch den Versuch SH 19.61 nicht widerlegt werden. Es kann aber vermutet werden, dass die Halter beim Erstanprall einen Einfluss haben, zumal sie sich beim Anprall zwischen den Pfosten dichter am Anprallpunkt befinden (66 cm, statt 133 cm).

Beim Anprallversuch trat noch ein weiteres schwerwiegendes Problem auf. Der rechte Arm des Dummys rutschte während des Anprallvorgangs unter dem Unterfahrschutz durch und verhakte sich dann unter dem Unterfahrschutz, Bild 82. Da dies ein Durchfallkriterium ist, muss ein solches Verhalten verhindert werden.

Ein Hochklappen des UFS wird sich nicht komplett vermeiden lassen. Es kann aber begrenzt werden,

indem der UFS tiefer gehängt wird und die Biegesteifigkeit der Bügel erhöht wird. Gegen eine Erhöhung der Biegesteifigkeit spricht, dass sich der erste Bügel bei $t = -0,002$ s zu bewegen beginnt, also etwa im Bereich des Peaks. Dies ließe sich durch einen weicheren vorderen Bügel und einen hinteren Bügel mit erhöhter Biegesteifigkeit moderieren. Weiter könnte eine Umgestaltung der Unterkante des UFS ins Auge gefasst werden, da diese ein Unterrutschen begünstigt.

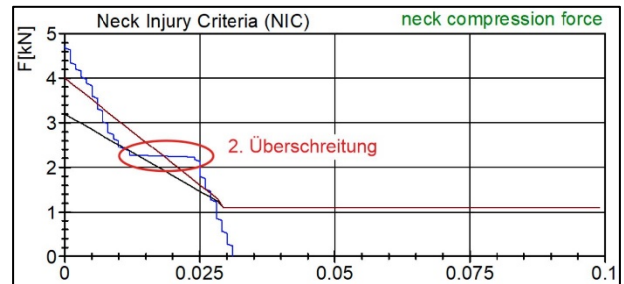


Bild 81 Zweite Grenzwertüberschreitung bei Versuch SH 19.60



Bild 82 Durchrutschen des Arms bei Anprall zwischen den Pfosten, Versuch SH 19.61

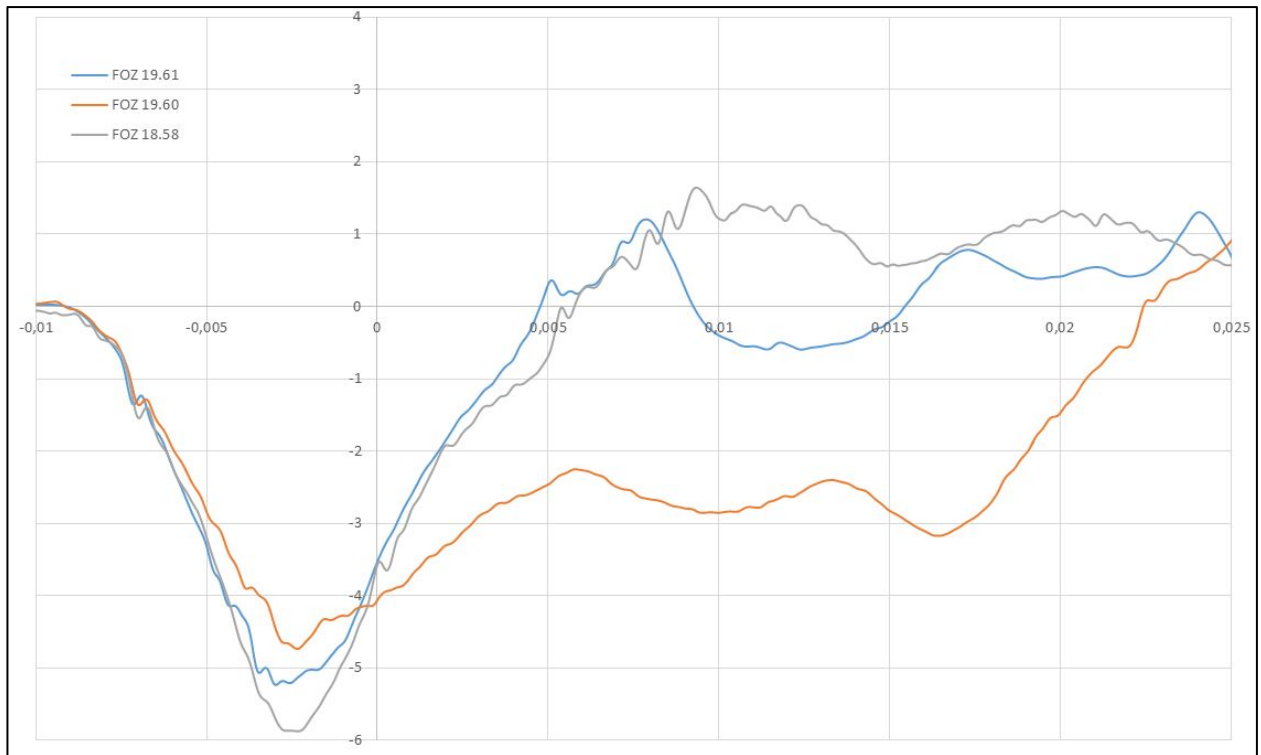


Bild 83 Halsdruckkraft aller drei Versuche (SH 19.58 grau, SH 19.60 orange und SH 19.61 blau). Zeitachse vereinheitlicht.

6 Zusammenfassung und Ausblick

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

Die Recherche nach geprüften Motorradfahrerschutzsystemen (MPS) in Europa hat gezeigt, dass diese überwiegend für Stahlschutzplanken mit Abstandhalter und/oder mit Pfostenabständen von 2 m oder weniger entwickelt wurden.

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

Bei einem Pfostenabstand von 2 m oder weniger, ist die Stützweite der Pfosten geringer und die Lage des Unterfahrschutzes beim Anprall stabiler, als bei einem größeren Pfostenabstand. Die Gefahr des Durchrutschens von Teilen des Dummys bei der Prüfung nach DIN TS 1317-8 unter dem Unterfahrschutz hindurch ist daher niedriger.

In diesem Sinne stellt die betrachtete Stahlschutzplanke Einfache Schutzplanke 4.0 (ESP 4.0) einen schwierigen Fall dar, da sie keine Abstandhalter 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 Projektes 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:

- Die Massenträgheit des Unterfahrschutzes darf nicht zu hoch sein. Die Blechstärke sollte im Bereich von 1,5 mm oder darunter liegen.
- Die Lücke zwischen Unterkante des UFS und dem Bankett sollte möglichst klein sein, um ein Durchrutschen von Teilen des Dummys zu verhindern.
- Es gibt eine geeignete Langloch-Schrauben-Kombination, um einen geschlossenen Unterfahrschutz ohne scharfe Kanten und mit kom-

plett abgedeckten Schraubenlöchern zu realisieren, ohne dass dabei Sonderteile oder Sonderkonstruktionen zum Einsatz kommen müssen.

Folgende Umgestaltungen für den in diesem Projekt entwickelten UFS werden vorgeschlagen, um dessen Leistungsfähigkeit zu erhöhen:

- Aussteifung des hinteren Aufhängebügels, um die Stabilität des UFS beim Anprall mittig zwischen die Pfosten zu erhöhen. In Kombination damit: weichere Gestaltung des vorderen Bügels, um ein Ansteigen der Dummy-Verzögerungen zu verhindern.
- Verkleinern der Lücke zwischen Unterfahrschutz und Bankett, um ein Durchgleiten von Körperteilen zu verhindern.
- Umgestaltung oder Verzicht auf die Unterkante des UFS, um ein Durchgleiten von Körperteilen zu verhindern, da die derzeitige Umkantung nach hinten eine trichterförmige Öffnung erzeugt.
- Senken der Massenträgheit im Stoßbereich durch eine Verringerung der Schraubenanzahl und Ersatz des Stoßverstärkers durch Einzelbleche (ähnlich wie Unterlegscheiben).

Offen bleibt, wie sich die in der zweiten Versuchsreihe geprüfte ESP mit MPS beim Pkw-Anprall verhalten würde. Die Änderungen gegenüber der ESP-UFS sind zu groß, um ohne weitere Untersuchungen (z. B. Simulationen) Aussagen treffen zu können.

Auf Basis der Erfahrungen dieses Projektes wird empfohlen, in der Technischen Spezifikation DIN CEN TS 17342 den Einsatz nicht kalibrierter Rippenpakete im Dummy zuzulassen. Dies würde die Kosten der Prüfungen deutlich senken, ohne die Ergebnisse zu verfälschen. Zudem sollte die Aufzeichnungsrate der Videos auf mindestens 1.000 Bilder pro Sekunde erhöht werden, um bessere Analysen der Kopfbelastungen zu ermöglichen.

Zudem erlauben die Versuchsergebnisse einige Rückschlüsse auf die im Bestand verbreitete „ESP mit Unterfahrschutz“. Der UFS weist eine Blechstärke von 2,5 mm auf und entspricht in dieser Hinsicht dem in der ersten Versuchsreihe dieses Projektes geprüften UFS. Für das gesamte MPS gilt dies nicht, da zusätzliche Deformationselemente montiert waren. Nach den Ergebnissen dieses Projektes ist jedoch zu vermuten, dass nicht alle Anforderungen der DIN TS 1317-8 von der „ESP mit Unterfahrschutz“ erfüllt werden.

Wichtige Hinweise für den Einsatz von Schutzeinrichtungen mit MPS finden sich in den Einsatzempfehlungen für Fahrzeug-Rückhaltesysteme [22], die

von einem Arbeitsgremium, bestehend aus Vertretern der Straßenbauverwaltungen der Bundesländer, der BAST und des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), erarbeitet werden. In der aktuellen Fassung vom März 2019 wird auf der Basis von Praxiserfahrungen festgestellt, dass sich UFS-Konstruktionen bewährt haben. Da der UFS-ESP einen erheblichen Anteil an den derzeit in Deutschland montierten UFS-Konstruktionen hat, beziehen sich diese Erfahrungswerte offenbar zum großen Teil auf eine Konstruktion, die der in der ersten Versuchsreihe geprüften sehr ähnlich ist. Auch wenn nicht alle Kriterien der DIN TS 1317-8 erfüllt werden, wird offenbar ein wirksamer Motorradfahrerschutz erreicht.

Die Einsatzempfehlungen teilen die in Deutschland verfügbaren Schutzeinrichtungen mit MPS in zwei Kategorien ein:

- Kategorie I
Gültige Prüfung der Schutzeinrichtung mit MPS für Pkw nach DIN EN 1317-2 und für Motorradfahrer nach DIN TS 1317-8.
- Kategorie II
Gültige Prüfung der Schutzeinrichtung mit MPS für Pkw nach DIN EN 1317-2 geprüft

„Gültige Prüfung“ bedeutet dabei, dass entweder die Schutzeinrichtung mit MPS selbst geprüft wurde oder die Prüfung an einer sehr ähnlichen Konstruktion stattfand und die Prüfergebnisse sich übertragen lassen.

In den Einsatzempfehlungen [22] werden die in Deutschland verwendbaren Schutzeinrichtungen mit MPS der Kategorien I und II aufgelistet. Dabei entsteht bisher keine Konkurrenzsituation, da für jede genannte Schutzeinrichtung nur ein MPS gelistet wird. (Die Frage „Baue ich ein MPS der Kategorie I oder II ein?“ stellt sich somit derzeit bei der Nachrüstung bestehender Schutzeinrichtungen nicht.) Die ESP-UFS fällt in die Kategorie II und kann somit weiterhin eingesetzt werden.

Die Einstufung in den Einsatzempfehlungen ist daher durch Erfahrungswerte und Prüfergebnisse gut begründet. Es lassen sich jedoch auch aus den Erfahrungen in diesem Projekt Gründe dafür identifizieren, die Wirksamkeit beim Motorradfahrerschutz nicht ausschließlich anhand der Prüfergebnisse nach DIN TS 1317-8 zu beurteilen.

Zum einen ist nicht bekannt, ob die Kriterien der DIN TS 1317-8 mit der Verletzungsschwere anprallender Motorradfahrer korreliert. Zum zweiten wird der Einfluss des mit dem Fahrer anprallenden Motorrads in der DIN TS 1317-8 nicht berücksichtigt. Es ist durchaus denkbar, dass sich bei Berücksichtigung des Motorradanpralls die geringe Blechdicke,

die durch die DIN TS 1317-8 befördert wird, nachteilig auswirkt. Etwa indem der Unterfahrschutz vom Motorrad so stark deformiert wird, dass große Lücken, Falten oder Risse im Unterfahrschutz auftreten, an denen der Motorradfahrer hängenbleiben kann; bei potentiell hoher Verletzungsschwere. Beschädigungen des UFS mit 1,5 mm Blechdicke sind auch durch den Betriebs- und Winterdienst denkbar.

Die Gütegemeinschaft Stahlschutzplanken bietet zu ihrem Standardsystem „Eco Safe“ ein Motorradfahrerschutzsystem an, welches die Anforderungen der DIN TS 1317-8 erfüllt. Dieses MPS weist im UFS eine Blechstärke von 1,5 mm auf. Sollte dieses System eine größere Verbreitung in Deutschland erfahren, könnten zukünftige Praxiserfahrungen (Winterdienst) und die Unfallstatistik helfen, obige Fragestellungen zu erhellen.

Erwägenswert erscheint allerdings auch, einen weiteren Test in die Technische Spezifikation DIN CEN TS 17342 einzuführen. Einen Test, in dem erst ein Motorrad (oder eine motorradähnliches Dummy-Fahrzeug) rutschend an den UFS anprallt und nachfolgend ein Dummy anprallt. In dem Fall könnte man prüfen, ob der Dummy an der beschädigten Konstruktion hängenbleibt oder Beschädigungen („Verletzungen“) erleidet. Alternativ zum Dummy-Anprall könnte man die Schäden des UFS durch den Motorradanprall hinsichtlich ihrer Gefährlichkeit beurteilen. Solche Beurteilungen lassen sich aber nur sehr schwer in sinnvolle Abnahmekriterien übersetzen.

Wie bereits oben erläutert, werden die in Deutschland einsetzbaren Schutzeinrichtungen mit MPS in den Einsatzempfehlungen [22] gelistet. Es gibt darin in Kategorie I kein MPS für eine Schutzeinrichtung mit einem Pfostenabstand von 4 m. Das heißt, es gibt keine gültige Prüfung nach DIN CEN TS 1317-8 (bzw. DIN CEN TS 17342) für eine Stahlschutzplanke mit einem Pfostenabstand von 4 m.

Es liegen zwar Erfahrungswerte für die ESP mit Unterfahrschutz vor, die ebenfalls einen Pfostenabstand von 4 m aufweist. Deren UFS weist jedoch eine Blechstärke von 2,5 mm und damit eine erhebliche Stabilität auf, die hilft den großen Abstand zwischen den Pfosten zu überbrücken. Diese Erfahrungswerte lassen sich daher auf UFS mit geringeren Blechstärken nicht ohne weiteres übertragen.

In diesem Projekt hat sich aber gezeigt, dass die DIN TS 1317-8 (bzw. DIN CEN TS 17342) die Verwendung dünnerer Bleche fördert, mit i. d. R. geringerer Tragfähigkeit. Die Ergebnisse dieses Projekts weisen für die Kombination aus großem Pfostenabstand und dünnem Unterfahrschutz auf die wachsende Gefahr hin, dass z. B. Hand, Arm oder Fuß eines anprallenden Motorradfahrers unter dem UFS

hindurch rutschen und im verbogenen Unterfahrschutz hängenbleiben kann, mit voraussichtlich fatalen Folgen.

Wie groß die Gefahr tatsächlich ist und welche Relevanz sie im Unfallgeschehen spielen wird, ist mit dem hier verfolgten Forschungsansatz allerdings nicht zu ermitteln.

Eine Möglichkeit wäre zunächst die Relevanz des Problems zu ermitteln, also abzuwarten, bis Unfalluntersuchungen darauf hinweisen, dass die Kombination von großem Pfostenabstand und dünnem Unterfahrschutz zu erhöhten Verletzungsschweren bei Motorradfahrern führen. Da die Unfallstatistik erst bei einer ausreichenden Anzahl von Fällen Aussagen liefert, wären solche kritischen Konstruktionen bereits weit im Markt verbreitet. Es wäre dann sehr schwierig, das Problem in einem vertretbaren Zeitraum zu lösen. Es erscheint daher empfehlenswerter, vorbeugend die Lösungsansätze dieses Projekts aufzugreifen und weiterzuentwickeln.

Eine Lösung dieses Problems an der Einfachen Schutzplanke könnte auch für das Design zukünftiger Lösungen für Motorradfahrer-Schutzsysteme an anderen Schutzplanken-konstruktionen wertvolle Informationen liefern.

7 Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt, Fachserie 8 Reihe 7: Verkehr – Verkehrsunfälle 2016; Erschienen am 06. Juli 2017, Artikelnummer: 2080700167004
- [2] Weißbuch der Europäischen Kommission: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem; ISBN 978-92-79-18269-3, doi:10.2832/30771, 28.3.2011
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Verkehrssicherheitsprogramm 2011
- [4] RPS 2009: Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, ISBN 978-3-939715-74-0, März 2009
- [5] DIN EN 1317-1:2011-01: Rückhaltesysteme an Straßen - Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1317-1: 2010
- [6] DIN EN 1317-2:2011-01: Rückhaltesysteme an Straßen - Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen; Deutsche Fassung EN 1317-2: 2010
- [7] DIN CEN/TS 1317-8:2012-08; DIN SPEC 18518:2012-08: Rückhaltesysteme an Straßen - Teil 8: Rückhaltesysteme für Motorräder, die die Anprallheftigkeit an Schutzplanken für Motorradfahrer reduzieren; Deutsche Fassung CEN/TS 1317-8:2012
- [8] MVMot: Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken; Ausgabe 2007
- [9] Gärtner M., Rücker P., Berg A.: Entwicklung und Prüfung der Anforderungen an Schutzeinrichtungen zur Verbesserung der Sicherheit von Motorradfahrern; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 940, 2006
- [10] DEKRA Verkehrssicherheitsreport Motorrad 2010
- [11] Kaufmann AG, „Schweizer Motorrad-Unterfahrerschutz moto-protect®“ heruntergeladen von www.kaufmann.ch am 24.04.2018
- [12] www.kaufmann.ch heruntergeladen am 26.02.18
- [13] www.mc-roadsidebarriers.eu heruntergeladen am 26.02.18
- [14] <https://motorbikewriter.com/barrier-key-motorcycle-safety/>, heruntergeladen am 18.04.18
- [15] CIDAUT, Test Report 513159M302/01 vom 18.11.2005
- [16] www.industriasduero.com heruntergeladen am 26.06.18
- [17] Baker Joanne et. al., „A Crash Testing Evaluation of Motorcyclist Protection Systems for use on Steel W-Beam Safety Barriers“, Journal of the Australasian College of Road Safety, Volume 28 No. 4, 2017
- [18] RAL-RG 620 Güte- und Prüfbestimmungen für kompatible Stahlschutzplankensysteme, Stand März 2010, Hrsg: Gütegemeinschaft Stahlschutzplanken e.V.
- [19] Klöckner R., Fleisch J.: „Prüfung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 157, 2007
- [20] Klöckner R., Zedler M.: „Anprallversuche an motorradfahrerfreundliche Schutzeinrichtungen“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 193, 2010
- [21] ISO 7091:2000-06, Flache Scheiben - Normale Reihe - Produktklasse C
- [22] BASt (Hrsg.), Einsatzempfehlungen für Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Version 05, Stand 03/2019, www.bast.de
- [23] Mitteilung am 03.06.2019 per Email von Herrn Schnitzler, Volkmann & Rossbach GmbH & Co. KG
- [24] telefonische Mitteilung im Mai 2019, Herr Thewes, MEISER Produktionsgesellschaft mbH & Co. KG
- [25] telefonische Mitteilung im April 2019, Frau Heike Becker, Ingenieurbüro Einfeldt und Partner

8 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1 Überblick über geprüfte MPS im europäischen Ausland (C: CMPS, D: DMPS, k.A.: keine Angabe, n.r.: nicht relevant, UFS: ähnlich zu UFS-ESP, UFS Mod: nicht ähnlich zu UFS-ESP)0
- Tab. 2 Vergleich der Abnahmekriterien TS 1317-8 und UNE 135900
- Tab. 3 Prüfergebnisse nach EN TS 1317-8 des Centre for Road Safety, Transport for NSW, Sydney, Australia an einem "Public-Domain"-MPS, dessen UFS dem UFS-ESP ähnlich scheint [17].
- Tab. 4 Stückliste zum MPS, welches in zweiter Versuchsreihe geprüft wurde. Die für den UFS vorgesehene Stahlgüte S 235 JR war teilweise nicht lieferbar, daher wurde ein bandverzinkter S 250 GD verwendet

9 Abbildungsverzeichnis

- Bild 1 Versuch SH 99.05 – aufrechter Anprall an EDSP
- Bild 2 Versuch SH 99.06 – aufrechter Anprall an BSWF
- Bild 3 Versuch SH 99.73 – rutschender Anprall an ESP
- Bild 4 Versuch SH 99.74 – rutschender Anprall an BSWF
- Bild 5 Versuch SH 99.79 – rutschender Anprall an „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“
- Bild 6 Versuch SH 99.80 – aufrechter Anprall an „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“
- Bild 7 Im Forschungsprojekt entwickelte passive Schutzeinrichtung „Schweizer Kastenprofil mit Unterzug“
- Bild 8 Versuch BAST 03.01
- Bild 9 Versuch BAST 03.02
- Bild 10 Versuch BAST 04.01
- Bild 11 Versuch BAST 04.02
- Bild 12 Versuch BAST 04.03
- Bild 13 Versuch BAST 04.04
- Bild 14 System Euskirchen^{Plus} an der ESP
- Bild 15 System Euskirchen^{Plus} an der EDSP
- Bild 16 TB 11 an EDSP Euskirchen^{Plus}
- Bild 17 TB 32 an EDSP Euskirchen^{Plus}
- Bild 18 TB 11 an ESP Euskirchen^{Plus}
- Bild 19 TB 11 an ESP Motorrad
- Bild 20 TB 32 an ESP Motorrad
- Bild 21 Anprallpunkte für CMPS in TS 1317-8 [7], oben: Anprallweg 1, unten: Anprallweg 3
- Bild 22 Messgrößen am Dummy-Hals nach [7]
- Bild 23 So nahe kamen die Messwerte bei der Prüfung TM 3.60 an dem UFS "BASYC" ihrem jeweiligen Grenzwert in Prozent. Für die Größen Fx, Fz Streckung und Fz Stauchung sind die Grenzwerte

zeitanhängig, es wurde die größte Annäherung näherungsweise aus den Messgraphen bestimmt. Datengrundlage: [15]

- Bild 24 Illustration der kritischen Dummy-Messgrößen nach [7].
- Bild 25 Skizze des Querschnitts mit Doppelbügel (rot, blau) des UFS BLM.ID-N2/01 (Nr. 10 u. Nr. 22) nach [16] als Verbindung zwischen Holm (oben) und UFS (unten).
- Bild 26 Prognostizierte Werte für BASt 04.04 und Anforderungen nach [7]
- Bild 27 Änderung der Halsdruckkräfte bei BASt 04.04 durch höheren Energieeintrag
- Bild 28 Zweiteiliges Deformationselement (rot) in der Draufsicht, montiert an Sigma-Pfosten der ESP
- Bild 29 Ein Teil des zweiteiligen Deformatinselements in der Abwicklung
- Bild 30 ESP 4.0 mit angebrachtem Unterfahrschutz und Deformationselementen
- Bild 31 Zweiteiliges Deformationselement in der praktischen Umsetzung
- Bild 32 Eingesetzter Dummy HIII 50th percentile male
- Bild 33 Versuchsanordnung Versuch SH 18.58
- Bild 34 Anprallsequenz des Dummys
- Bild 35 Vorderseite der Schutzeinrichtung und Anprallpunkt nach dem Versuch
- Bild 36 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch
- Bild 37 "Gebrochene" Schulter und beschädigtes Rippenpaket
- Bild 38 Hals-Scherkräfte F_x
- Bild 39 Hals-Zugkräfte $F_{Z \text{ Streckung}}$
- Bild 40 Hals-Druckkräfte $F_{Z \text{ Stauchung}}$
- Bild 41 Zeitlicher Verlauf der Hals-Druckkraft
- Bild 42 Erstkontakt Kopf/Schulter/Unterfahrschutz
- Bild 43 Schulter mit Bandschalter (gelb)
- Bild 44 Filmdaten zur Analyse der maximalen Hals-Druckkraft
- Bild 45 Gemessene Druckkraft auf den Hals bei UFS mit 2,5 mm Blechstärke (unterste Kurve, "Messreihe"), berechnete Druckkraft für 2,0 mm Blechstärke (mittlere Kurve, "Simulation 2,0 mm") und für 1,5 mm Blechstärke (obere Kurve, "Simulation 1,5 mm"). Maximalwert für Anprallheftigkeitsstufe I (obere Gerade, „Level I“) und –stufe II (untere Gerade „Level II“).
- Bild 46 Halbrundkopfschraube 024.48 (links), Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 (mittig, Nase versenkt daher nicht zu sehen) und Halbrundkopfschraube mit Sechskant 040.03 (rechts), Bauteilnummern nach RAL [18]
- Bild 47 Halbrundkopfschraube 024.48 Maße nach RAL [18] sowie nach [23], eigene Zeichnung
- Bild 48 Halbrundkopfschraube mit Nase 040.00 Maße nach RAL [18], eigene Zeichnung
- Bild 49 Unterfahrschutz und Stoßverstärker, die angegebene Stahlgüte S 235 JR entspricht der Auslegung, bei der Prüfung kam ein S 250 GD zum Einsatz (s. Stückliste in Tab. 4)
- Bild 50 Doppelseitiger Bügel
- Bild 51 Verschraubung und Anordnung der Langlöcher des MPS mit 1,5 mm starkem UFS an der ESP. Die angegebenen Nummern sind Teile-Nummern nach RAL [18].
- Bild 52 Querschnitt an Aufhängung des UFS
- Bild 53 ESP 4.0 mit angebrachtem MPS
- Bild 54 Anbringung des UFS mit zweiteiligen Bügeln
- Bild 55 Vormontierter Stoßverstärker (Schrauben noch nicht festgezogen)

- Bild 56 Verschraubung des UFS an Bügel und Stoß (Frontseite)
- Bild 57 Endfixierung und Langlöcher im Stoßbereich des UFS
- Bild 58 Front der Gesamtkonstruktion ESP mit MPS
- Bild 59 Versuchsanordnung Versuch SH 19.60
- Bild 60 Endlage des Dummys
- Bild 61 Ablauf des Anprallvorgangs
- Bild 62 Vorderseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch
- Bild 63 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch
- Bild 64 Beschädigtes Rippenpaket
- Bild 65 Hals-Scherkräfte FX50
- Bild 66 Hals-Zugkräfte F_z Streckung
- Bild 67 Hals-Druckkräfte F_z Stauchung
- Bild 68 Versuchsanordnung Versuch SH 19.61
- Bild 69 Ablauf des Anprallvorgangs
- Bild 70 Endlage des Dummys
- Bild 71 Endlage des Dummys (rückwärtige Ansicht)
- Bild 72 Vorderseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch
- Bild 73 Rückseite der Schutzeinrichtung nach dem Versuch
- Bild 74 Schnittverletzungen im Dummy-Fleisch
- Bild 75 Hals-Scherkräfte FX
- Bild 76 Hals-Zugkräfte F_z Streckung
- Bild 77 Hals-Druckkräfte F_z Stauchung
- Bild 78 Vergleich der Messwerte bei den Versuchen mit Anprall am Pfosten
- Bild 79 Auszug Hals-Druckkraft F_z bei Versuch SH 19.60 (Linie 1: Erstanprall Kopf; Linie 2: ursächlicher Peak für Grenzwertüberschreitung; Linie 3: Unterfahrschutz liegt am Pfosten an)
- Bild 80 Vergleich der Halsdruckkräfte und der Biegemomente um die x-Achse. Zeitachse vereinheitlicht. Druckkräfte im Hals: $-F_z$, Zugkräfte: $+F_z$
- Bild 81 Zweite Grenzwertüberschreitung bei Versuch SH 19.60
- Bild 82 Durchrutschen des Arms bei Anprall zwischen den Pfosten, Versuch SH 19.61
- Bild 83 Halsdruckkraft aller drei Versuche (SH 19.58 grau, SH 19.60 orange und SH 19.61 blau). Zeitachse vereinheitlicht.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2019

V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50

V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**
Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübel € 18,50

V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Waltherr € 22,00

V 318: **Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**
Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

V 319: **Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**
Lippold, Vettters, Ressel, Alber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 320: **Einsatzbereiche und Entwurfsэлеmente von Rad-schnellverbindungen**
Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00

V 322: **Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**
Hausmann € 18,00

V 323: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**
Fitschen, Nordmann € 31,50
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

2020

V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**
Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

V 324: **Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**
Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**
D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 326: **Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**
Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

V 327: **Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**
Frenken, Mahmoudi € 16,50

V 328: **Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**
Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: **Streckenbezogene Glättevorhersage**
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: **Führung des Radverkehrs an Landstraßen**
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: **Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: **Räumliche Linienführung von Autobahnen**
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: **Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**
Hänisch, Heidebrunn € 17,00

V 334: **Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: **Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

V 336: **Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

V 337: **Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

V 338: **Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 339: **Aktualisierung der Datenbank MARLIS**
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 340: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**
Fitschen, Nordmann € 31,00

V 341: **Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 342: **Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

V 343: **Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

V 344: **Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen**
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00

V 345: **Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten**
Liepert, Skowronek, Eberlei, Crljenkovic, Müller, Schady, Elsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 346: **Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**
Müller, Huth, Liepert € 15,00

V 347: **Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**
Schwietering, Löbbeling, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 348: **Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**
Bohle, Busek, Schröder € 18,50

V 349: **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**
Schreck-von Below € 22,00

V 350: **Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Bartolomaeus, Strigari, Sammet
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 351: **Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**
Holldorb, Cypra, Pape
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2022

V 352: **Abriebe von Fahrbahnoberflächen**
Düring, Schmidt, Johannsen € 19,00

V 353: **Nutzung der C2X-basierten ÖV-Priorisierung an signalisierten Knotenpunkten**
Gay, Grimm, Otto, Partzsch, Gersdorf, Gierisch, Löwe, Schütze € 16,00

V 354: **Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko**
Radenberg, Müller, König, Hagedorn, Geistefeldt, Hohmann, Heinrichs, Stiehler, Kortemeyer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 355: **Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrern bei Rot**
Niestegge, Schüller, Hantschel, Schröter, Gerike
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 356: **Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgänger-schutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen**
Medicus, Schmotz, Gerike, Reinartz, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 357: **Qualifizierung der in Deutschland verwendeten Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit verbessertem Schutz für Motorradfahrer nach den aktuellen europäischen Spezifikationen**
Klößner, Gärtner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.