

Kriterien für die Beurteilung des Gefährdungspotenzials für Motorradfahrer durch scharfkantige Konstruktionsteile in Fahrzeug-Rückhaltesystemen

FA 3.514

Forschungsstellen: DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen,
Crashtest-service.com GmbH (CTS),
Münster

Bearbeiter: Kathmann, T. / Kammel, C. / von Heel, E. /
Schimmelpfennig, P. / Reglitz, G. / Goer-
gen, V.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digi-
tale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Juni 2020

- Der Anteil der bei einem Anprall an eine Schutz-
einrichtung getöteten Motorradfahrer liegt zwischen 5
und 20 %.
- In Bezug auf die Position des Fahrers kann von einer
Gleichverteilung (sitzend/rutschen) ausgegangen wer-
den.
- Die Anprallwinkel liegen zwischen 10° und 45°, wobei
die kleinen Winkel eher überwiegen und häufig Mittel-
werte um 15° angegeben werden.
- Bei den Kollisionsgeschwindigkeiten zeigen sich eben-
falls große Unterschiede.
- Hinsichtlich der Verletzungen konnte festgestellt wer-
den, dass es bei der Mehrzahl der Unfälle zu Verlet-
zungen der oberen Extremitäten kommt. Darüber hin-
aus sind auch in mehr als 50 % der Unfälle Abschür-
fungen zu beobachten. Eine direkte Abhängigkeit zw-
ischen Unfallschwere und Geschwindigkeit konnte
nicht nachgewiesen werden.
- Der Anteil der verunglückten Motorradfahrer, die eine
Schutzausrüstung getragen haben, überwiegt (64 %).

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Verbesserung der Verkehrssicherheit ist ein wesentlicher Bestandteil der politischen Zielsetzung in Deutschland. Trotz eines Rückgangs der Getöteten im Straßenverkehr erfolgt dieser nicht in ausreichendem Maße. Da sich Unfälle nie ganz vermeiden lassen werden, sind insbesondere die Folgen eines Unfalls abzumildern. Fahrzeug-Rückhaltesysteme sind dabei eine Maßnahme, um dies zu erreichen. Bis 2002 wurden hierbei besondere Anforderungen seitens der Motorradfahrer nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt. Heutzutage ist die Beachtung solche Anforderungen fester Bestandteil der Verkehrssicherheitsarbeit.

In der Studie sollen deshalb diese Fahrzeug-Rückhaltesysteme und ihre Bestandteile eingehend auf ihr Gefährdungspotenzial untersucht werden. Im Fokus stehen dabei besonders scharfkantige Konstruktionsteile, die der Motorradfahrer aufsitzend oder rutschend erreichen kann. Die Bewertungen der Gefährdungspotenziale sollen abschließend in Bewertungskriterien überführt werden, anhand derer verschiedene Konstruktionsmerkmale bezüglich ihrer Scharfkantigkeit bewertet werden sollen.

Aufbauend auf einer internationalen Literaturstudie und einer eigens durchgeführten Befragung von Unfallexperten wurden in dieser Studie verschiedene Anprallversuche konzipiert und durchgeführt, welche typische Anprallsituationen von Motorradfahrern darstellen.

2 Grundlagen

Im Rahmen der Grundlagenstudie wurden die vorhandenen Erkenntnisse zum Unfallgeschehen von Motorradfahrern allgemein sowie gesondert in Bezug auf den Anprall an Fahrzeugrückhaltesysteme analysiert und systematisch aufbereitet. Dazu wurden sowohl Literaturquellen konsultiert als auch Datenbanken (GIDAS, VSS) ausgewertet.

Die Erkenntnisse der Grundlagenstudie können hinsichtlich der wesentlichen Merkmale wie folgt zusammengefasst werden:

3 Kriterien zur Bewertung der Scharfkantigkeit

In dem Kapitel wurden sowohl verschiedene internationale Ansätze zur Beschreibung der Scharfkantigkeit untersucht, als auch Kriterien gesucht, die das Gefährdungspotenzial von passiven Schutzeinrichtungen bewerten können. Um die Beurteilung der Scharfkantigkeit zu objektivieren, wurde darüber hinaus eine theoretische Überlegung zur Scharfkantigkeit angestellt und eine Expertenbefragung durchgeführt, in welcher ausgewiesene Experten das Gefährdungspotenzial einzelner Teile oder Systeme von passiven Schutzeinrichtungen auf einer Skala von "sehr niedrig" bis "sehr hoch" bewerten sollten. In der theoretischen Überlegung wurde festgestellt, dass Scharfkantigkeit von verschiedenen Kriterien des anprallenden und des angeprallten Objekts abhängt. Scharfkantigkeit ergibt sich also immer aus einer Konstellation von Randbedingungen heraus und ist nicht pauschal festzulegen. Zudem kann Scharfkantigkeit nicht nur ein Einschnitt- beziehungsweise Trennverhalten aufweisen, sondern generell unerwünschte Verletzungen hervorrufen.

Ansätze zur Bewertung der Scharfkantigkeit liefern die RPS 2009, die ZTV FRS 2013, Fassung 2017, die TLP ÜK (2017) und die TK FRS, 2017. Grundgedanken sind immer die Vermeidung formaggressiver Konstruktionsteile, weil diese für Motorradfahrer eine Gefahr darstellen können. Ein Teil der Formaggressivität ist die Scharfkantigkeit. Hierbei werden 1 cm oder mehr aufklaffende Überlappungsstöße / verschobene Stumpfstöße,

die gegen die Fahrtrichtung angeordnet sind, oder freiliegende Pfostenprofile als formaggressiv beispielhaft benannt. Zudem seien verkehrszugewandte Längselemente, die eine Mindesthöhe von 14 cm nicht erreichen, sowie Krümmungsradien von weniger als 24 mm (laut Entwurf der TLP FRS) und herausragende Vertikalelemente ebenfalls als formaggressiv einzustufen. 9 mm werden laut Norwegian Public Road Administration (2014) bei Kantenradien von Profilpfosten als Grenzwert erachtet. Abgedeckte und von einem Verkehrsteilnehmer nicht zu erreichende Konstruktionsteile werden dagegen als nicht formaggressiv angesehen. Auch glatte Konstruktionen, ohne hervorstehende Bestandteile oder Öffnungen, welche die Aufprallenergie absorbieren können, werden als unproblematisch eingestuft. Ob diese Kriterien ausschlaggebend sind, soll unter anderem in dem Projekt herausgestellt und kritisch hinterfragt werden.

Inwieweit die Formaggressivität oder Scharfkantigkeit und ihre Auswirkungen zu quantifizieren sind, wird in einer ersten Näherung durch NORDQVIST et al. (2015) dargestellt. Hierbei werden Kategorien zur Bestimmung der Motorradfreundlichkeit von Schutzeinrichtungen definiert, die auf Basis einer Literaturstudie festgelegt wurden. Die Kategorien reichen von -1 bis +5, wobei -1 sehr schlecht und +5 sehr gut darstellen.

Um einen Vergleich der Konstruktionsteile untereinander sowie eine qualitative Bewertung zu erreichen, wurde zusätzlich eine Expertenbefragung durchgeführt. Dazu wurden ausgewiesene Fachexperten gebeten, einzelne Elemente oder ganze Systeme von passiven Schutzeinrichtungen bezüglich ihres Gefährdungspotenzials auf einer Skala von "sehr niedrig" bis "sehr hoch" zu bewerten. Die zuvor vorgenommene Bewertung konnte durch die Befragung weiter belegt werden. Durch die Befragungen konnten allerdings keine genauere Bewertung oder gar exakte Kriterien abgeleitet werden. Wie beschrieben, ist lediglich eine Bewertungstendenz erkennbar. Zur weiteren Differenzierung und Bewertung werden im Folgenden verschiedene Anprallversuche durchgeführt und ausgewertet.

4 Versuchsreihe zur Beurteilung der Scharfkantigkeit

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Grundlagenstudie, der Unfallauswertung und den bisherigen Bewertungsansätzen zur Scharfkantigkeit wurde ein Versuchsprogramm entwickelt und mit der Bundesanstalt für Straßenwesen abgestimmt, welches einzelne Konstruktionselemente in Bezug auf ihre Scharfkantigkeit untersuchen sollte.

4.1 Entwicklung des Versuchsprogramms

Insgesamt wurden acht Versuche definiert und durchgeführt. Diese lassen sich hierbei in vier Gruppen zusammenfassen, in denen jeweils ein besonderes Kriterium anhand eines Plan- und eines Bezugsversuchs betrachtet wird.

Die Versuche 1a und 1b dienten dazu, das Gefährdungspotenzial durch aufklaffende und hervorstehende Konstruktionsteile zu untersuchen. Hierbei wurde als Planversuch eine aufklaffende Überlappung von 2 cm getestet. Dieser Wert spiegelt die gemäß ZTV FRS 2013, Fassung 2017 maximal zulässige Größe von Vorsprüngen beziehungsweise Spalten wider. Mittels der Versuche 2a und 2b sollte das Gefährdungspotenzial von hervorstehenden Schrauben untersucht werden. Der Wert für den Schraubenüberstand entstammte als erste Annäherung ebenfalls der ZTV FRS 2013, Fassung 2017. Die Versuchsreihe 3 mit ihren drei Versuchen betrachtete das Gefährdungspotenzial von Schutzplankenpfosten bei unterschiedlichen Kantenradien. Hierbei wurden die üblichen Pfostenprofile (IPE-, Sigma- und rohrummantelter Sigma-Pfosten) Anprallversuchen unterzogen. Im Versuch 4 wurde das Gefährdungspotenzial von überstehenden Pfosten analysiert. Auch hier wurde im Planversuch ein Pfostenüberstand gewählt, der sich aus den Anforderungen der ZTV FRS 2013, Fassung 2017 ergab. In Versuch 5 wurde ein Anprall an eine Konstruktion mit normgerechter Pfostenhöhe durchgeführt, um einen Vergleich zum Versuch 4 zu ermöglichen.

Da davon ausgegangen wurde, dass bei hohen Geschwindigkeiten von 100 km/h und mehr einzelne Merkmale der Scharfkantigkeit im Verhältnis zum Gesamtverletzungsmuster eine untergeordnete Rolle spielen, wurde hier eine Geschwindigkeit von 60 km/h angesetzt. Hinsichtlich der Anprallwinkel wurden Winkel von 15° und 30° gewählt. Bei allen Versuchen kamen neuartige Dummies in Form des Biofidel-Crashtest-Dummys zum Einsatz. Diese ermöglichte eine möglichst exakte Nachstellung von Bewegungsabläufen und Verletzungen. Da in Deutschland eine Helmtragepflicht herrscht, wurde beschlossen, dass alle Versuche mit einem Helm mittlerer Preiskategorie durchgeführt wurden. Auch wenn in Deutschland für Motorradfahrer keine Verpflichtung zum Tragen entsprechender Schutzkleidung besteht, wurde auch hier eine Durchführung mit entsprechender Schutzkleidung definiert. Die Versuche 1a, 1b, 2a, 2b und 4 wurden mit einem aufsitzenden Dummy durchgeführt. Als Ergebnis der Vorüberlegungen wurde der Bau eines "Doppelmotorrads" konzipiert und umgesetzt, welches in Bild 1 dargestellt ist. Ein kontrollierter Anprall sollte damit ermöglicht werden.



Bild 1: "Doppelmotorrad" Honda CBR 125 R (Ansicht hinten)

Auf den Traversen zwischen den beiden Motorrädern wurde die weitere Instrumentierung angebracht. Hierzu gehörte unter anderem ein Unfalldatenspeicher (UDS). Inklusiv dem voll bekleideten Dummy betrug das Crashgewicht in den Versuchen 336 kg.

Die Versuche 3a, 3b und 3c wurden ohne Motorrad und nur mit einem Dummy durchgeführt. Hierbei erfolgte die Beschleunigung des Dummy mittels eines sogenannten Flying Floor (siehe Bild 2).



Bild 2: Dummy auf dem Flying Floor

Sämtliche Versuche fanden auf dem Gelände der Firma crash-test-service.com GmbH in Münster-Wolbeck statt. Die Anprallwinkel konnten durch geeigneten Aufbau der zu testenden Schutzeinrichtungen in Bezug auf die Beschleunigungseinrichtung sichergestellt werden. Anprallgeschwindigkeiten wurden mittels Lasermessung kontrolliert.

Da die hier durchgeführten Versuche anhand von typischen Unfallkonstellationen konzipiert worden sind, lässt sich daraus eine gewisse Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das reale Unfallgeschehen ableiten. Aus dieser Übertragbarkeit folgt im nächsten Schritt die Möglichkeit der Festlegung von Kriterien, anhand derer die Scharfkantigkeit beurteilt werden soll.

5 Kriterien zur Beurteilung der Scharfkantigkeit von Konstruktionsteilen

Aufbauend auf der Literaturstudie und den durchgeführten Anprallversuchen wurden im Folgenden Kriterien abgeleitet, mit denen die Scharfkantigkeit von Konstruktionsteilen beurteilt werden kann. Aufgrund der in der Literatur häufig betrachteten Fälle des rutschenden und aufrechten Anpralls, die ebenfalls durch die Unfallauswertung der verschiedenen Datenquellen bestätigt werden konnte, sollte diese Differenzierung der Unfallkonstellationen auch in die Erarbeitung der Bewertungskriterien mit einfließen.

5.1 Ableitung von Kriterien aus den Versuchen mit rutschendem Anprall

Im rutschenden Zustand ist der kritische Fall für den Motorradfahrer das Erreichen des Pfostens. Werden die Verletzungsfolgen der Versuchsreihen 3a bis 3c in Vergleich zueinander gesetzt, zeigt sich für die Radien von 0 bis 9 mm (IPE-Pfosten)

eine gesteigerte Verletzungsschwere. In Anbetracht der Kriterien aus der Literatur und den in der Studie durchgeführten Anprallversuchen an Pfosten mit unterschiedlichen Kantenradien sowie den daraus resultierenden Ergebnissen, soll als Kriterium zur Beurteilung der Scharfkantigkeit für den Fall rutschender Anprall ebenfalls ein Mindestradius definiert werden. Die Kanten, die der rutschende Motorradfahrer in dieser Unfallkonstellation erreichen kann, sollen möglichst einen gewissen Mindestradius der Kantenausrundung aufweisen. Auch die durchgeführte Expertenbefragung belegt die deutlichere Ungefährlichkeit abgerundeter Kanten.

5.2 Versatz-Kriterium und Schablone

Beim aufrechten Anprall spielen wesentlich mehr Faktoren eine Rolle als die ausschließliche Betrachtung von Kantenradien. Bei einem aufrechten Anprall kann es sowohl zu einem Übersteigen des Rückhaltesystems kommen als auch zu einem Entlanggleiten an der Holmfläche beziehungsweise auf der Oberfläche einer BSW. Ein Verhaken mit den rückseitigen Pfostenköpfen oder Abstandshaltern bei Distanzschutzplanken ist hierbei möglich.

5.2.1 Versatz

Aus der Forderung nach glatten Flächen an der dem Verkehr zugewandten Seite und den möglichst flachen Verschraubungen kann ein Kriterium, welches Versatz-Kriterium genannt werden soll, abgeleitet werden.

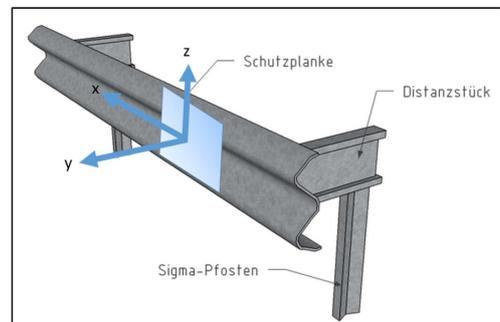


Bild 3: Skizze zur Verdeutlichung des Kriteriums horizontaler Versatz [Quelle: Sascha Pöschl, eigene Bearbeitung]

Bild 3 zeigt die idealisiert angenommene Ebene (hellblau) in der x-z-Ebene auf dem Holm einer Schutzplanke. Wird diese Ebene nun gedanklich horizontal entlang des Holms verschoben (quasi wie ein Abgleiten nach einem Anprall), kann der Höhenverlauf des Holms auf der y-Achse abgebildet werden. Das Versatz-Kriterium wäre in diesem Fall ein Grenzwert, der eine maximal zulässige absolute Höhenänderung im Vergleich zum vorherigen y-Wert festlegen würde. Das Kriterium horizontaler Versatz soll also auf die wie auch immer geformte Oberfläche der Schutzeinrichtung, welche von der Fahrbahn zugänglich ist, anwendbar sein. Aufgrund der geringen Anzahl von Versuchen in dieser Studie ist eine valide Grenzwertfestlegung nicht möglich.

5.2.1 Versatz-Kriterium und Mindesttangentialwinkel

Aus dem ersten Kriterium des maximalen Versatzes kann ein weiteres Kriterium abgeleitet werden: der Mindesttangentialwinkel. Können Versätze von der Holmebene oder der Oberkante der Schutzeinrichtung mit einem Versatz größer dem Grenzwert konstruktionstechnisch nicht vermieden werden, sind diese als scharfkantig einzustufen, wenn sie zusätzlich eine scharfe Kante aufweisen. Sind diese zudem nicht elastisch und verformbar ausgeführt, sollen diese in einem bestimmten Mindesttangentialwinkel in x-Richtung angerammt werden. Vorgeschlagen wird ein Mindesttangentialwinkel (außen) von $153,4^\circ$ (bei einem Innenwinkel von ca. $26,6^\circ$). Bild 4 zeigt den Mindesttangentialwinkel unter $153,4^\circ$ (außen). Die Mindesttangente wird hierbei an die äußere Kante des Versatzes angelegt. Wird diese Tangente um horizontale Elemente auf beiden Seiten erweitert, entsteht eine Schablone (siehe blaue Schablone in Bild 4 für einen Grenzwert des horizontalen Versatzes von 2 cm). Diese Schablone soll im Folgenden als Versatz-Kriterium angesehen werden und zur Beurteilung eines positiven horizontalen oder vertikalen Versatzes herangezogen werden.

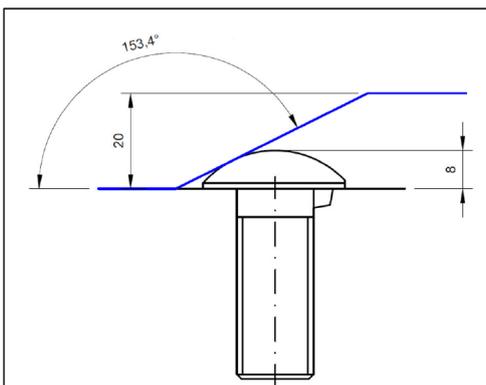


Bild 4: Systematik der Anwendung der Schablone

Wird die Schablone gedanklich über die Schutzeinrichtungsfläche bewegt und trifft sie dabei auf einen Versatz, kann dieser bewertet werden, je nachdem, ob der Versatz die Oberkante oder die Schräge der Schablone berührt. Tritt der Versatz auf die obere Kante der Schablone, ist entweder eine Scharfkantigkeit oder eine Formaggressivität gegeben.

In dieser Studie wurden im Folgenden Flussdiagramme definiert, die die definierten Kriterien in eine Bewertungsabfolge überführen und einen Versatz in eine der erwähnten Kategorien einstufen können. Eine Überprüfung soll für alle drei Raumebenen erfolgen. Wird eine Scharfkantigkeit festgestellt, kann eine Anrampung unter einem Mindesttangentialwinkel vorgesehen werden. Ein energieabsorbierendes Abgleiten soll damit ermöglicht werden. Wie groß die Grenzwerte/Parameter der Kriterien anzunehmen sind, kann im Rahmen dieser Studie nicht abschließend definiert werden.

6 Fazit

Werden alle eingeführten Kriterien beachtet, kann die Scharfkantigkeit des Fahrzeugrückhaltesystems herabgesetzt werden. Dies wird unter anderem Schutzplanke Distanzstück Sigma-Pfosten dadurch erreicht, dass durch den maximal zulässigen horizontalen und vertikalen Versatz die Ebenheit des Systems begünstigt wird. Ein in Bezug auf die Verletzungsschwere vermindertes Abgleiten des Verunfallten wird dadurch begünstigt. Wird für einen Versatz in einer der drei Raumebenen eine Scharfkantigkeit festgestellt, ist zu überlegen, das Konstruktionselement im beschriebenen Mindesttangentialwinkel von $153,4^\circ$ anzurampen.

Zudem sollen an den Pfosten und Kanten keine Kantenradien kleiner gleich einem ebenfalls zu definierenden Mindestradius zugelassen werden. Generell ist zu konstatieren, dass die dem Verkehr zugewandten Seiten der passiven Schutzeinrichtung aus beiden Fahrrichtungen betrachtet keine zugänglichen Kanten aufweisen sollten. Stahlschnittkanten sollten folglich nicht in den Verkehrsraum ragen, sondern vom Straßenraum weggeführt. Ist dies konstruktionstechnisch nicht möglich, sollen diese Kanten abgerundet werden; dies ebenfalls mit einem Mindestradius. Weiterhin kann zusammengefasst werden, dass die definierten Kriterien nur einzelne Konstruktionselemente in Bezug auf die Scharfkantigkeit bewerten. Es erfolgt keine Überprüfung oder Bewertung des gesamten Systems. Wie bereits erwähnt, wirkt die Anwendung dieser Kriterien nur auf Unfallkonstellationen, die den Versuchskonstellationen dieser Studie ähneln. Andere Unfallverläufe können auch bei Beachtung der hier definierten Kriterien eine Scharfkantigkeit bewirken. Auch sind für die Kriterien durch diese Studie keine validen Grenzwerte festlegbar. Dies liegt insbesondere an der geringen Anzahl an Versuchen. Es sollten deshalb weitergehende Versuche (eventuell im Labor, mit größerem Stichprobenumfang) mit veränderlichen Versätzen und Radien durchgeführt werden, um einen valideren Grenzwert zu finden, ab dem eine Scharfkantigkeit auftritt beziehungsweise die Verletzungsschwere einen nicht zu tolerierbaren Grenzwert erreicht. Abschließend ist festzuhalten, dass trotz aller Einschränkungen die konsequente Anwendung der hier definierten Kriterien bei geeigneter Festlegung der Grenzwerte die Scharfkantigkeit eines Fahrzeugrückhaltesystems deutlich herabsetzen können. Es muss allerdings auch klar sein, dass trotz Anwendung dieser Kriterien die Scharfkantigkeit nicht auf null reduziert werden kann. Die hier definierten Kriterien können jedoch einen Beitrag zu einer erheblichen Reduktion der Scharfkantigkeit eines Fahrzeugrückhaltesystems leisten.

7 Literatur

- BAST (2017); Technische Liefer- und Prüfbedingungen für Übergangskonstruktionen zur Verbindung von Schutzeinrichtungen (TLP ÜK), Ausgabe 2017, erstellt durch die BAST, Bergisch Gladbach, 2017
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN (BAST) (2017): Technische Kriterien für den Einsatz von Fahrzeug-Rückhaltesystemen in Deutschland, Kennung V4-363-17 (F6417001), Stant: 30.08.2017
- NORDQVIST, M.; FREDRIKSSON, G.; WENÄLL, J. (2015): Definition of a Safe Barrier for Motorcyclist – a literature study, Mai 2015
- Norwegian Public Road Administration (2014): Vehicle Restraint Systems and Roadside Areas, Manual No N101 E in the Norwegian Public Roads Administrations manual services, Juni 2014
- RPS (2009): Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Ausgabe 2009, FGSV 343, Köln, 2009
- ZTV FRS 2013, Fassung 2017: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinie für Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Ausgabe 2013/Fassung 2017, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), R1, FGSV 367, Köln, 2017

