

Sicherheitsbewertung von airbagbasierten Kopfschutzsystemen für Fahrradfahrer



- Auswertung der Versuchsergebnisse -

Versuchszeitraum: KW 14-15 / 2015

.....
(O. Zander / T. Langner, Referat F2)

.....
(B. Lorenz, Referatsleiter F2)

.....
(A. Seeck, Abteilungsleiter F)

Bergisch Gladbach, März 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Motivation.....	3
2	Vorüberlegungen	5
3	Beschreibung des airbagbasierten Kopfschutzsystems	7
4	Versuchsmatrix	8
5	Versuchsaufbau, -durchführung und -ergebnisse	10
5.1	Impaktorversuche	10
5.2	Vollfahrzeugversuche	14
6	Sonstiges.....	23
7	Zusammenfassung	25
8	Anhang.....	26
9	Referenzen.....	27

1 Einführung und Motivation

Im Jahre 2013 gab es auf deutschen Straßen nach der amtlichen Statistik insgesamt rund 2,41 Millionen polizeilich erfasste Verkehrsunfälle, darunter 291.105 Unfälle mit Personenschaden mit insgesamt 377.481 verunglückten Verkehrsteilnehmern. Bei rund 19 Prozent hiervon handelte es sich um Fahrradfahrer. Von diesen 71.420 verunglückten Fahrradfahrern wurden 354 getötet, 13.206 schwer verletzt und 57.860 leicht verletzt.

Damit verringerte sich die Zahl der im Straßenverkehr verletzten Fahrradfahrer gegenüber dem Vorjahr um 10,4 Prozent. Die Anzahl der getöteten Fahrradfahrer reduzierte sich dabei um 12,8 Prozent, die Zahl der Schwerverletzten um 8,9 Prozent und die der Leichtverletzten um 10,8 Prozent.

Ungeachtet dessen lag die Gruppe der Fahrradfahrer bei den Getöteten auf Rang 4 aller Verkehrsteilnehmer, bei den Schwerverletzten auf Rang 2 und bei den Leichtverletzten ebenfalls auf Rang 2.

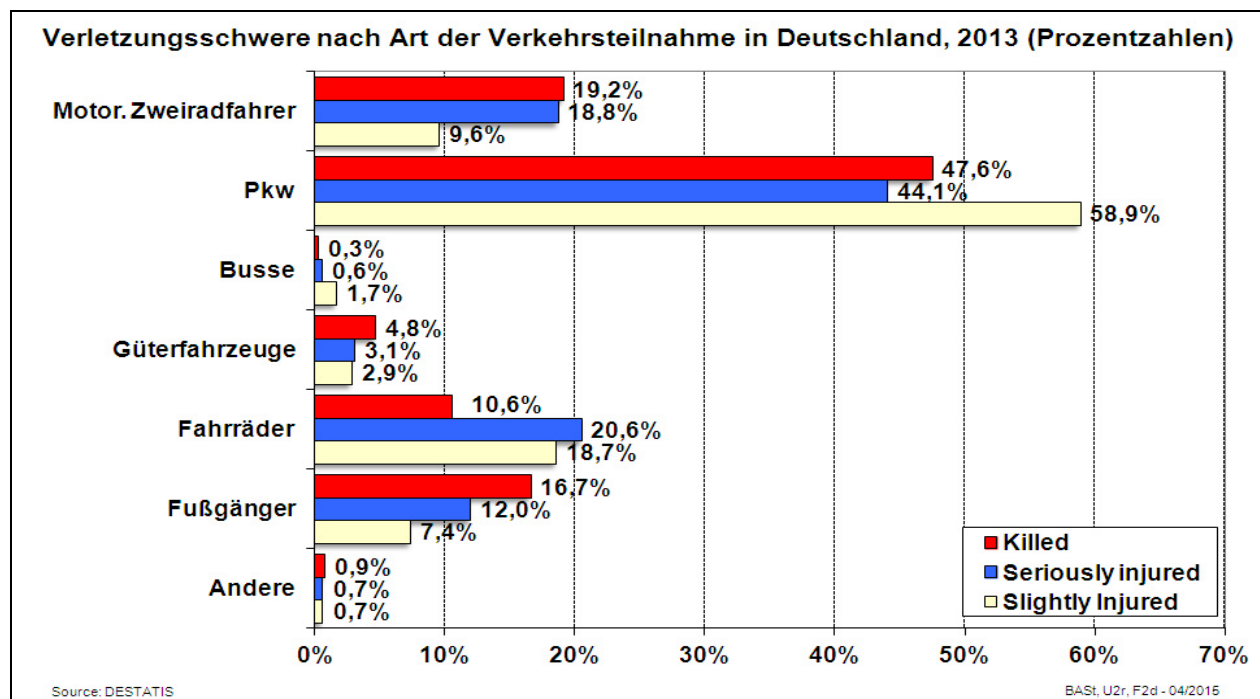


Abbildung 1: Anteil der Verkehrsgruppe der Fahrradfahrer am Gesamtunfallgeschehen

Otte et al. [2008] beziffert die Kollisionsgeschwindigkeit von erwachsenen Fahrradfahrern in 80 Prozent aller Fälle auf maximal 28 km/h. Kinder als Fahrradfahrer werden hingegen häufiger mit höheren Geschwindigkeiten angefahren: in 80 Prozent aller Fälle liegt die Kollisionsgeschwindigkeit hier bei bis zu 36 km/h. Bei Benutzung eines Fahrradhelms sinken insgesamt die Verletzungshäufigkeit und die Verletzungsschwere von verunfallten Fahrradfahrern.

Den Unfallzahlen steht eine gegenüber dem Vorjahr um zwei Prozent gestiegene innerörtliche Helmtragequote bei Fahrradfahrern von 15 Prozent im Jahre 2013 gegenüber, wobei die Tragequote bei den bis Zehnjährigen mit 75 Prozent (2012: 66 Prozent) deutlich über der Gesamtquote, die Tragequote bei den Elf- bis Sechzehnjährigen hingegen nur bei 28 Prozent (2012: 29 Prozent) und die Tragequote bei den über Siebzehnjährigen bei lediglich zwischen 6 und 16 Prozent lag.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI, Unterabteilung LA 2 (Landverkehr) hat die Bundesanstalt für Straßenwesen BASt damit beauftragt, eine vergleichende Untersuchung des Schutzpotentials von airbagbasierten Kopfschutzsystemen und Fahrradhelmen durchzuführen.

In diesem Zusammenhang stehen insbesondere die Anforderungen an die Gesamtauslösezeit von airbagbasierten Kopfschutzsystemen sowie deren Stoßdämpfungsvermögen im Vergleich zu den stoßdämpfenden Eigenschaften von Fahrradhelmen im Fokus.

Im Rahmen dieses Projekts wird das airbagbasierte Kopfschutzsystem Hövding verschiedenen Fahrzeug- und Komponentenversuchen unterzogen und die Versuchsergebnisse denen mit Fahrradhelm bzw. ungeschütztem Fahrradfahrer gegenübergestellt, welche im Rahmen einer für das Referat LA 26 im Jahre 2011 durchgeführten Untersuchung unter vergleichbaren Versuchsbedingungen erzielt worden waren. Hier wurde ein nach DIN EN 1078 geprüfter und zugelassener Kinderfahradhelm des Herstellers KED verschiedenen Komponententests unterzogen. Der Helm wurde auch in einer sich an die DIN EN 1078 anlehnenen Bewertung durch die Zeitschrift Öko-Test im Jahre 2010 im Gesamturteil mit „sehr gut“ bewertet.

2 Vorüberlegungen

Das Schutzpotenzial airbagbasierter Kopfschutzsysteme setzt sich, eine ausreichende Fixierung des Kopfes vorausgesetzt, zusammen aus der Gesamtauslösezeit des Systems (Dauer der Sensierung eines möglichen Kopfanpralls zuzüglich Zeit für den Aufstellvorgang) sowie dem Stoßdämpfungsverhalten nach erfolgter Auslösung.

Die Auslösung eines airbagbasierten Kopfschutzsystems setzt eine vorherige Sensierung einer Sturzbewegung des Radfahrers über einen definierten Algorithmus voraus. Vor dem Aufprall des Kopfes auf eine harte Struktur muss der Airbag des Systems vollständig entfaltet sowie der Kopf mit Ausnahme des Gesichtsbereichs vollständig umschlossen sein. Allgemein gilt die auch bei fahrzeugseitigen aktiven Systemen der passiven Fahrzeugsicherheit zutreffende Voraussetzung, dass die Kopfaufprallzeit (head impact time HIT) größer sein muss als die Gesamtantwortzeit (total response time TRT) des airbagbasierten Schutzsystems. Hierbei setzt sich die Gesamtantwortzeit additiv aus der Sensierungszeit (sensor time ST) sowie der Airbagauslösezeit (deployment time DT) zusammen:

$$\text{HIT} > \text{TRT}$$

$$\text{HIT} > \text{ST} + \text{DT}$$

Laut Hersteller des Airbagsystems Hövding werden Schläge auf den Kopf, welche sich vor der Aufstellzeit des Airbags ereignen, als Direktaufschläge bezeichnet. Beispiele für Direktaufschläge sind ein Ast von einem Baum in Kopfhöhe oder ggf. auch ein starres Hindernis in Fahrtrichtung. Da diese Art der Aufschläge oft in Zusammenhang mit einem Alleinunfall erfolgen und diese Unfallart gemäß Destatis mit einem 16-prozentigen Anteil an allen Unfallbeteiligten bei innerörtlichen Fahrradunfällen in Deutschland verglichen mit einem 63-prozentigen Anteil an Pkw als Unfallbeteiligter im Jahre 2013 eher gering ausfiel, werden Alleinunfälle im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass der Aufblasvorgang des Airbags laut Herstellerangaben ca. 0,1 s beträgt. Selbst bei einer rein hypothetischen Sensierungszeit von nahezu 0 ms beträgt die gesicherte TRT des Systems somit mindestens 100 ms.

Pkw-Radfahrerkollisionen mit einer HIT des Radfahrers von weniger als 100 ms, können über das Kopfschutzsystem somit nicht adressiert werden.

Im Rahmen eines BAST-Projektes zur Entwicklung eines Prüfverfahrens zum passiven Radfahrerschutz wurden in insgesamt 96 MADYMO-Simulationen mit vier Radfahrermodellen gegen sechs unterschiedliche Fahrzeugkategorien repräsentierende Fahrzeugmodelle mit vier Pedalstellungen die Kopfaufprallzeiten ermittelt. Die Fahrzeuggeschwindigkeiten waren jeweils 35 km/h. Aus Tabelle 1 ergibt sich, dass in mehr als 36 Prozent aller Fälle die Kopfaufprallzeit unter 100 ms liegt. Bei angenommener Repräsentativität der abgebildeten Kollisionen liegt das Schutzpotenzial bei lateralen Pkw-Radfahrer-Kollisionen somit bei maximal 64 Prozent.

Zentraler Anprall $v_{Fzg} = 35 \text{ km/h}$ $t_{Kopfaufprall} [\text{ms}]$		Radfahrer			
		Fzgs. Bein unten	Fzgs. Bein oben	Fzgs. Bein vorne	Fzgs. Bein hinten
Kompakt	C6y	76	78	59	62
	F05	114	95	155	125
	M50	144	133	157	149
	M95	152	149	168	157
Limousine	C6y	76	70	72	80
	F05	119	104	138	152
	M50	148	146	176	171
	M95	163	164	176	169
Van	C6y	63	68	71	62
	F05	99	85	95	104
	M50	123	117	124	127
	M95	137	135	142	140
SUV	C6y	56	54	58	56
	F05	86	79	84	111
	M50	121	109	118	133
	M95	133	128	128	136
OneBox	C6y	40	40	39	40
	F05	65	60	82	67
	M50	109	111	107	116
	M95	112	108	110	112
Sportwagen	C6y	94	73	83	89
	F05	146	-	156	162
	M50	174	180	190	185
	M95	190	189	194	202

Tabelle 1: MADYMO-Simulationsmatrix

3 Beschreibung des airbagbasierten Kopfschutzsystems

Bei dem zu untersuchenden Kopfschutzsystem handelt es sich um ein aktives Airbagsystem, das sich im Falle eines Unfalls schützend um den Kopf entfalten soll.

Der Fahrradfahrer trägt das Kopfschutzsystem wie einen Schal bzw. eine Halskrause um den Hals. Es umschließt den Hals dabei ringförmig und wird auf der Vorderseite mit einem Reißverschluss verschlossen.

Das Kopfschutzsystem wird unter dem Namen Hövding (dt.: Häuptling) vertrieben. Die aktuelle Variante 2.0 wird zurzeit in zwei Größen (S und M) angeboten. Die geeignete Größe wird beim Bestellvorgang, entgegen der Klassifizierung nach Kopfumfang beim Fahrradhelm, durch den minimal möglichen Halsumfang bestimmt. Auf dem Schutzsystem selbst ist dann allerdings ein Bereich an maximal zulässigen Kopfumfängen angegeben sowie ein maximaler Halsumfang (s. Abbildung 2), was letztlich zu einer Bestellung der falschen Größe führen könnte.

Select size:

[Sizeguide](#)

Recommendations*

Neck circumference smaller than 14in (36 cm): small (S)
 Neck circumference larger than 14in (36 cm): medium (M)

*The fitting of Hövding does not affect performance or safety. We offer free return and exchange shipping on all orders.



Abbildung 2: Sizeguide Bestellseite (links, shop.hovding.com) und Größenangabe auf Kopfschutzsystem (rechts)

Das airbagbasierte Kopfschutzsystem darf laut Herstellerangaben ab dem 15. Lebensjahr verwendet werden. Sein Gewicht liegt bei ca. 700 g. Auf der Rückseite des Kopfschutzsystems befindet sich ein Gasgenerator, in dem komprimiertes Heliumgas zum Aufblasen des Airbags gespeichert wird.

Desweiteren befindet sich dort auch die Elektronik, welche gemäß Herstellerangaben die Bewegungen des Radfahrers mit einer Abtastrate von 200 Hz erfasst und so eine Erkennung eines Unfalls ermöglichen soll. Ein kleiner wiederaufladbarer Energiespeicher (Lithium-Polymer-Akku) speist dabei die Elektronik mit Strom.

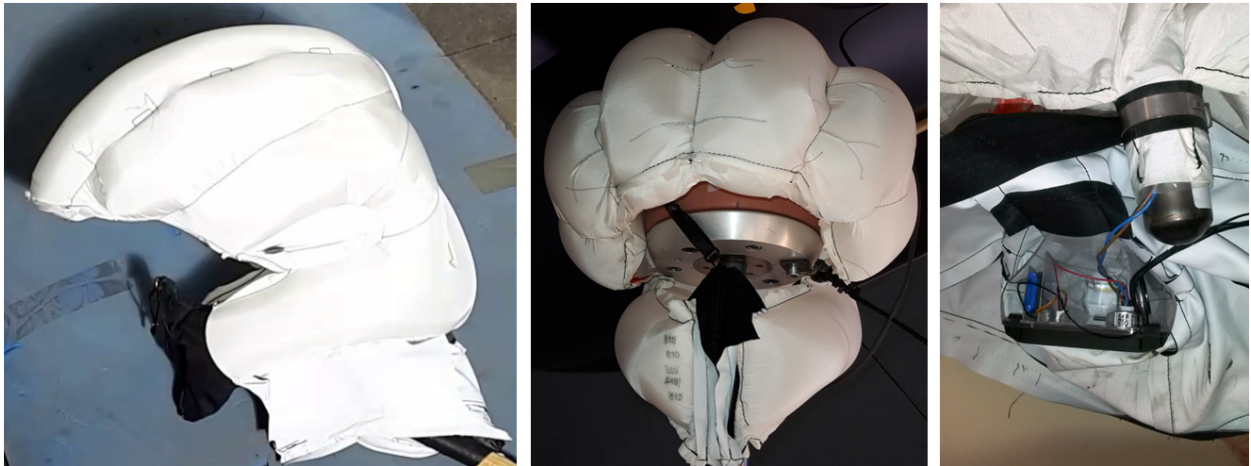


Abbildung 3: Statisch aufgeblasenes Kopfschutzsystem und Gasgenerator mit Elektronik

Das System wird durch Schließen eines Druckknopfes an der Vorderseite aktiviert und gibt dem Fahrradfahrer hierüber eine akustische Rückkopplung. Nach einer Auslösung kann das System nicht wiederverwendet werden.

4 Versuchsmatrix

Die Schutzwirkung des Airbagsystems Hövding wird in vergleichenden Versuchen bezüglich seines Sicherheits- und Schutzpotentials bewertet. Hierzu wird das System verschiedenen Fahrzeug- und Komponentenversuchen unterzogen und Versuchen mit ungeschütztem bzw. durch einen Fahrradhelm geschützten Kopf gegenübergestellt. Es werden insgesamt zwei verschiedene Versuchskonfigurationen definiert:

- Impaktorversuche mit einem Kinderkopfimpaktor gegen eine Fahrzeugfront / Motorhaube (Versuche 1-9)
- Anfahrversuche Pkw gegen Hybrid II 50%-Mann als Radaufsasse (Versuche 10-16)

Bei den Versuchen 4-9 handelt es sich um Referenzversuche aus dem eingangs erwähnten Vorgängerprojekt aus dem Jahre 2011 unter Verwendung eines Kinderkopffimpaktors. Aus Vergleichbarkeitsgründen wurde auch bei den Versuchen mit dem Airbagsystem der Kinderkopffimpaktor verwendet. Dieser Impaktor unterscheidet sich vom Erwachsenenkopffimpaktor lediglich durch seine Masse und den in den Versuchen verwendeten Anprallwinkel, wohingegen die äußeren Abmessungen identisch sind. Auch die Versuche 12-16 wurden im Rahmen vorangegangener Projekte durchgeführt und dienen hier ebenfalls als Referenz.

Eine Übersicht aller im Rahmen dieser Studie ausgewerteten Versuche zeigt Tabelle 2:

Test #	Kopfschutzsystem	Prüfkörper	Kollisionspartner	Prüfaufbau und Durchführung	Messwerte
1	Hövding	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 1	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
2	Hövding	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 2	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
3	Hövding	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 3	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
4	Meggy II	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 1	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
5	Meggy II	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 2	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
6	Meggy II	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 1	in Anlehnung an Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
7	ohne	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 2	gemäß Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
8	ohne	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 1	gemäß Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
9	ohne	3,5 kg gem. VO (EG) 631/2009	Fahrzeugfront, Aufprallpunkt 2	gemäß Euro NCAP	a_{reg} , HIC ₁₅
10	Hövding	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
11	Hövding	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 5,56$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
12	ohne	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
13	ohne	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
14	ohne	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
15	ohne	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆
16	ohne	HII 50th auf Fahrrad	Pkw Golf V	Anfahrversuch mit $v = 11,1$ m/s	a_{reg} , HIC ₃₆

Tabelle 2: Versuchsmatrix

Es wird erwartet, dass die Schutzwirkung des airbagbasierten Kopfschutzsystems bei ordnungsgemäßer Funktionsweise ohne Betrachtung von Direkteinschlägen über der des Fahrradhelmes liegt. Die Ergebnisse der Versuche 1-3 sollten daher signifikant unter den Ergebnissen der Versuche 4-9 liegen. Die Versuche 10 und 11 dienen als Funktionsprüfung, um festzustellen, ob bei einer Vollfahrzeugkollision mit Anprallgeschwindigkeiten von 40 km/h und 20 km/h das airbagbasierte Kopfschutzsystem jeweils vor dem Aufprall des Kopfes auf der Fahrzeugfront zur vollen Entfaltung kommt, und den Kopf ordnungsgemäß umschließt.

5 Versuchsaufbau, -durchführung und -ergebnisse

5.1 Impaktorversuche

In Anlehnung an die Prüfvorschrift nach dem europäischen Verbraucherschutzprogramm Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) zur Bewertung des Schutzpotentials von Fahrzeugfronten für die Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer werden Komponententests mit dem Kinderkopfimpaktor gegen eine Fahrzeugfront unter definierten Versuchsbedingungen durchgeführt. Hierfür wird der vorgeschriebene Kinderkopfimpaktor (Masse 3,5 kg, Durchmesser 165 mm) bei einer Geschwindigkeit von 11,1 m/s unter einem Winkel von 50° zur Fahrzeuglängsachse gegen die Fahrzeugfront geschossen, und die hierbei maximal auftretenden Kopfbelastungen (resultierende Kopfbeschleunigung, Kopfverletzungskriterium HPC) ermittelt. Der HPC-Wert entspricht dem über 15 ms ermittelten HIC-Wert (Head Injury Criterion) bei Crashversuchen und errechnet sich dabei gemäß folgender Formel:

$$HPC = HIC_{15} = (t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R \cdot dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2,5}$$

Dieser Versuch wird an drei verschiedenen Anprallpunkten auf der Motorhaube durchgeführt

Das airbagbasierte, den Kinderkopfimpaktor umschließende Kopfschutzsystem wird dabei statisch mit einem Druck von 0,3 bar aufgeblasen.

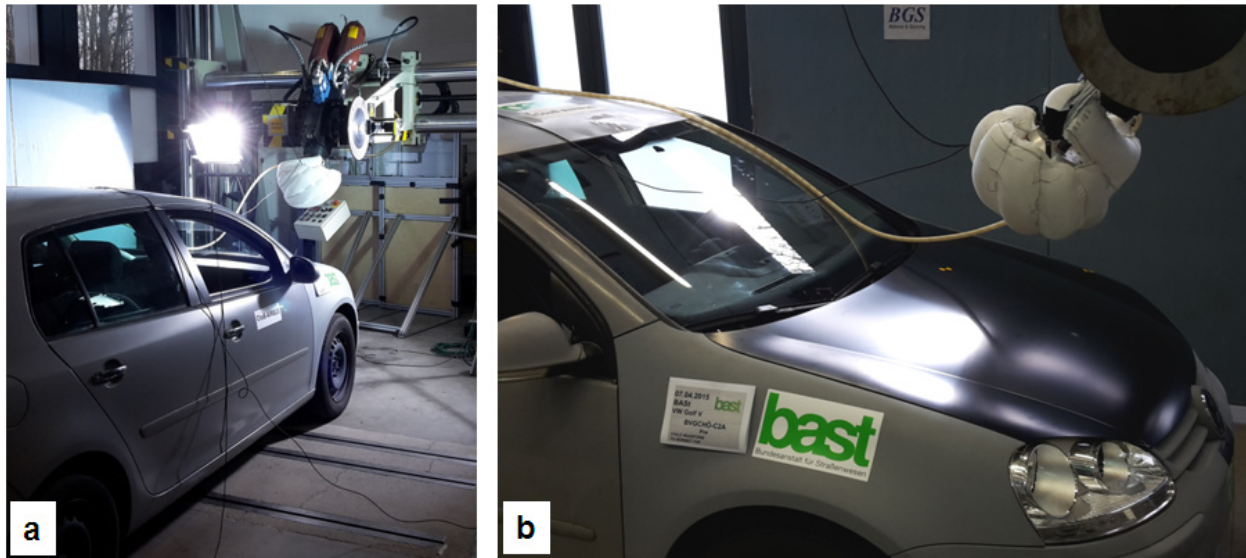


Abbildung 4: Versuchsaufbau Komponentenversuch

Die Anprallpunkte auf der Motorhaube werden in Anlehnung an o.a. Vorschriften derart festgelegt, dass nach einem definierten Verfahren eine Auswahl der härtesten Anprallpunkte im Aufschlagbereich des Kinderkopfes einer Prüfung zu unterziehen sind.

Die Versuche werden anschließend den Ergebnissen der Referenzversuche mit Fahrradhelm und ungeschützten Kinderkopfimpaktor gegenübergestellt, um eine vergleichende Aussage bzgl. des Schutzes des Kopfes beim Aufprall auf die Fahrzeugfront treffen zu können. Eine Übersicht der gewählten Anprallpunkte zeigt Abbildung 5:

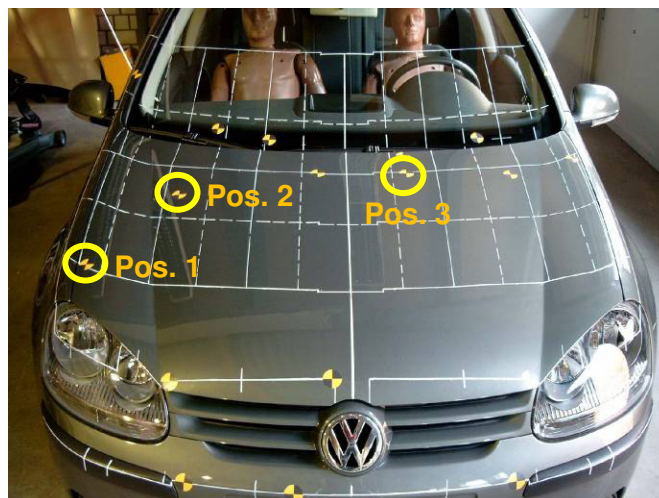


Abbildung 5: Anprallpunkte für Komponentenversuche

Folgende Punkte werden für den Vergleich gewählt:

- Position 1: Haubenfuge / Haubenauflage
- Position 2: Halterung der Gasfeder zur Haubenaufstellung
- Position 3: Spritzwand / Wasserkasten

Ein Gegenüberstellung der in den Versuchen mit airbagbasiertem Kopfschutzsystem sowie den Referenzversuchen mit Radhelm und ungeschütztem Kopfimpaktor gemessenen resultierenden Kopfbeschleunigung zeigt das generell durch ein Kopfschutzsystem bereitgestellte zusätzliche Schutzpotenzial für den Kopf eines Radfahrers im Falle einer Kollision mit einem Pkw und anschließendem Kopfaufprall auf die Motorhaube. Der Vergleich von airbagbasiertem und herkömmlichem Kopfschutzsystem muss differenzierter betrachtet werden. So ist lediglich beim Aufprall auf die Haubenauflage das Schutzpotenzial des Airbagsystems geringfügig höher zu bewerten als das Schutzpotenzial des Helms (ca. 10-prozentige Abnahme der res. Maximalbeschleunigung), wohingegen letzterer bei den beiden verbleibenden Anprallpunkten (Gasfeder, Wasserkasten) um 14 bzw. 3 Prozent besser abschneidet.

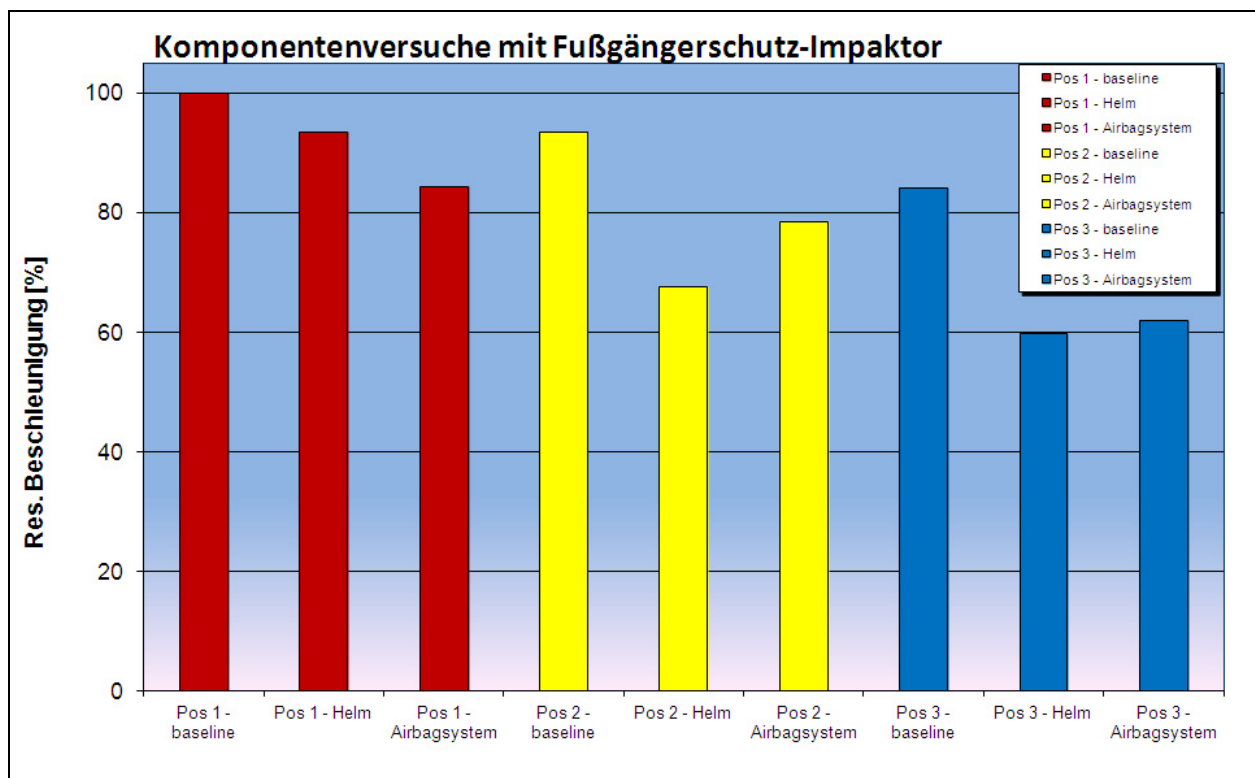


Abbildung 6: Resultierende Kopfbeschleunigung bei Komponentenversuchen

Auch das üblicherweise für Kopfverletzungen herangezogene Verletzungskriterium HPC bestätigt die Beobachtung hinsichtlich eines zusätzlichen Schutzpotenzials von Kopfschutzsystemen für Fahrradfahrer.

Die Reduktion des HPC-Wertes bei Verwendung des Helms liegt in diesen Versuchen bei bis zu 9 Prozent gegenüber der jeweiligen Kopfbelastung ohne Helm, bei Verwendung des airbagbasierten Kopfschutzsystem wird sogar eine Reduktion um bis zu 31 Prozent erreicht (Anprallposition 1).

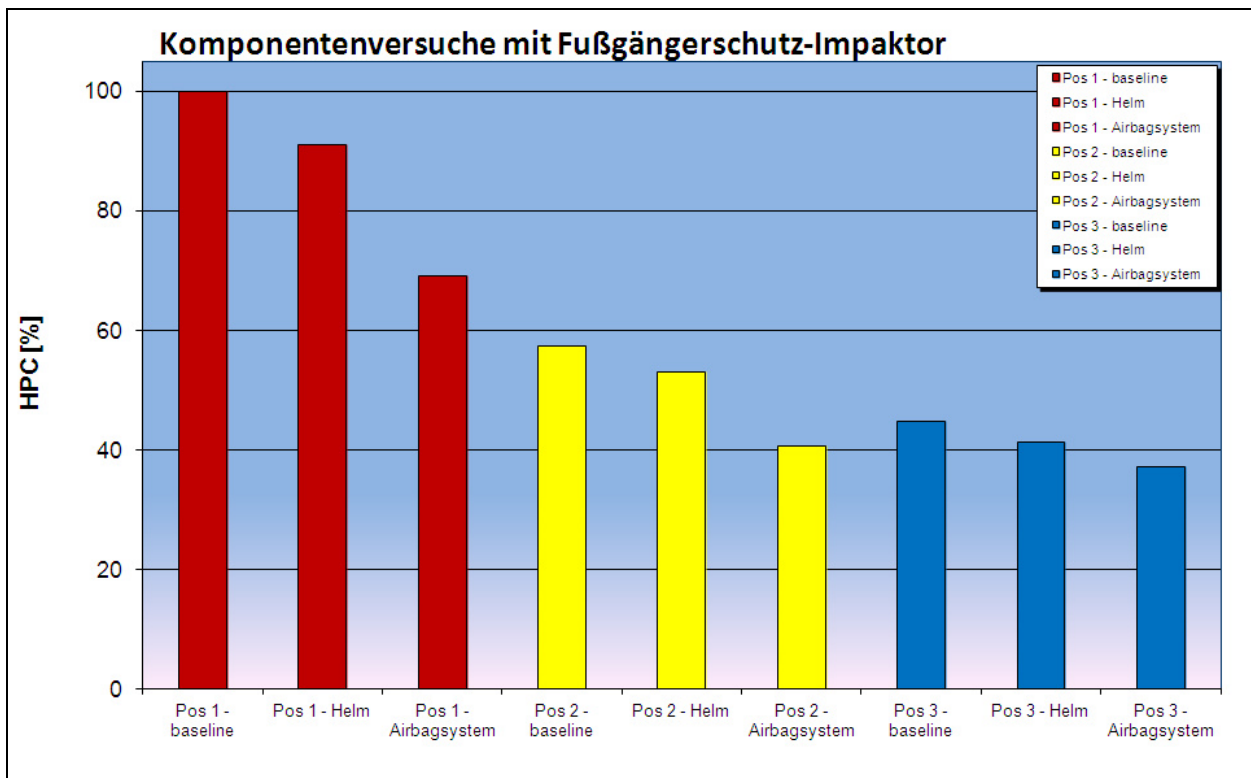


Abbildung 7: Kopfverletzungskriterium HPC bei Komponentenversuchen

Erwähnt werden muss, dass beim Aufprall auf Position 1 die im Rahmen des Verbraucherschutzprogramms Euro NCAP geltenden Grenzwerte für die Kopfbelastung auch bei Benutzung des Fahrradhelms deutlich überschritten werden. Lediglich durch Applikation des Airbagsystems wird hier ein HPC-Wert erreicht, der im Rahmen des Fünfarbschemas eine Punktebewertung zulässt. Auf den Anprallpositionen 2 und 3 werden mit allen drei Versuchskonfigurationen Teilpunkte nach Euro NCAP erzielt. Die volle Punktzahl wird hier allerdings in keinem Test erreicht, da der hierfür erforderliche HPC

von 650 nicht unterschritten wird. Der verwendete Pkw der Kompaktklasse ist allerdings bereits vor dem Inkrafttreten der europäischen Fußgängerschutzgesetze typgenehmigt worden. Auf der anderen Seite ergab die Fußgängerschutz-Bewertung nach Euro NCAP bereits einen für damalige Verhältnisse recht guten Erfüllungsgrad von 37 Prozent.

5.2 Vollfahrzeugversuche

Für den Versuchsaufbau dient ein typischer Kreuzungsunfall mit in Höhe der Fahrzeugmittelachse angefahrenem Fahrradfahrer. Ein 50 Perzentil Hybrid II-Dummy auf einem unbewegten Erwachsenenfahrrad mit den Felgengrößen 26 und 28 Zoll wird hierbei durch einen Pkw Golf V unter Fahrzeuggeschwindigkeiten von 40 km/h und 20 km/h lateral angefahren. Hierbei wird die auftretenden Kopfbelastungen (resultierende Kopfbeschleunigung, Kopfverletzungskriterium HIC) sowohl beim Erstanprall auf der Fahrzeugfront als auch beim anschließenden Sekundäraufprall des Kopfes auf der Fahrbahn ermittelt. Um die Aufprallpunkte am Fahrzeug zu dokumentieren, werden Kopf, Schulter und Becken des Dummies durch Farbmarkierungen (rot, gelb und grün) gekennzeichnet.

Der Dummy ist durch das in dieser Studie zu untersuchende airbagbasierte Kopfschutzsystem ausgerüstet.

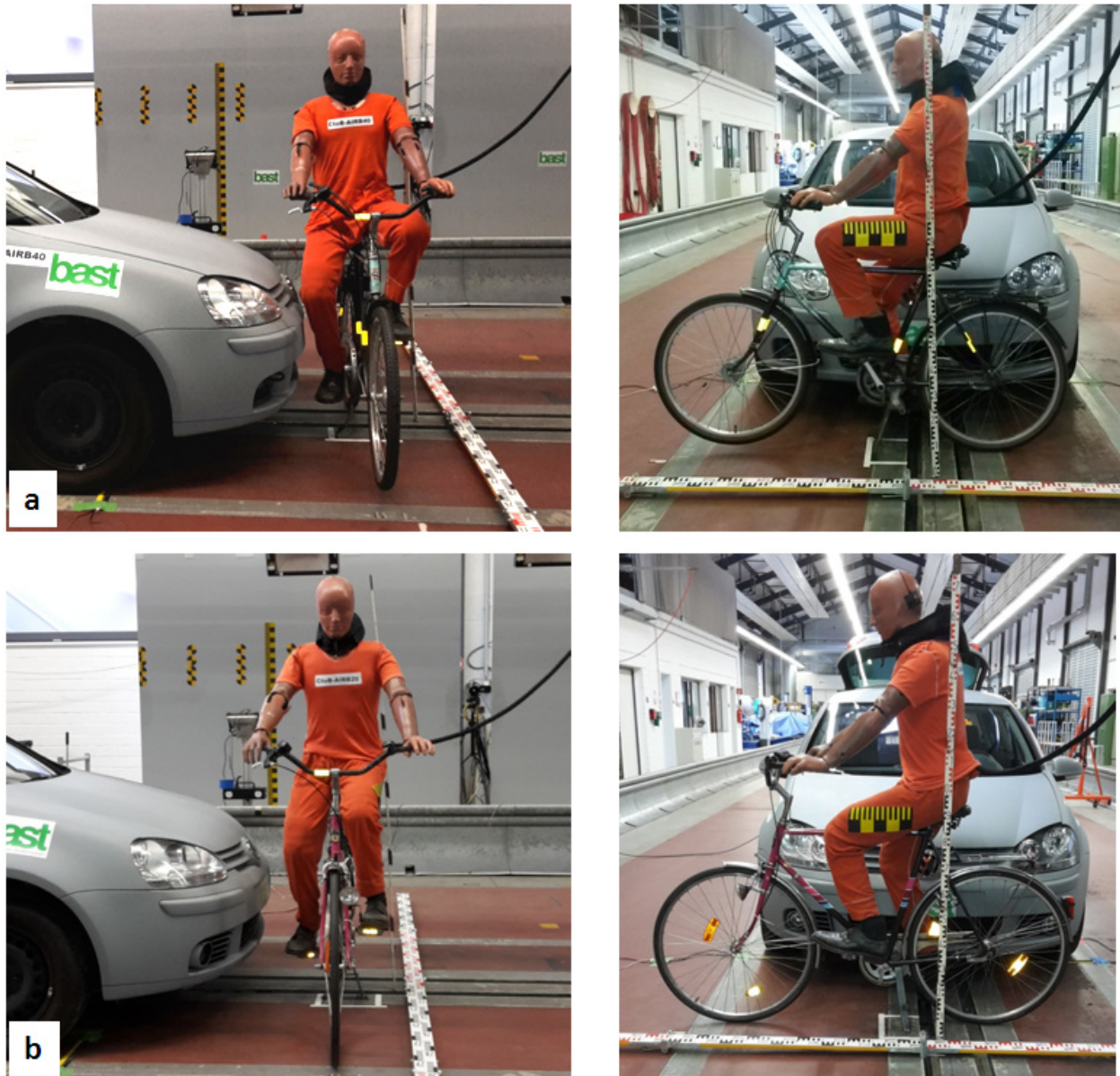


Abbildung 8: Versuchsaufbau Fahrzeugversuch mit a) 40 km/h und b) 20 km/h

Der Aufprall des Kopfes auf der Fahrzeugfront soll auf der Fahrzeulängsmittelachse erfolgen. Aufgrund der bei Dummy-Vollversuchen generell eingeschränkten Reproduzierbarkeit erfolgt der Ist-Aufprall des Kopfes fahrerseitig in einem Abstand von 2 cm zur Fahrzeugmittelachse im ersten und ziemlich genau auf Fahrzeugmittelachse im zweiten Versuch, womit eine vergleichsweise sehr gute Reproduzierbarkeit gewährleistet ist.

Die Ist-Abwickellängen der Auftreffpunkte betragen 203 und 190 cm und liegen somit planmäßig im Erwachsenenkopfbereich, s. Abbildung 9:

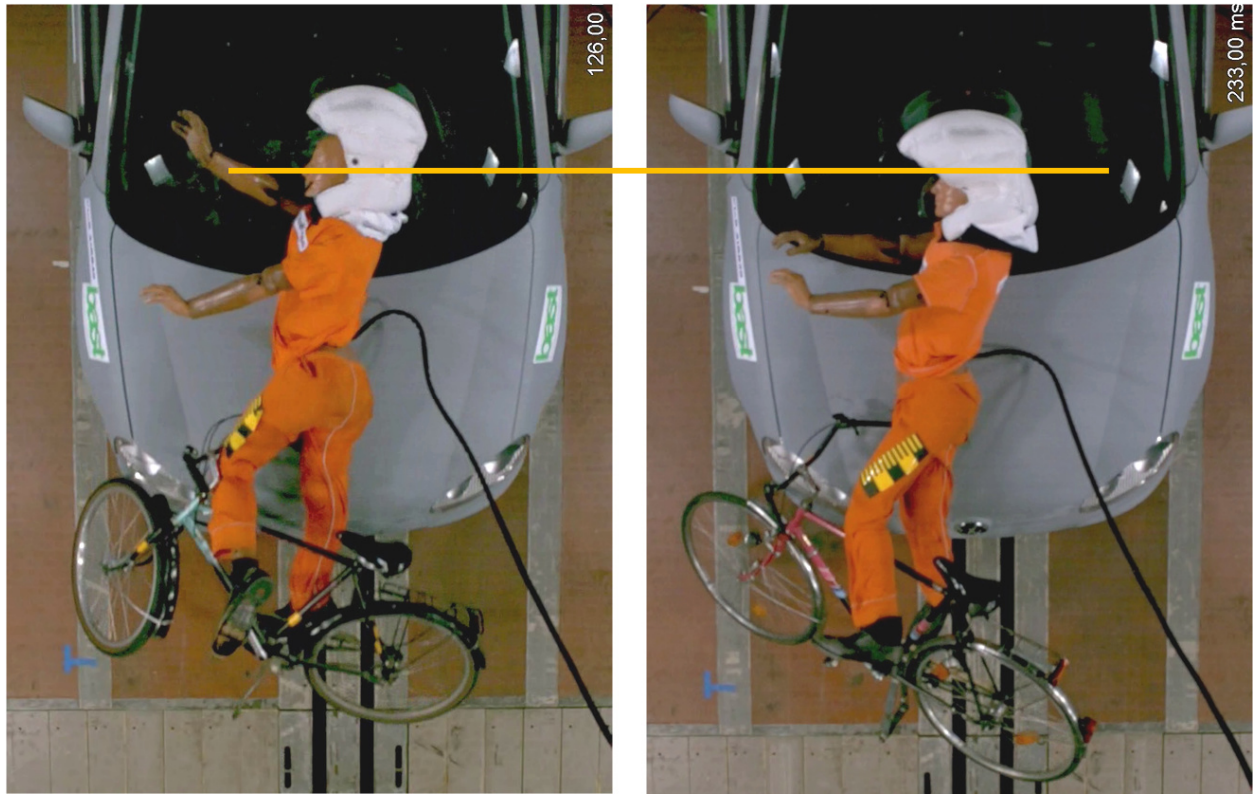


Abbildung 9: Primäraufprall auf der Fahrzeugfront (Standbilder aus Hochgeschwindigkeitsfilmen)

Neben den Kopfbelastungen durch den Aufprall auf die Fahrzeugfront sind zur Beurteilung des Schutzpotentials des Kopfschutzsystems insbesondere auch die Sekundäraufpralle des Dummys auf der Fahrbahn von besonderer Bedeutung. Die hierbei auftretenden Belastungen werden gesondert ausgewertet.



Abbildung 10: Sekundäraufprall auf der Fahrbahn (Standbilder aus Hochgeschwindigkeitsfilmen)

Sowohl beim Vollfahrzeugversuch mit 40 km/h als auch beim Versuch mit 20 km/h wird der Dummy nach Erstanprall von der Fahrzeugfront aufgeschöpft und mitgenommen. Erst unmittelbar nach dem Abbremsen des Fahrzeugs erfolgt ein Abwerfen (Versuch 1) bzw. Abgleiten (Versuch 2) des Dummies und der Aufprall auf der Fahrbahnoberfläche, wobei der Kopf im zweiten Versuch mit verminderter Anprallgeschwindigkeit zusätzlich noch durch Arm und Oberkörper abgefedert wird. Die Endlagen des Dummies und des Fahrrads nach den beiden Versuchen zeigt Abbildung 11, die Wurfweiten ergeben sich aus Tabelle 3:



Abbildung 11: Endlagen nach den Vollfahrzeugversuchen mit 40 km/h (links) und 20 km/h (rechts)

Abstand zur Fahrzeugfront	Fuß	Hüfte	Kopf	Fahrradsattel
Versuch mit 40 km/h	4,60 m	5,4 m	6 m	14 m
Versuch mit 20 km/h	2,1 m	1,5 m	0,75 m	4,80 m

Tabelle 3: Wurfweiten

Die Funktionalität des Kopfschutzsystems ist bei beiden Fahrzeugversuchen gleichermaßen nicht gewährleistet:

Beim Anprallversuch mit 40km/h zündet der Airbag zwar 81ms nach Erstkontakt des Radfahrers mit der Fahrzeugfront, und hat sich kurz vor dem Aufprall des Kopfes auf der Windschutzscheibe nach 125 ms vollständig entfaltet.



Abbildung 12: Kinematik und Abwicklung des Dummys bei Vollfahrzeugversuch mit 40 km/h

Während das Kopfschutzsystem im Bereich des Halses ausreichend fest fixiert zu sein scheint, ist eine solche ausreichende Fixierung allerdings an der Kopfoberseite nicht gewährleistet, wodurch der Airbag dem Kopf nicht adäquat folgt. Beim Kopfaufprall auf der Windschutzscheibe ist somit kein Schutz für den Kopf gegeben, was auch durch den roten Farbabdruck und Glassplitter in der Kopfhaut belegt wird, s. Abbildung 13:



Abbildung 13: Fixierung des Kopfschutzsystems bei 40km/h und Kopfaufprallpunkt (rot)

Desweiteren ist auf Basis der in Kapitel 2 beschriebenen Radfahrersimulationen davon auszugehen, dass bei höheren Geschwindigkeiten, kleineren Radfahrern oder kürzeren und steileren Vorderwagen die Entfaltung des Airbags zu langsam erfolgt, um noch rechtzeitig vor dem Aufprall vollständig aufgeblasen zu sein.

Beim Anfahrversuch mit 20km/h zündet das Kopfschutzsystem rechtzeitig, 93ms nach Erstkontakt des Radfahrers mit der Fahrzeugfront, und entfaltet sich schon lange vor dem Kopfaufprall nach 250 ms vollständig, wodurch auch bei einem Fahrzeug mit steilerer Front eine rechtzeitige vollständige Auslösung wahrscheinlich wäre. Nach der voll-

ständigen Entfaltung rotiert der Dummy mit dem Oberkörper Richtung Motorhaube und Frontscheibe.

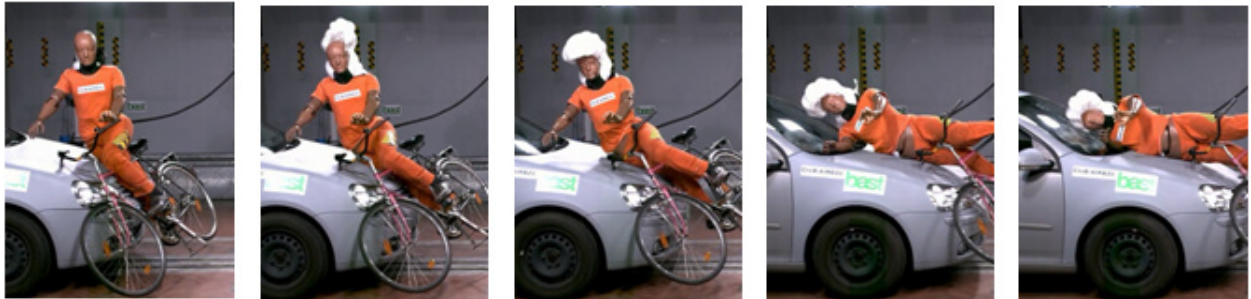


Abbildung 14: Kinematik und Abwicklung des Dummies bei Vollfahrzeugversuch mit 20 km/h

Am Hals ist das Kopfschutzsystem ausreichend fest fixiert, so dass die Bewegung von Dummy und Schutzsystem identisch ist. An der Kopfoberseite ist jedoch wiederum keine ausreichende Fixierung gewährleistet, so dass das Kopfschutzsystem der Bewegung des Kopfes nicht in ausreichendem Maße folgt. Dies hat zur Folge, dass der Kopf nur einen sehr geringen Anteil des aufgeblasenen Airbags zur Energiereduktion nutzen kann.



Abbildung 15: Fixierung des Kopfschutzsystems bei 20km/h

Der Dummykopf hat einen Umfang von 59cm und liegt damit an der Obergrenze der geeigneten Kopfumfänge für das Schutzsystem. Es ist zu vermuten, dass ein kleinerer Kopf noch weniger im oberen Bereich des Schutzsystems fixiert wird.

Auch ist durch die seitliche Bewegung davon auszugehen, dass sich dieser Effekt bei höheren Geschwindigkeiten und damit einhergehenden größeren Verzögerungen noch weiter verstärken wird.

Eine Übersicht der normierten Ergebnisse für die Kopfbeschleunigungen ergibt sich aus Abbildung 10. Hierbei dienen die im Rahmen von Vorgängerprojekten durchgeführten Versuche 1-5, welche mit HII 50-Perzentil-Mann als Radaufsasse sowie einem im Kindersitz mitgeführten Q3-Kinderdummy durchgeführt wurden, als Referenzversuche für den Versuch bei 40 km/h mit durch Airbagsystem geschützten Dummykopf.

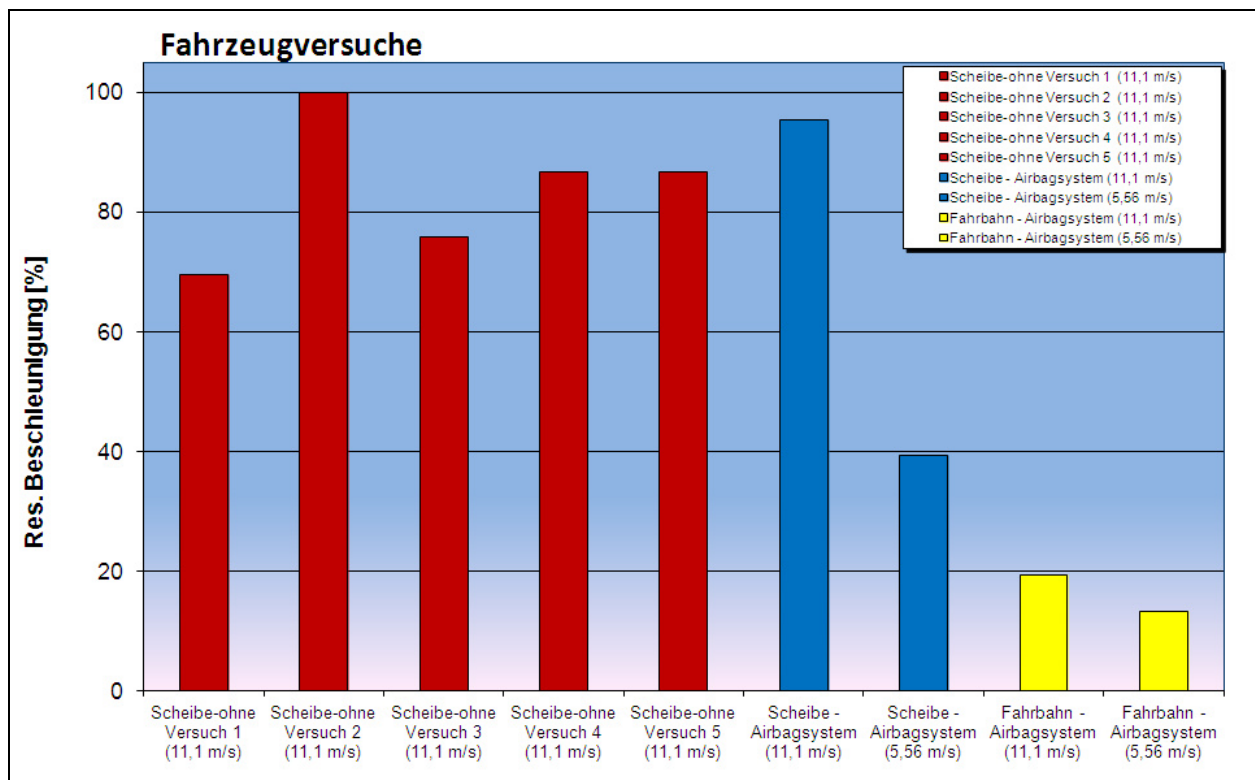


Abbildung 16: Resultierende Kopfbeschleunigung bei Fahrzeugversuchen

Schon die Übersicht offenbart, dass das Airbagsystem sein Schutzpotenzial im Versuch mit 40 km/h nicht entfalten kann. Die gemessene resultierende Maximalbeschleunigung des Kopfes ist die zweithöchste aller sechs mit 40 km/h durchgeführten Versuche. Erst beim zweiten Versuch mit Airbagsystem nimmt die Kopfbeschleunigung deutlich ab, was allerdings mehr der reduzierten Anprallgeschwindigkeit (20 km/h) als dem Kopf-

schutzsystem geschuldet sein dürfte. Die Kopfbelastung beim Sekundäraufprall auf der Fahrbahn ist bei beiden Versuchen dann noch einmal deutlich geringer.

Ein Vergleich des Kopfbelastungskriteriums HPC bestätigt die gemachten Beobachtungen; demnach ist die Kopfbelastung mit Airbagsystem bei einer Anprallgeschwindigkeit von 40 km/h sogar am höchsten.

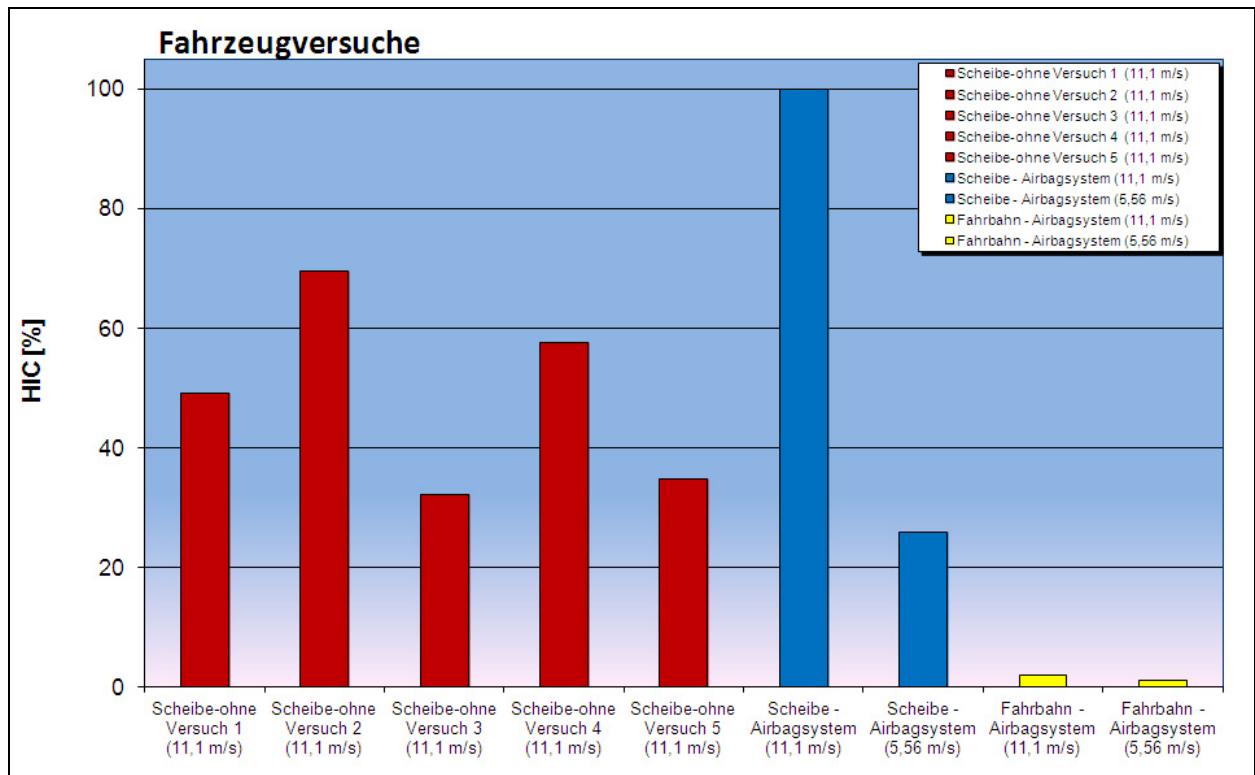


Abbildung 17: Kopfverletzungskriterium HIC bei Fahrzeugversuchen

Der laterale Anprall bei 40 km/h bestätigt zwar die Simulationsergebnisse und zeigt, dass die Kopfaufprallzeit des Dummys oberhalb der Gesamtauslösezeit des Airbagsystems liegt, ein Schutz des Kopfes zum Zeitpunkt des Aufpralls somit potenziell gegeben sein müsste. Aufgrund der unzureichenden Fixierung des Kopfes kommt dieses Schutzpotenzial jedoch nicht zum Tragen.

6 Sonstiges

Bei der Untersuchung des Kopfschutzsystems im Anschluss an die Versuche wurde festgestellt, dass der Airbag-Druckgasspeicher CI.1R zum Zeitpunkt der Untersuchung lediglich eine Zulassung für Insassen-Rückhaltesysteme in Kraftfahrzeugen hatte. Rücksprache mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ergab, dass demnach zu diesem Zeitpunkt ein entsprechender Fahrradhelm-Airbag mit diesem Gasgenerator formal nicht zulässig war, wenngleich eine entsprechende Änderung der Beschränkung der Altzulassung denkbar war.



Abbildung 18: Aufdruck Gaspatrone - Kopfschutzsystem

Zulassungszeichen	Bezeichnung	Hersteller (sowie ggf. Einführer)
BAM-PT ₁ -1251	Airbag-Druckgasspeicher CI.1R	iSi Automotive GmbH & Co KG Scheydgasse 30-32 1210 Wien Österreich
Bedingungen, Beschränkungen, Befristungen, Auflagen Inhalt des Nachtrags		
<p>Beschränkungen:</p> <p>1. Der Airbag-Druckgasspeicher darf nur in Insassen-Rückhaltesystemen mit Luftsack (Airbag-Einheiten) für Kraftfahrzeuge verwendet werden. newline 2. Die mit dem Airbag-Druckgasspeicher ausgestattete Airbag-Einheit bedarf einer gesondert zu beantragenden Zulassung.</p> <p>Auflagen:</p> <p>1. Die Einfuhr, das Verbringen, der Vertrieb, das Überlassen an andere und der Umgang darf nur im Rahmen einer nach § 14 SprengG angezeigten gewerblichen Tätigkeit vorgenommen werden.</p> <p>2. Der Zulassungsinhaber hat die Beschränkungen seinen Abnehmern schriftlich mitzuteilen.</p> <p>3. Der Umgang mit dem Airbag-Druckgasspeicher und der Airbag-Einheit darf nur durch geschultes Personal erfolgen.</p> <p>4. Zusätzlich zu der vorgeschriebenen Kennzeichnung sind der Airbag - Druckgasspeicher und dessen kleinste Verpackungseinheit mit folgendem Sicherheitshinweis zu versehen: Umgang nur durch geschultes Personal erlaubt. Verwendung nur in Insassen-Rückhaltesystem mit Luftsack für Kraftfahrzeuge erlaubt. Achtung - Nur inerte Gegenstände verschrotten.</p> <p>5. Jede Verlagerung der Produktion des Gegenstandes in eine zum Zeitpunkt der Erteilung der Zulassung nicht bekannte Herstellungsstätte ist der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) unverzüglich anzuzeigen. In diesem Falle sind der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) auf Verlangen Probestücke des Gegenstandes zu übersenden.</p> <p>6. Das Vernichten von nicht in Kraftfahrzeuge eingebauten Airbag - Druckgasspeichern darf nur im Rahmen einer nach § 7 SprengG erlaubten Tätigkeit vorgenommen werden.</p>		

 Tabelle 4: Zulassungsbereich BAM-PT₁-1251 [BAM]

Eine erneute Rückfrage bei der BAM im Februar 2016 ergab, dass inzwischen eine EU-Baumusterprüfung beantragt und eine entsprechende Bescheinigung erteilt worden ist. Da die EU-Baumusterprüfbescheinigung nach Richtlinie 2013/29/EU¹ eine Beschränkung der Verwendung auf Kraftfahrzeuge nicht mehr vorsieht, darf seither der Airbag-Druckgasspeicher CI.1R bei entsprechender Kenzeichnung gemäß o.g. Richtlinie in einem Kopfschutzsystem für Fahrradfahrer verwendet werden.

7 Zusammenfassung

Das Schutzpotential von Kopfschutzsystemen (Fahrradhelm und airbagbasiertes System) wurde anhand von zwei verschiedenen Versuchskonfigurationen untersucht. Hierbei wurden die resultierende Kopfbeschleunigung als Messwert sowie das Kopfverletzungskriterium HIC bei Versuchen ohne und mit Kopfschutzsystem vergleichend gegenübergestellt. Tests mit dem Fußgängerschutz-Kinderkopfimpaktor gegen eine Fahrzeugfront in Anlehnung an das Testprotokoll nach Euro NCAP belegen an verschiedenen Kopfanprallpunkten auf der Motorhaube die Schutzwirkung von Kopfschutzsystemen beim Fahrzeug-Fahrradfahreranprall, wobei die Schutzwirkung des airbagbasierten Systems bei zeitgerechter Vollausslösung mitunter geringfügig oberhalb derer des Fahrradhelms liegen kann. Auf der anderen Seite konnte gezeigt werden, dass eine typische Unfallkonstellation Pkw-Radfahrer durch das airbagbasierte Kopfschutzsystem in weiten Teilen gar nicht erfasst wird. Anfahrversuche eines Pkw gegen einen erwachsenen Hybrid II-Dummy als Fahrradfahrer zeigen, dass das Schutzpotential von Fahrradhelmen im Fahrzeug-Fahrradfahreranprall von erheblicher Relevanz ist. Der wesentliche Vorteil dieser rein passiven Lösung besteht in der Zuverlässigkeit der Schutzwirkung unabhängig vom Unfallszenario. Die Schutzwirkung beim airbagbasierten System hängt im wesentlichen von der Komplexität des hinterlegten Auslösealgorithmus sowie desweiteren der Funktionalität des Auslösevorgangs ab. Die Fahrzeugversuche haben gezeigt, dass die Kinematik des Fahrradfahrers ein Umschließen des Kopfes durch das Airbagsystem selbst bei einer reduzierten Anprallgeschwindigkeit von 20 km/h nicht zulässt.

¹ RICHTLINIE 2013/29/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 12. Juni 2013 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung pyrotechnischer Gegenstände auf dem Markt

Für den ursprünglich für den Fahrzeuginsassenschutz konzipierten Gasgenerator wurde inzwischen eine EU-Baumusterprüfbescheinigung nach Richtlinie 2013/29/EU erteilt. Diese erlaubt bei entsprechender Kennzeichnung auch die Verwendung in einem Kopfschutzsystem für Fahrradfahrer.

8 Anhang

DVD mit

- Fotos
- Hochgeschwindigkeitsfilmen

9 Referenzen

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM). Persönliche Korrespondenz. April 2015.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). „Durchführung von Fahrzeug- und Komponentenversuchen zur ergänzenden Bewertung der Sicherheit von Fahrradhelmen für Kinder.“ Bergisch Gladbach, Januar 2011.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). „Entwicklung eines Prüfverfahrens zum Schutz von Fahrradfahrern bei Pkw-Kollisionen.“ Projekt FE 82.0568/2012

Destatis: „Verkehrsunfälle 2013.“ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Fachserie 8 Reihe 7. 2014.

HÖVDING 2.0 Bedienungsanleitung

Otte D., Haasper C., Wiese B.: „Wirksamkeit von Fahrradhelmen bei Verkehrsunfällen von Radfahrern auf Kopfverletzungshäufigkeit und Verletzungsschwere.“ VKS Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Ausgabe Oktober 2008.