

Der Biofidel-Dummy als Fahrradfahrer-Surrogat: Vorläufige Ergebnisse zur Korrelation zwischen Dummybeschädigungen und Verletzungen von Radfahrern

Von Andreas Schäuble, Sven Hartwig und Michael Weyde *

Ziel dieses Forschungsprojektes war es, die Korrelation zwischen den Beschädigungen des Biofidel-Dummys als Fahrradfahrer-Surrogat und Verletzungen von Radfahrern zu untersuchen. Hierfür wurden drei Crashversuche durchgeführt, bei denen Pkw frontal mit Geschwindigkeiten von rund 20 km/h, 40 km/h und 60 km/h jeweils gegen das Heck eines stehenden Fahrrades gefahren wurden. Auf den Fahrrädern war jeweils ein Biofidel-Dummy positioniert, der im Anschluss insbesondere hinsichtlich der Schäden am Skeletapparat detailliert untersucht wurde. Die Beschädigungen des Biofidel-Dummys aus dem Crashversuch mit 60 km/h wurden mit den Verletzungen eines tödlich verunglückten Fahrradfahrers verglichen, welcher in einen hinsichtlich der Anstoßkonstellation und Relativgeschwindigkeit vergleichbaren Verkehrsunfall verwickelt war. Zwar stimmen die Beschädigungen des Biofidel-Dummys und die zugrundeliegenden Mechanismen mit den Verletzungen des Fahrradfahrers und dessen Verletzungsmechanismen überein, im Detail weist das Design des Biofidel-Dummys (Stand September 2020) an einigen Stellen aber konstruktive Merkmale auf, die noch nicht zu einem vollständig realistischen Beschädigungsbild führen.

1 Einleitung

Im Zusammenhang mit tödlichen Verkehrsunfällen unter Beteiligung von vulnerablen Verkehrsteilnehmern werden oftmals durch die Staatsanwaltschaft forensische Untersuchungen beauftragt, da Verletzungen insbesondere im Hinblick auf die Anprallrichtung beispielsweise bei Fußgängern ein wichtiges Indiz und somit bei der Unfallrekonstruktion unterstützend sein können [1-4].

Sollten in der Vergangenheit reale Verkehrsunfälle mittels Crashversuchen nachgestellt werden, so musste auf die traditionellen Crashtest-Dummys zurückgegriffen werden, die weder realistische Fahrzeugbeschädigungen verursachen noch selbst Beschädigungen erfahren, aus denen auf reale Verletzungen geschlossen werden kann. Vor diesem Hintergrund wurde der

Biofidel-Dummy ursprünglich als Fußgänger-Surrogat entwickelt, um genau dies zu erreichen.

In [5, 6] wurden bereits die von dem Biofidel-Dummy verursachten Fahrzeugbeschädigungen mit denen aus vergleichbaren, realen Fußgängerunfällen verglichen sowie die Korrelation zwischen Dummybeschädigungen und Fußgänger-Verletzungen untersucht. Allerdings wurde in diesen Crashver-

suchen eine ältere Version des Biofidel-Dummys verwendet.

Dank Designänderungen am Becken und Hüftgelenk kann die neueste Version des Biofidel-Dummys unterschiedliche Körperhaltungen annehmen. Daher kann dieser nun auch als Fahrradfahrer-Surrogat verwendet werden, weswegen das Ziel dieser Forschungsarbeit die Untersuchung der Korrelation zwischen Dummybeschädigungen und Verletzungen von Radfahrern ist, deren vorläufige Ergebnisse hier präsentiert werden.

2 Methodik

Es wurden drei Crashversuche mit dem Biofidel-Dummy (Verkaufsname PRIMUS breakable) als Fahrradfahrer-Surrogat durch die DEKRA Unfallanalytik im firmeneigenen Crashtest-Zentrum in Neumünster im September 2020 durchgeführt. Hierbei war das Fahrrad stationär und wurde mit jeweils 20 km/h, 40 km/h und 60 km/h von hinten durch einen Mittelklassekombi angefahren, was einer typischen Unfallkonstellation auf Landstraßen entspricht, wie in **BILD 1** dargestellt.

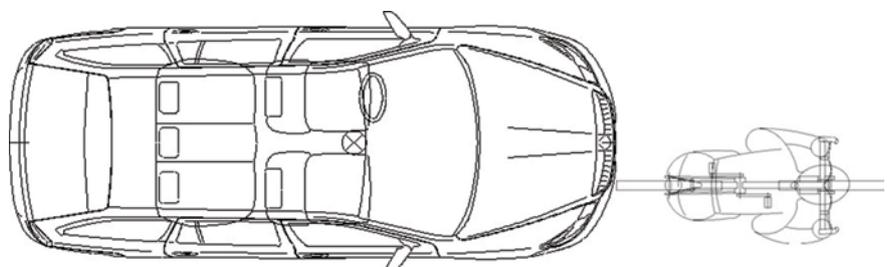


BILD 1: Kollisionsstellung
FIGURE 1: impact constellation

Anschließend wurden die drei Biofidel-Dummys einer technischen Obduktion unterzogen und die Dummybeschädigungen in reale Verletzungen transkribiert.

Die Beschädigungen des Biofidel-Dummys, der in dem 60km/h Crashversuch verwendet wurde, wurden zudem mit den Verletzungen eines Fahrradfahrers verglichen, der in einen Unfall ähnlicher Schwere verwickelt war. Der Fahrradfahrer wurde hierbei gemäß unfallgutachterlichen Feststellungen mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von 67-73 km/h durch einen SUV von schräg hinten getroffen. Während es sich bei den Crashversuchen um Vollstöße handelte, liegt bei dem Verkehrsunfall ein Teilstoß mit abgleitenden Komponenten vor, was zu Einschränkungen bei der Vergleichbarkeit führt.

Die Obduktion des Fahrradfahrers (m, 36 Jahre) wurde am Institut für Rechtsmedizin der Charité-Universitätmedizin Berlin durchgeführt. Eine der Obduktion vorausgehende postmortale Computertomographie (PMCT) wurde mithilfe eines Activion 16 Multislice CT Scanners von Toshiba Medicals Systems bei 120 kV und 166 mA sowie einer Schichtdicke von 0,5 mm durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Das **BILD 2** zeigt eine Übersicht der Beschädigungen der drei verwendeten Biofidel-Dummys sowie die Verletzungen des Fahrradfahrers. Die Knochen sind in den Grafiken lediglich bei Frakturen eingefärbt worden, während andere Verletzungen durch eine farbige Markierung in der rechten Spalte dargestellt werden. Dies erlaubt die klare Unterscheidung zwischen Verletzungen des Skelettsystems sowie Weichteilverletzungen.

Bei Betrachtung der Beschädigungen der Biofidel-Dummys wird ersichtlich, dass diese mit Zunahme der Kollisionsgeschwindigkeit ebenfalls in ihrer Intensität zunehmen. Bei der Analyse der Beschädigungen der Biofidel-Dummys muss jedoch genau zwischen Schäden unterschieden werden, die als reprä-

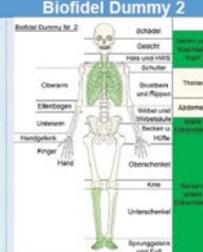
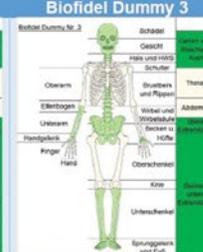
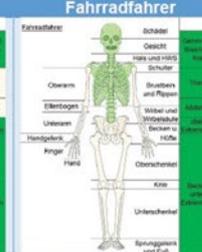
Biofidel Dummy 1	Biofidel Dummy 2	Biofidel Dummy 3	Fahrradfahrer
			
Abschürfungen am Stirn- und Scheitelbein	Abschürfungen am Stirn- und Scheitelbein	Frakturen von cervikalen sowie thorakalen Wirbeln	Schmierbruch der Schädelbasis mit unvollständigem Ringbruch
Abschürfungen an linker und rechter Hand	Abschürfungen an linker und rechter Hand sowie Weichteilverletzung an linker Hand	Traumatische Amputation des Kopfes mit multiplen Frakturen des Schädels	Zerreißen der harten Hirnhaut im Bereich des rechten Schläfenbeins und Gewebszerstörungen des Kleinhirns
Weichteilverletzung am Nacken	Weichteilverletzung am Nacken	Traumatische Amputation des linken Fußes mit Frakturen im Bereich des Außen- und Innenknöchels	Quereinrisse der Gefäßwandinnenschicht der Halsschlagadern
Weichteilverletzung am linken Unterarm proximal	Bänderzerrung im linken und rechten Ellenbogen	Abschürfungen an linker und rechter Hand	Rippserienfrakturen mit Anspießungsverletzungen und Zerreißungen des Lungengewebes rechtsbetont
Weichteilverletzung am linken Unterarm distal	Rippenfrakturen	Fraktur des linken Handgelenkes	Hämopneumothorax
Weichteilverletzung am rechten Unterschenkel proximal	Weichteilverletzung am rechten Oberschenkel distal	Weichteilverletzung am rechten Unterschenkel dorsal	Frakturen der Schulterblätter
Weichteilverletzung am rechten Oberschenkel distal	Knöcherne Absplitterung am rechten, lateralen Tibia-Kondylus	Weichteilverletzung am Nacken	Fraktur des linken Sternoklavikulargelenkes
	Fraktur im Bereich des linken und rechten Außenknöchels	Fraktur des rechten Unterarmes	Anbruch der Brustwirbelsäule zwischen 3. und 4. Brustwirbelkörper mit Einblutung in das angrenzende Weichteilgewebe
	Riss des linken, medialen Bandapparates des Sprunggelenkes	Bänderriss im rechten Ellenbogen	Abbrüche der Dornfortsätze der mittleren Brust- und Halswirbelsäule
		Knöcherne Absplitterungen am rechten Acetabulum	Multiple Organverletzungen, Abschürfungen und Hämatome
		Fraktur des linken Hemipelvis	
		Fraktur des linken Unterschenkels	
		Fraktur im Bereich des rechten Außenknöchels	
		Knöcherne Absplitterung am rechten, medialen Tibia-Kondylus	
		Riss des Außenbandes des rechten Knies	

BILD 2: Übersicht der Beschädigungen der drei Biofidel-Dummys und der Verletzungen des Fahrradfahrers

FIGURE 2: Overview of the damages of the three Biofidelic Dummies and the injuries of the cyclist

sentativ für reale Verletzungen angesehen werden können, und solchen, die primär durch das Design des Biofidel-Dummys verursacht wurden und daher nicht repräsentativ für reale Verletzungen sind.

Diese Differenzierung wird in Bild 2 allerdings nicht deutlich, da dort sämtliche Beschädigungen aufgelistet sind.

Oftmals war das Gewebersatzmaterial nahe dem Handgelenk durch eine scharfkantige Metallplatte eingerissen worden, wie auf **BILD 3** zu sehen ist, und somit eher konstruktiver Natur. Um diese konstruktionsbedingte Beschädigung zukünftig zu vermeiden, wird die scharfkantige Metallplatte des Längengurtes laut Herstellerangaben durch



BILD 3: Konstruktionsbedingte Beschädigung des Gewebeersatzmaterials des Biofidel-Dummys nahe dem Handgelenk
FIGURE 3: Construction-related damage to the tissue replacement material of the Biofidelic Dummy near the wrist

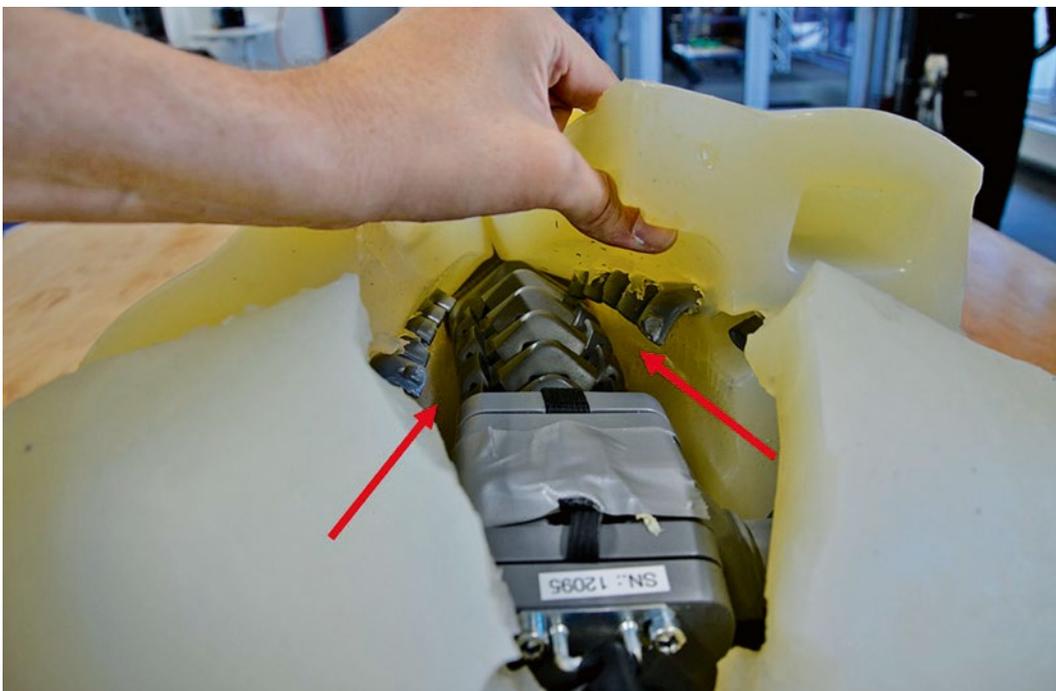


BILD 4: Herausspringen der Rippen
FIGURE 4: Disengagement of the ribs

zwei Ösen im Gurtband ersetzt. Auffallend war ebenfalls das Herausspringen der Rippen, wie auf **BILD 4** und **BILD 5** zu sehen ist. Diese werden an ihrem hinteren Endsegment in die entsprechenden Wirbel eingeklinkt. Erfolgt jedoch ein Aufprall von schräg hinten, können sich diese leicht lösen und springen he-

raus, wie dies bei jedem der drei Biofidel-Dummys der Fall war. Rippenbrüche wurden demnach auch lediglich bei dem Biofidel-Dummy aus dem 40 km/h Crashversuch festgestellt.

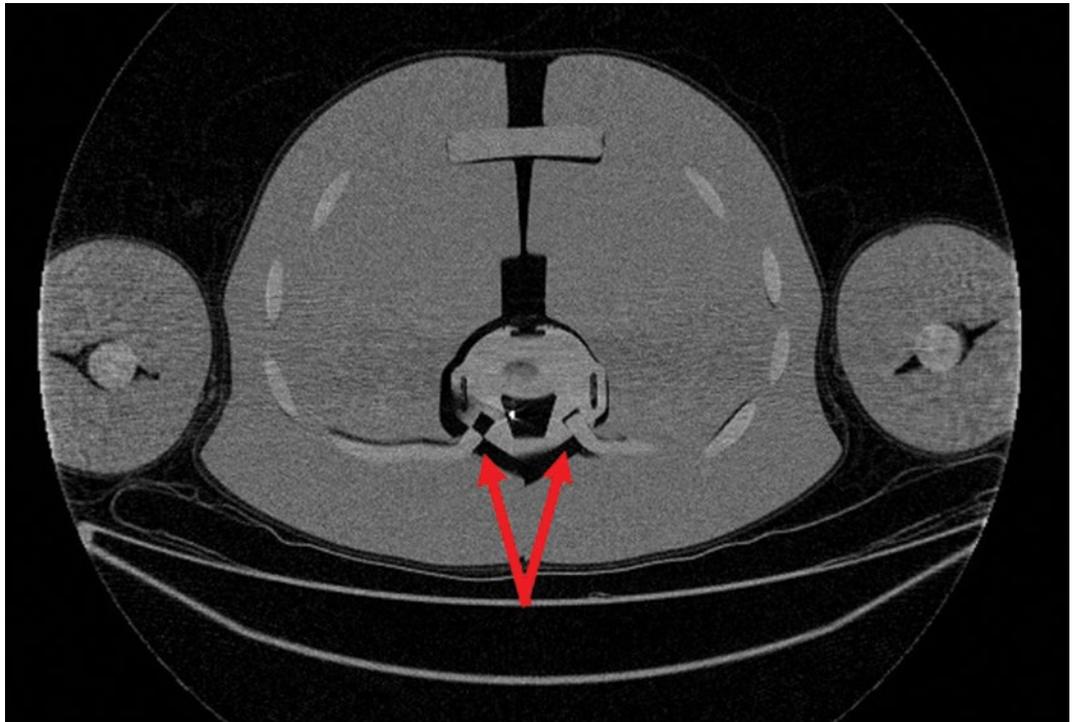
Während der Fahrradfahrer Rippenserienbrüche mit Anspießungsverletzungen und Zerreißen des Lungen-

gewebes rechtsbetont erlitt, blieben die Rippen bei dem entsprechenden Biofidel-Dummy aus dem 60 km/h Crashversuch unbeschädigt.

Diese Diskrepanz kann durch das oben beschriebene Herausspringen einzelner Rippen aus der dorsalen Verankerung erklärt werden, weil dadurch

BILD 5: Sicht von unten auf einen Schnitt durch den Thorax des Biofidel-Dummys entlang der transversalen Ebene in einer 2D-koronalen PMCT-basierten Rekonstruktion, wobei der linke Pfeil eine herausgelöste Rippe und der rechte Pfeil eine noch eingeklinkte Rippe markieren

FIGURE 5: View from below of a cut through the Biofidelic Dummy's thorax along the transverse plane in a 2D coronal PMCT-based reconstruction with the left arrow highlighting a disengaged rib and the right arrow highlighting a rib that is still in place



die in diesen Rippen durch den Aufprall induzierte Spannung verringert wird. Dieses Verhalten ist eindeutig konstruktionsbedingt und entspricht nicht dem, was bei einem Menschen als Verletzung erwartet werden würde. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wurde das Design des Biofidel-Dum-

mys zwischen den Crashversuchen und der Drucklegung dieses Artikels konstruktiv überarbeitet.

Über der obersten Rippe wurden zwei Rändelschrauben eingefügt sowie Rippenblocker und ein Drahtseil, welches durch die Wirbelsäule läuft, um das Herausspringen der Rippen zu

verhindern. Ebenso ist die Verbindung zwischen Halswirbelsäule und Schädel zu schwach ausgelegt. Durch den stumpfen Aufprall des Schädels des Biofidel-Dummys im 60-km/h-Crashversuch im Bereich des Hinterhauptbeins auf die Dachvorderkante wurde dieser innerhalb seiner Latexhülle stark

BILD 6: Fragmentierter Schädel des Biofidel-Dummys aus dem 60 km/h Crashversuch mit einem intakten Schädel als Vergleich

FIGURE 6: Fragmented skull of the Biofidelic Dummy from the 60 km/h crash test with an intact skull as a comparison



fragmentiert, wie in **BILD 6** zu sehen ist. Durch die Hohlheit des Schädels fielen die einzelnen Fragmente in sich zusammen und der Schädel verlor dadurch seine konstruktive Anbindung an die Halswirbelsäule. Gemäß Videoanalyse wurde der Schädel durch den primären Anprall gegen das Fahrzeug nicht traumatisch amputiert, sondern, wie oben beschrieben, lediglich fragmentiert.

Während des sekundären Aufpralls auf die raue Fahrbahnoberfläche ist jedoch zu erkennen, dass das Hautersatzmaterial durch die Reibung perforiert wird und sich Schädel und Rumpf anschließend aufgrund unterschiedlicher Aufpralldynamik voneinander trennen.

Der Fahrradfahrer erlitt ebenfalls einen stumpfen Anprall gegen das Hinterhauptbein und Frakturen der Schädelbasis, allerdings wurde der Schädel nicht traumatisch amputiert. Dies ist bei den vorliegenden Kollisionsgeschwindigkeiten auch nicht zu erwarten. Hier bedarf es demnach konstruktiver Änderungen, um die Verbindung zwischen Schädel und Halswirbelsäule zu verbessern. Auch hier erfolgte eine konstruktive Verbesserung des Designs zwischen den Crashversuchen und der Drucklegung.

Neuerdings wird eine Glasfasermatte in die Schädelhaut mit einlaminiert, die das Reißen des Hautersatzmaterials verhindern soll. Dies könnte das Abtrennen eines zerborstenen Schädels verhindern. Betrachtet man hingegen das Bruchbild der Schädel, so lassen sich Parallelen zwischen Biofidel-Dummy und Fahrradfahrer erkennen. Wie in **BILD 7** zu erkennen ist, breiten sich die Bruchlinien, gekennzeichnet durch den roten Pfeil, vom Hinterhauptbein im Sinne eines Biegungs- und Bertsungsbruchs aus. Die durch den grünen Pfeil gekennzeichnete, abgeflachte Fläche ist allerdings konstruktionsbedingt und darf nicht mit einer Verdichtung und Abflachung des Knochenersatzmaterials durch den stumpfen Aufprall verwechselt werden.

Ähnliches ist auch bei dem Schädel des Fahrradfahrers, wie in **BILD 8** gezeigt, aufgetreten. Das Schädelhirntrauma des Fahrradfahrers betreffend dürften sowohl ein Anprall- als auch

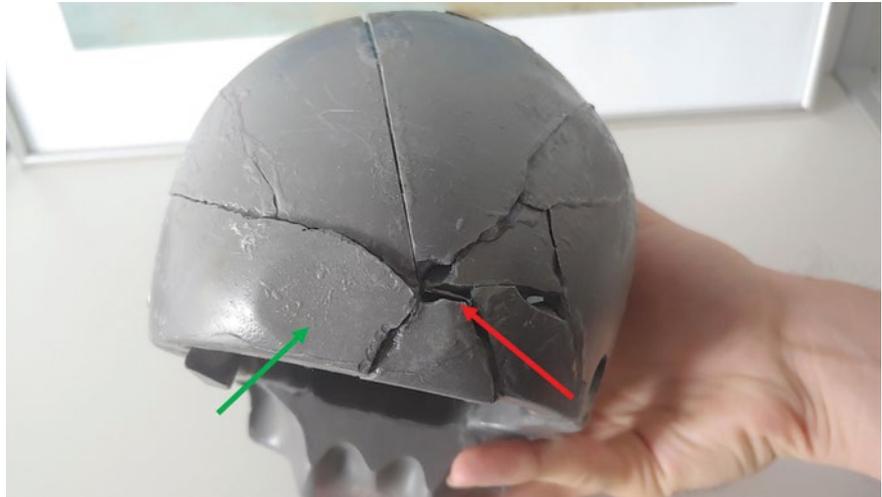


BILD 7: Zusammengesetzter Schädel des Biofidel-Dummys aus dem 60-km/h-Crashversuch; Der rote Pfeil zeigt das Bruchzentrum, der grüne Pfeil eine konstruktionsbedingte abgeflachte Fläche, die nicht mit einer Verdichtung und Abflachung des Knochenersatzmaterials durch den stumpfen Aufprall verwechselt werden darf

FIGURE 7: Assembled skull of the Biofidelic Dummy from the 60 km/h crashtest; The red arrow shows the fracture centre, the green arrow a construction-related flat surface which must not be confused with a compaction and flat-tening of the bone substitute material due to the blunt impact

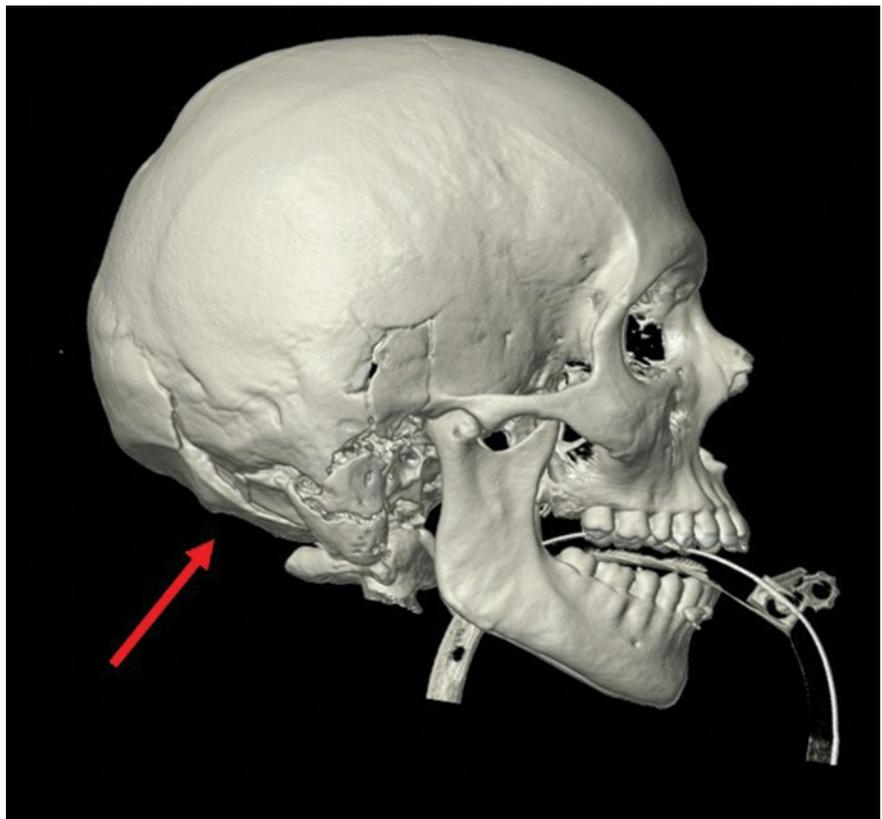


BILD 8: Visualisierung des gebrochenen Schädels des Fahrradfahrers in einer 3D PMCT-basierten Volumengrafik-Rekonstruktion; der rote Pfeil zeigt das Bruchzentrum

FIGURE 8: Visualisation of the fractured skull of the cyclist in a 3D volume-rendering PMCT-based reconstruction; the red arrow shows the fracture centre

ein Hyperextensionsmechanismus zugrunde gelegen haben. Ersterer aufgrund der Kopfschwarteneinblutung am Hinterhaupt und Letzterer aufgrund des Ringbruchs der Schädelbasis. Ähnliches findet sich auch beim Biofidel-Dummy wieder.

Einige Beschädigungen der Wirbelsäule des Biofidel-Dummys aus dem 60-km/h-Crashversuch deuten auf Hyperextension als zugrundeliegenden Mechanismus hin. Die Unterblutungen des vorderen Längsbandes der Lendenwirbelsäule, die Einblutungen der Halsweichteile angrenzend an die Schlüsselbeine, die Fraktur der Wirbelsäule in Verbindung mit den Abbrüchen der Dornfortsätze sowie die querverlaufenden Einrisse der Gefäßwandinnenschichten der Halsschlagadern sprechen bei dem Fahrradfahrer ebenfalls für eine Hyperextension des Rumpfes und des Halses als zugrundeliegenden Verletzungsmechanismus.

Das **BILD 9** zeigt die Fraktur der Wirbelsäule des Fahrradfahrers, während **BILD 10** die korrespondierende Beschädigung des Biofidel-Dummys darstellt. Der Biofidel-Dummy aus dem 60-km/h-Crashversuch erlitt zwar mit Frakturen vergleichbare Beschädigungen

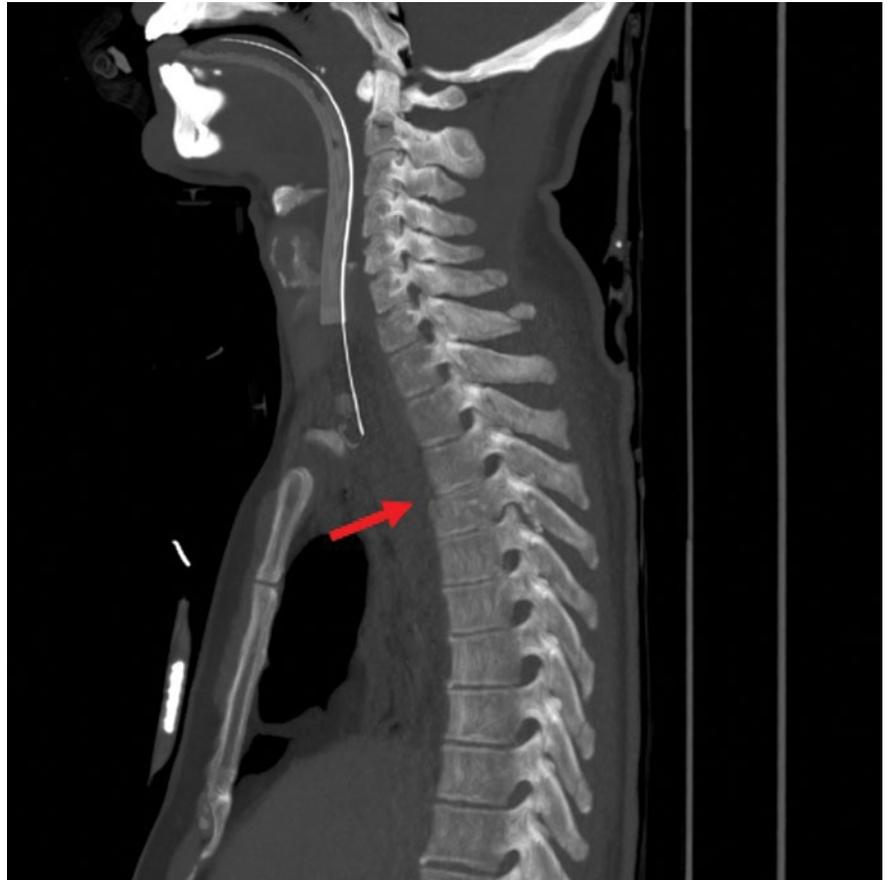


BILD 9: Fraktur der Wirbelsäule des Fahrradfahrers in einer 2D-koronalen PMCT-basierten Rekonstruktion

FIGURE 9: Fracture of the cyclist's spinal column in a 2D coronal PMCT-based reconstruction

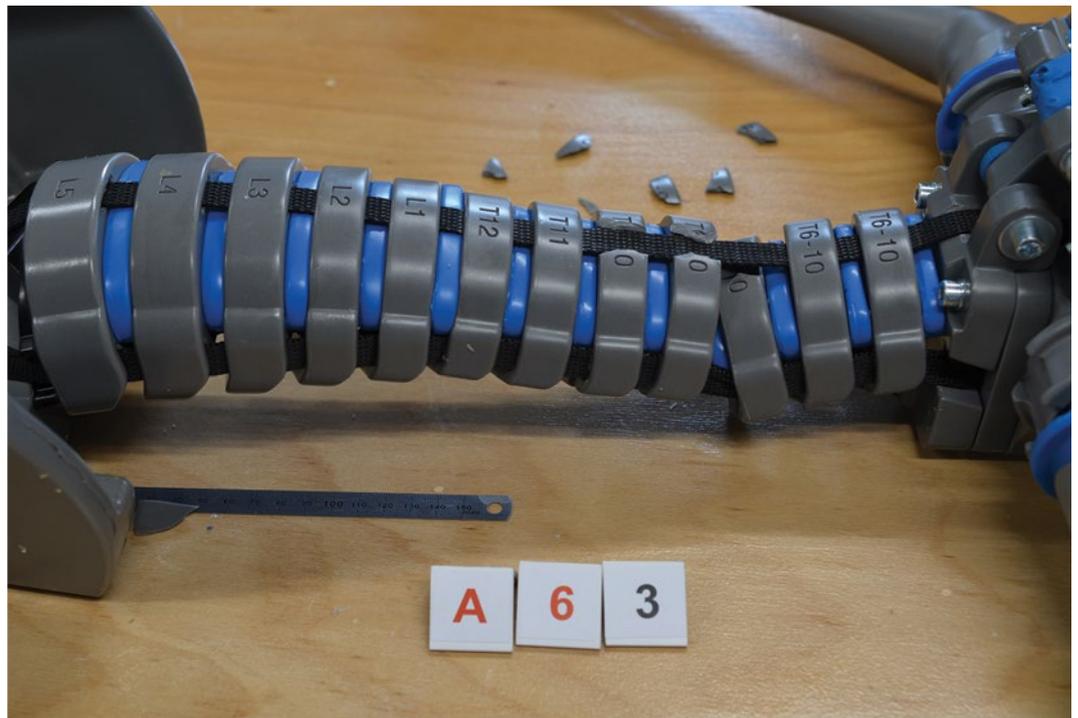


BILD 10: Beschädigung der Wirbelsäule des Biofidel-Dummys aus dem 60-km/h-Crashversuch
FIGURE 10: Damages to the spinal column of the Biofidelic Dummy from the 60 km/h crashtest

gen an seinen unteren Extremitäten, diejenigen des Fahrradfahrers wiesen jedoch keine entsprechenden Verletzungen auf. Unterschiede in der Aufprallkinematik und -dynamik sowie die unterschiedlichen Frontendgeometrien der Fahrzeuge könnten eine Erklärung hierfür sein.

4 Limitationen

Die hier präsentierten, vorläufigen Ergebnisse beruhen lediglich auf drei Crashversuchen mit dem Biofidel-Dummy als Fahrradfahrer-Surrogat sowie auf PMCT und Obduktion eines tödlich verunglückten Fahrradfahrers. Ferner handelte es sich bei den Crashversuchen um Vollstöße, während bei dem Verkehrsunfall ein Teilstoß mit abgleitenden Komponenten vorlag, was zu Einschränkungen bei der Vergleichbarkeit führt. Um belastbare Aussagen treffen zu können, benötigt es daher weiterer Untersuchungen.

5 Fazit

Die Beschädigungen des Biofidel-Dummys aus dem 60-km/h-Crashversuch und die Verletzungen des Fahrradfahrers sind trotz einiger Abweichungen miteinander vergleichbar und weisen die gleichen zugrundeliegenden Mechanismen auf. Einige konstruktive Schwachstellen sind laut Aussagen des

Herstellers bereits bekannt und wurden zwischen den Crashversuchen und der Drucklegung durch entsprechende konstruktive Designänderungen behoben. Inwieweit diese ein realistischeres Beschädigungsbild verursachen, bedarf dann weiterer Überprüfungen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Herren Peter Schimmelpfennig, Mirko Dobberstein und Marco Bäumer von crashtest-service.com GmbH für ihre Unterstützung bei der technischen Obduktion der Biofidel-Dummys.

Literaturhinweise

- [1] Teresiński G. Injuries of the thigh, knee, and ankle as reconstructive factors in road traffic accidents. In Rich J, Dean DE, Powers RH, ed. Forensic Medicine of the Lower Extremity – Human Identification and Trauma Analysis of the Thigh, Leg, and Foot. Totowa, NJ: Humana Press; 2005: 311–342.
- [2] Teresiński G, Mądro R. Evidential value of injuries useful for reconstruction of the pedestrian-vehicle location at the moment of collision. Forensic Science International. 2002; 128: 127–135.
- [3] Teresiński G, Mądro R. Knee joint injuries as a reconstructive factors in car-to-pedestrian accidents. Forensic Science International. 2001; 124: 74–82.
- [4] Teresiński G, Mądro R. Pelvis and hip joint injuries as a reconstructive factors in car-to-pedestrian acci-

dents. Forensic Science International. 2001; 124: 68–73.

- [5] Schäuble A, Weyde M. Die biomechanische Validierung eines neuen biofidelen Dummys Teil 1. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (VKU) Heft 5/2021, S. 172–187.
- [6] Schäuble A, Weyde M. Die biomechanische Validierung eines neuen biofidelen Dummys Teil 2. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (VKU) Heft 6/2021, S. 228–235.

The Biofidelic Dummy as a cyclist surrogate: preliminary results on the correlation between dummy damages and cyclist injuries

The aim of this research project was to investigate the correlation between the damages to the Biofidelic Dummy used as a cyclist surrogate and the injuries suffered by cyclists. For this purpose, three crash tests were carried out in which cars were driven head-on at speeds of around 20 km/h, 40 km/h and 60 km/h against the rear of a stationary bicycle. A Biofidelic Dummy was positioned on each of the bicycles. The dummies were then examined in detail, particularly regarding damages to the skeletal system. The damages to the Biofidelic Dummy from the crash test at 60 km/h were compared with the injuries of a fatally injured cyclist who was involved in a traffic accident that was comparable in terms of impact constellation and relative speed. Although the damages to the Biofidelic Dummy and the underlying mechanisms match the injuries suffered by the cyclist and his injury mechanisms, the design of the Biofidelic Dummy (as of September 2020) shows structural features in some places that do not lead to a completely realistic damage pattern.

*** Autoren**

Dipl.-Ing., MEng, CAISS Andreas Schäuble arbeitet in der Unfallforschung der DEKRA Automobil GmbH in Stuttgart und promoviert im Bereich der forensischen und Trauma-Biomechanik an der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

PD Dr. med. Sven Hartwig ist Oberarzt am Institut für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin. Dipl.-Ing., Dr. Michael Weyde ist ö. b. u. v. für Straßenverkehrsunfälle mit eigenem Sachverständigenbüro in Berlin. ::

Unfallforschung Schadensanalyse Fahrzeugtechnik

Fundiertes Wissen von Experten für Experten

Für Abonnenten

**kostenloser
Download von
2D DXF-Daten**

VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik informiert Sie im Magazin und online über die neuesten Ergebnisse aus **Schadenspraxis, Unfallforschung** und **Kfz-Technik**.

Jetzt Jahres- oder Mini-Abo bestellen und Prämie sichern.
www.VKUonline.de/abo

VKU
ist eine Marke von:
 Springer Automotive Media