

Die biomechanische Validierung eines neuen biofidelen Dummys Teil 2

Von Andreas Schäuble und Michael Weyde *

Um bei der Rekonstruktion von Fußgänger-Fahrzeug-Unfällen möglichst realistische Ergebnisse zu erzielen, wurde ein neuer biofideler Dummy entwickelt. Das Ziel der hier vorgestellten Arbeit war die biomechanische Validierung der biofidelen Eigenschaften dieses Crashtest-Dummys, auch Anthropomorphic Test Device (ATD) genannt. Hierfür wurden neun Crashtests mit dem Biofidel-Dummy durchgeführt. Die Testergebnisse wurden mit vier früheren Crashtests mit dem Žilina-Dummy, mit Leichenversuchen und 21 Realunfällen verglichen.

Die Trajektorien beider ATDs wurden berechnet und mit denen der Leichentests verglichen, wobei sich herausstellte, dass sich mit dem Biofidel-Dummy wesentlich realistischere Ergebnisse erzielen ließen als mit dem Žilina-Dummy. Die Schäden an den Fahrzeugfronten, die durch die beiden Dummys und bei Realunfällen entstanden sind, wurden miteinander verglichen, da realistische Schäden sehr wichtig für die Unfallrekonstruktion sind. Es konnte gezeigt werden, dass die Schäden, die der Biofidel-Dummy am Fahrzeug verursacht, den Schäden sehr ähnlich sind, die ein Fußgänger bei einem Realunfall von etwa derselben Schwere verursachen würde. Der Žilina-Dummy hingegen erzeugt am Fahrzeug wesentlich größere Schäden, was bei der Unfallrekonstruktion dazu führen könnte, dass vom Sachverständigen eine zu geringe Kollisionsgeschwindigkeit angenommen wird.

Der Anstoßfaktor, also das Verhältnis der durch den Anstoß erreichten maximalen Fußgängergeschwindigkeit zur Kollisionsgeschwindigkeit, wurde für beide ATDs berechnet, wobei hier mit beiden Dummys ähnliche Ergebnisse erzielt werden. Bei der Berechnung des dynamischen, zeitabhängigen Anstoßfaktors konnten allerdings Unterschiede in der Kinematik und Dynamik der beiden Dummys festgestellt werden.

Die Wurfweiten der beiden Dummys wurden mit Wurfweitendiagrammen, welche mithilfe der Daten aus Crashtests mit dem Žilina-Dummy sowie aus gut dokumentierten Realunfällen von DEKRA erstellt wurden, verglichen. Die mit dem Biofidel-Dummy erzielten Wurfweiten sind nach diesem Diagramm plausibel.

Zuletzt wurden die Schäden am Biofidel-Dummy selbst analysiert und auf Verletzungen am menschlichen Körper übertragen. Diese „Verletzungen“ des Biofidel-Dummys wurden mit den Verletzungen von bei Realunfällen verunglückten Fußgängern verglichen, wobei sich hier auf fünf spezielle Verletzungen konzentriert wurde, welche für die Unfallrekonstruktion hinzugezogen werden können. Im Allgemeinen waren die „Verletzungen“ des biofidelen Dummys vergleichbar mit denen der Fußgänger.

4.6 „Verletzungen“ des Dummys

Im Büro für Unfallrekonstruktion Berlin wurden an acht Biofidel-Dummys „Autopsien“ vorgenommen. Die Schäden der biofidelen Dummys wurden durch Zerlegung der Dummys ermit-

telt und diese Schäden dann entsprechenden Verletzungen eines Menschen zugeordnet. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass nur Knochenbrüche analysiert wurden, da der Dummy keine Verletzungen von Weichgewebe oder Organen nachahmen kann.

In [5] analysierte einer der Autoren die Korrelationen zwischen Kollisionsparametern, Fahrzeugschäden und Fußgängerverletzungen und kam zu dem Schluss, dass die Bruchmuster der langen Knochen in den unteren Extremitäten, Kniegelenksverletzungen, Knöchelverletzungen, Beckenverletzungen und Kopfverletzungen für Rekonstruktionszwecke verwendet werden können. Die folgende Analyse der Verletzungen des biofidelen Dummys konzentriert sich daher auf diese Verletzungen, da der Haupteinsatzbereich des Biofidel-Dummys in der Unfallrekonstruktion liegen wird. Das **BILD 20** zeigt eine Übersicht über die Autopsie des im Crashtest wh18.25 verwendeten biofidelen Dummys.

4.6.1 Frakturmuster der langen Knochen der unteren Extremitäten

Die charakteristische keilförmige Fraktur, bekannt als Messerer-Keilbruch, tritt häufig bei Fußgängern auf, die von einem Fahrzeug angefahren wurden [6]. Der Scheitelpunkt zeigt hierbei in Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Fahrzeugs und ist somit ein Hinweis auf die Anprallrichtung.

Die Fraktur der unteren Extremität des biofidelen Dummys weist zwar nicht die charakteristischen zwei Flächen des Messerer-Keilbruchs mit dem in Stoßrichtung zeigenden Scheitelpunkt auf, dennoch ist ein eindeutiges Bruchmuster zu beobachten. Die Bruchfläche ist zunächst glatt und endet dann mit einem Vorsprung auf einer der beiden Bruchflächen. Wie bei dem Scheitelpunkt des Messerer-Keilbruchs zeigt dieser Vorsprung immer die Stoßrichtung an.

Knochen bestehen aus einem heterogenen Material, wohingegen für die des

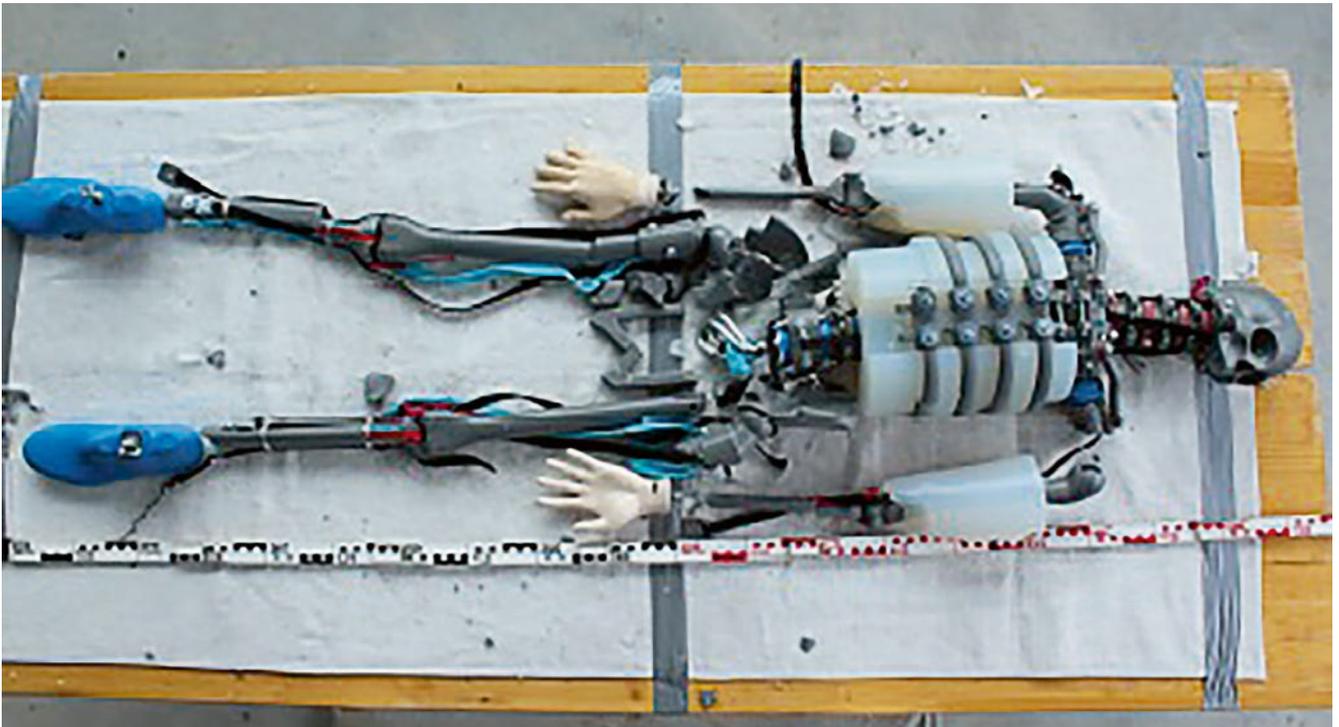


BILD 20: Übersichtsaufnahme der Autopsie des Biofidel-Dummys, der in Crashtest wh18.25 verwendet wurde

FIGURE 20: General view of the autopsy of the Biofidelic dummy used in crash test wh18.25

Biofidel-Dummys ein homogenes Material mit ähnlicher Festigkeit verwendet wird. Dieser Unterschied erklärt,

warum verschiedene Bruchmuster bei Menschen und dem biofidelen Dummy zu beobachten sind. Nichtsdestotrotz

lässt sich das Bruchbild des Dummys mit dem Messerer-Keilbruch vergleichen und als unterstützender Faktor zur Bestimmung der Stoßrichtung heranziehen. Das **BILD 21** zeigt die Bruchmuster, die bei dem Biofidel-Dummy im Crashtest wh18.23 auftraten.

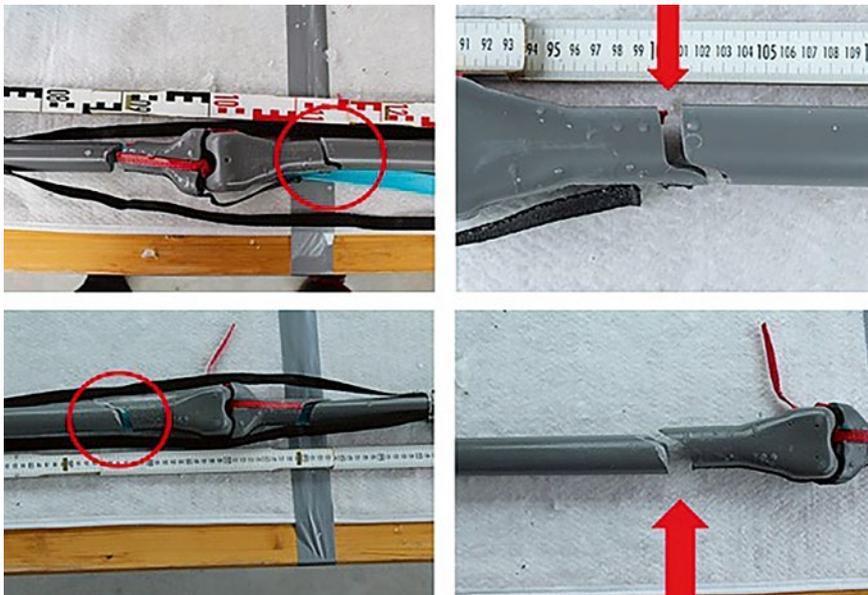


BILD 21: Messerer-Keilbruch des Biofidel-Dummys aus Versuch wh18.23 (Oben: linke Seite; Unten: rechte Seite; Roter Kreis: Ort der keilförmigen Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 21: Messerer wedge fracture of the Biofidelic dummy from test wh18.23 (Top: left side; Bottom: right side; Red circle: location of wedge-shaped fracture; Red arrow: direction of impact)

4.6.2 Verletzungen des Kniegelenks

Die Kniegelenksverletzungen eines Fußgängers können nach avulsivem (Zug) oder kompressivem (Druck) Entstehungsmechanismus klassifiziert werden. Die resultierenden Verletzungen der Kondylen⁸, Seitenbänder und der Kreuzbänder sind ein Indiz für die Stoßrichtung. Während Valgusflexionen⁹ nach lateralen Anstößen auftreten, lassen sich Varusflexionen¹⁰ nach mittleren Anstößen beobachten.

⁸ Als Kondyle oder Kondylus (griechisch kondylos „Knolle“, „Faust“) bezeichnet man in der Medizin den knöchernen Teil eines Gelenks.

⁹ Valgus = Beugung weg von der Körpermittellinie.

¹⁰ Varus = Beugung in Richtung der Körpermittellinie.

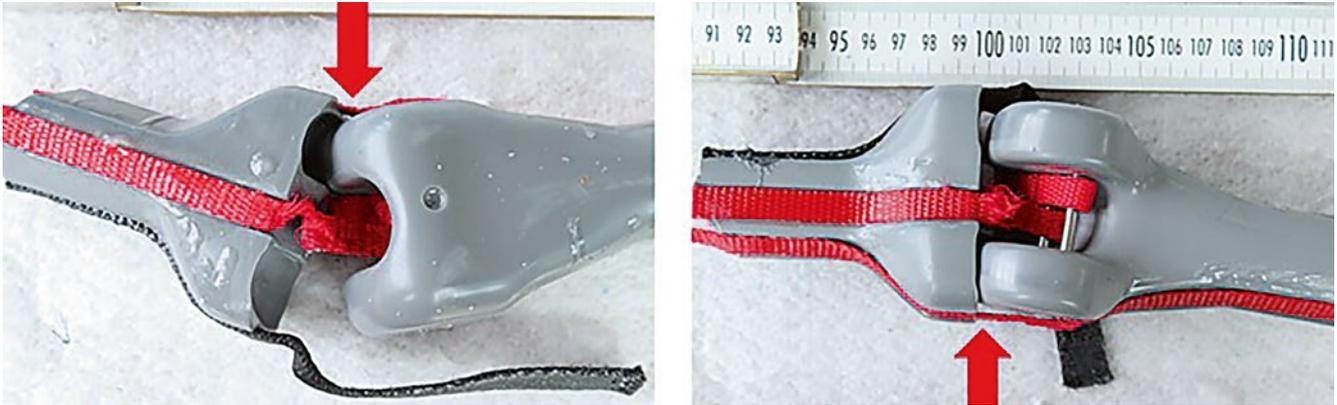


BILD 22: Knieverletzung des Biofidel-Dummys aus Versuch wh18.23 (Links: Frontansicht; Rechts: Rückansicht; Roter Pfeil: Anprallrichtung)
FIGURE 22: Knee injury of the Biofidelic dummy from test wh18.23 (Left: Front view; Right: rear view; Red arrow: direction of impact)

Die Knie des Biofidel-Dummys weisen eine sehr humanoide Anatomie auf. Die Biofidelität der Kniegelenksverletzungen wird anhand der linken Kniegelenke der in den Crashtest wh18.23 und wh18.25 verwendeten Dummys analysiert, die in **BILD 22** und **BILD 23** dargestellt sind. Der zugrunde liegende Verletzungsmechanismus ist hierbei die Varusflexion.

In Folge des Crashtests wh18.23 waren beim ATD das schwarze Band, was das laterale Seitenband darstellt, vom Oberschenkel abgerissen, wie in Bild 22 zu sehen ist. Diese Bänder sind an den Knochen geklebt. Hier war die Verbindung zum Knochen schwächer als das Band selbst, weshalb das Band abriß und kein Riss am Band selbst auftrat. Bei einem Realunfall wäre dieses Band jedoch gerissen. Dennoch kann dieser Schaden am biofidelen Dummy als gerissenes laterales Seitenband interpretiert werden. Außerdem sind sowohl das vordere als auch das hintere Kreuzband ausgefranst. Diese Verletzungen stimmen mit denen, die von [7] beim Menschen gefunden wurden, überein.

Beim Crashtest wh18.25 trat eine noch stärkere Biegung auf, was zum Bruch des medialen Tibia Condylus¹¹ führte, wie in

Bild 23 zu sehen ist. Außerdem waren das laterale Seitenband sowie das vordere und hintere Kreuzband gerissen. Das mediale Seitenband war auch nach diesem Anprall ausgefranst.

4.6.3 Verletzungen des Knöchels

Die Verletzungen des Knöchels des biofidelen Dummys können noch nicht analysiert werden, da die Anatomie des Knöchels des ATDs nicht der des Menschen entspricht. Der Fuß ist aus Gummi und lediglich mit dem Unterschenkel verschraubt.

4.6.4 Verletzungen des Beckens

Beckenverletzungen scheinen bei überfahrenen Fußgängern häufiger aufzutreten als bei solchen, die in aufrechter Haltung angefahren werden. Von [8] wurde festgestellt, dass Verletzungen des Iliosakralgelenks¹² der geeignetste Parameter zur Bestimmung der Anprallrichtung bei seitlichen Anstößen sind und bis auf wenige Ausnahmen auf der stoßzugewandten Seite auftreten.

Von den acht getesteten Biofidel-Dummys traten nur an denen, die in

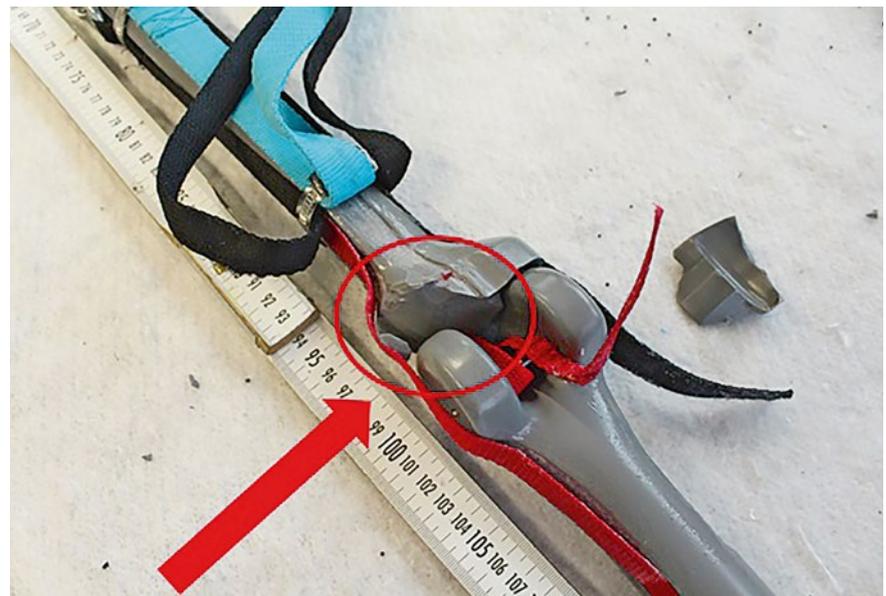


BILD 23: Rückansicht der Knieverletzung des Biofidel-Dummys aus Versuch wh18.25 (Roter Kreis: Ort der medialen Tibia-Condylus-Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 23: Rear view of the knee injury of the Biofidelic dummy from test wh18.25 (Red circle: location of medial tibial condyle fracture; Red arrow: direction of impact)

¹¹ Ein Tibia Condylus ist ein Knochenfortsatz oben am Schienbein.

¹² Iliosakralgelenk: Das Kreuz-Darmbein-Gelenk ist die gelenkige Verbindung zwischen dem Kreuzbein und dem Darmbein.

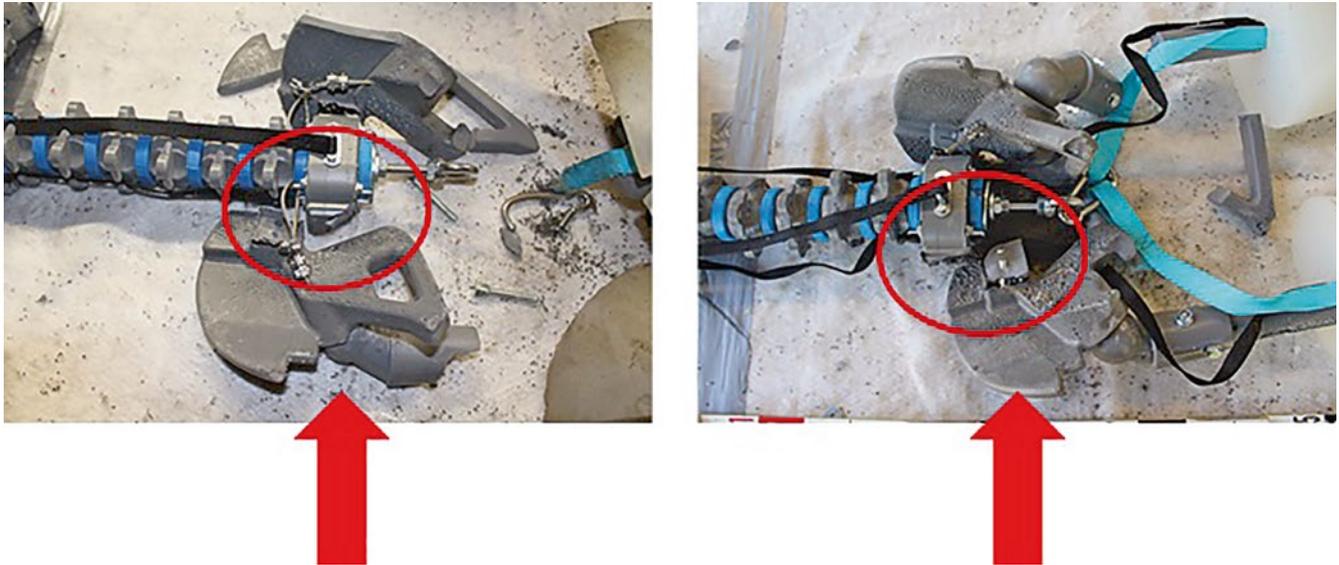


BILD 24: Fraktur des rechten Iliosakralgelenks des Biofidel-Dummys (Links: Crashtest wh18.24; Rechts: Crashtest wh18.26; Roter Kreis: Ort der Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 24: Fracture of the right sacroiliac joint of the Biofidelic dummy (Left: Crashtest wh18.24; Right: Crashtest wh18.26; Red circle: location of fracture; Red arrow: direction of impact)

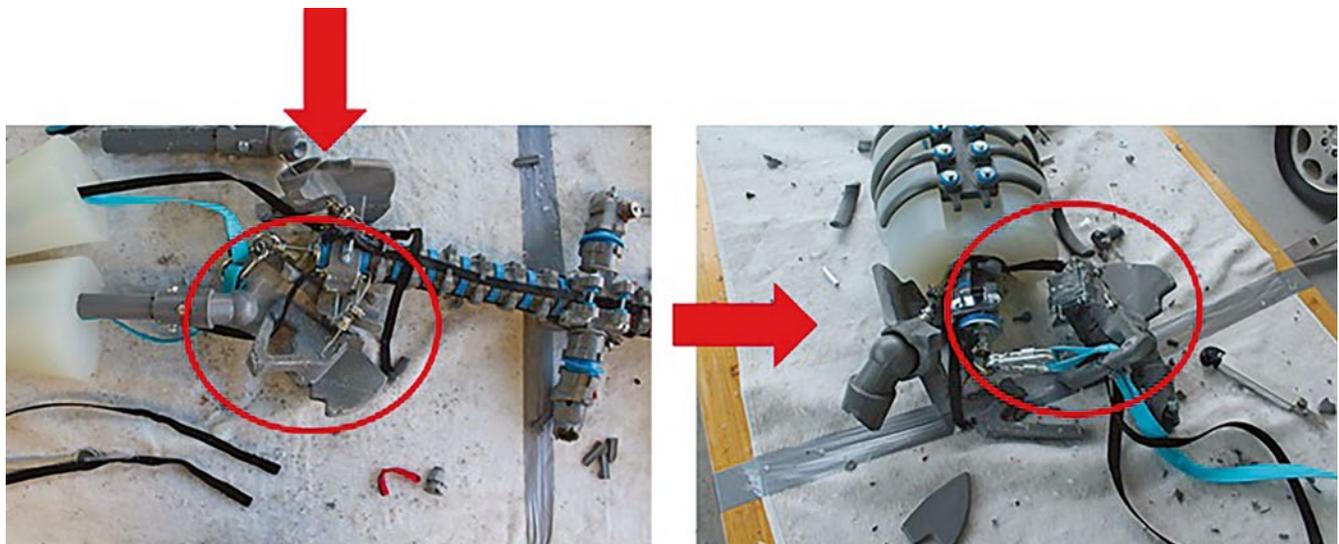


BILD 25: Fraktur des linken Iliosakralgelenks des Biofidel-Dummys (Links: Crashtest wh18.28; Rechts: Crashtest wh18.29; Roter Kreis: Ort der Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 25: Fracture of the left sacroiliac joint of the Biofidelic dummy (Left: Crashtest wh18.28; Right: Crashtest wh18.29; Red circle: location of fracture; Red arrow: direction of impact)

Crashtest wh18.24 und wh18.26 verwendet wurden, Brüche des rechten Iliosakralgelenks auf, während die in Crashtest wh18.28 und wh18.29 verwendeten Dummys Brüche am linken Iliosakralgelenk erfuhren. **BILD 24** zeigt die Frakturen des rechten Iliosakralgelenks, während das **BILD 25** die Frakturen des linken Iliosakralgelenks zeigt.

Die Verletzungen des Iliosakralgelenks stimmen mit denen von [8] berichteten überein. Jedoch traten nur zwei Verletzungen an der stoßzugewandten Seite auf, während die anderen beiden auf der stoßabgewandten Seite lagen.

Die Biofidel-Dummys, die in Crashtest wh18.25 und wh18.27 verwendet wurden, erlitten Verletzungen des Ili-

ums¹³ nahe des Iliosakralgelenks. Beide Biofidel-Dummys erfuhren Brüche des rechten Iliums. Da diese Verletzungen

¹³ Ilium: Das Darmbein ist oben schaufelartig zur Darmbeinschaukel verbreitert, daher auch die Bezeichnung „Beckenschaukel“.

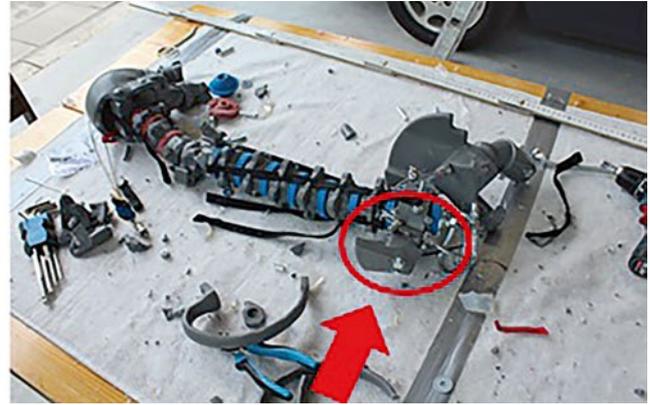
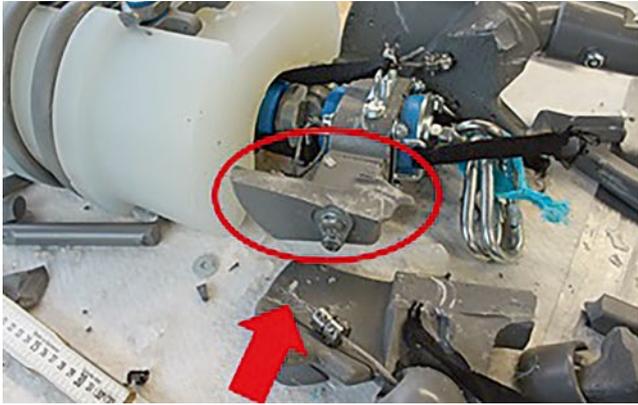


BILD 26: Fraktur des Iliums neben dem Iliosakralgelenk des Biofidel-Dummys (Links: Crashtest wh18.25; Rechts: Crashtest wh18.27; Roter Kreis: Ort der Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 26: Fracture of the ilium next to the sacroiliac joint of the Biofidelic dummy (Left: Crashtest wh18.25; Right: Crashtest wh18.27; Red circle: location of fracture; Red arrow: direction of impact)

gen so nah am Iliosakralgelenk liegen, könnten diese für die Unfallrekonstruktion als Verletzungen des Iliosakralgelenks betrachtet werden. Die Frakturen des linken und rechten Iliums des in Crashtest wh18.23 verwendeten Biofidel-Dummys befinden sich in größerer Entfernung zu dem jeweiligen Iliosakralgelenk, weshalb diese kaum als Verletzungen des Bereichs des Iliosakralgelenks betrachtet werden können.

Diese Klassifizierung ist jedoch subjektiv. Design und Konstruktion des biofidelen Dummys beeinflussen natürlich das Verletzungsmuster. Das **BILD 26** zeigt die Fraktur des Iliums im Bereich des Iliosakralgelenks. In **BILD 27** ist die Fraktur des Iliums außerhalb des Bereichs des Iliosakralgelenks zu sehen.

So traten von den sechs Verletzungen im Bereich des Iliosakralgelenks vier auf der stoßzugewandten Seite und zwei auf der stoßabgewandten Seite auf. Obwohl die Anzahl von Versuchen zu gering ist, um eine gültige Aussage treffen zu können, deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass Verletzungen der Beckenregion für Rekonstruktionszwecke weniger zuverlässig sind als beispielsweise Verletzungen des Kniegelenks. Verletzungen des Acetabulums¹⁴ des

biofidelen Dummys wurden ebenfalls häufig festgestellt. Nach [8] eignen sich diese Verletzungen jedoch weniger gut für die Unfallrekonstruktion. Dennoch stehen die Schäden am Acetabulum des Dummys in Einklang mit den von [8] beschriebenen Verletzungsmechanismen. Es wurden jedoch auch Knochensplitter am linken Acetabulum, also an der stoßabgewandten Seite, festgestellt.

Im Allgemeinen scheinen die Verletzungen der Beckenregion realistisch zu

sein und in Einklang mit den in Literatur aufgeführten Verletzungen zu stehen. Dennoch wurden viele Verletzungen an der linken Seite des biofidelen Dummys gefunden.

Nach [8] treten Verletzungen des Beckens jedoch eher an der stoßzugewandten Seite, also hier an der rechten Seite des Biofidel-Dummys auf. Um festzustellen, inwieweit das Design und die Konstruktion des biofidelen Dummys die Verletzungsmuster des Beckens

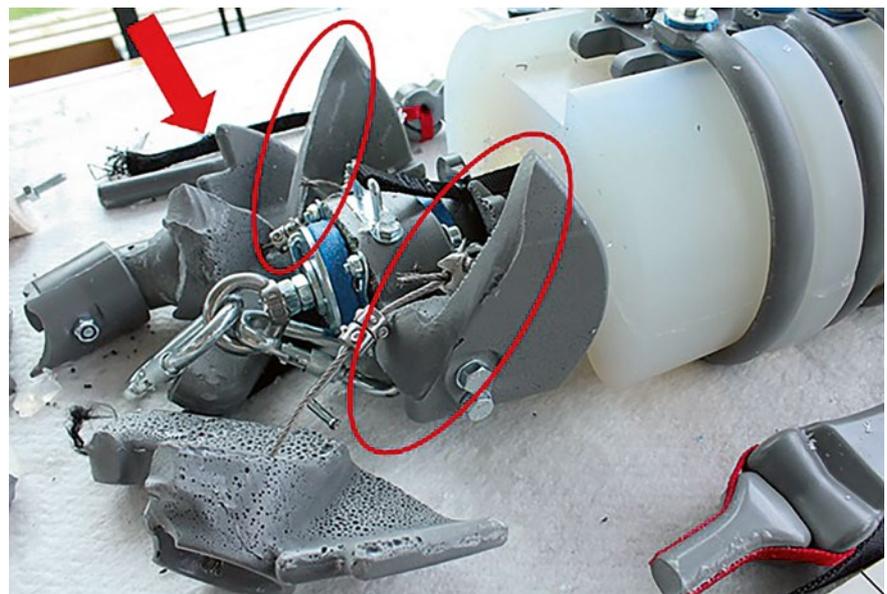


BILD 27: Fraktur des linken und rechten Iliums des Biofidel-Dummys aus Versuch wh18.23 (Roter Kreis: Ort der Fraktur; Roter Pfeil: Anprallrichtung)

FIGURE 27: Fracture of the left and right ilium of the Biofidelic dummy from test wh18.23 (Red circle: location of fracture; Red arrow: direction of impact)

¹⁴ Als Acetabulum, Hüftgelenk- oder Beckenpfanne, wird in der Anatomie der vom Becken gebildete knöcherne Anteil des Hüftgelenks bezeichnet.

beeinflussen, bedarf es weiterer Untersuchungen. Beim Menschen wird das Becken durch eine Vielzahl von Sehnen und Bänder gestützt, was in der Beckenregion des Dummys nicht der Fall ist.

4.6.5 Kopfverletzungen

Wie die Verletzungen des Knöchels, können auch die Kopfverletzungen bisher nicht analysiert werden. Dies liegt an der starren Bauweise des Dummy-Kopfs. Das neueste Design besteht aus einem Guss mit einem Hohlraum an der Schädelbasis. Innerhalb dieses rechteckigen Hohlraumes befindet sich die Halterung für die Wirbelsäule. Da diese Halterung mehr oder weniger ein starrer, rechteckiger Block ist, stützt diese den Schädel ab. So ist die Gesamtkonstruktion des Schädels so steif, dass dieser nicht bricht.

Ein Beispiel stellt der biofidele Dummy in Crashtest wh18.25 dar. Hier wurde der Dummy bei einer Kollisionsge-

schwindigkeit von 99 km/h getroffen und der Kopf schlug auf der A-Säule auf. Die einzige Verletzung des Dummys am Kopf kann als Riss des Latex beziehungsweise des Neoprenanzugs mit Abschürfungen des darunter liegenden Scheitelbeins beschrieben werden. In Wirklichkeit wäre der Schädel gebrochen, was zu schweren Verletzungen des Gehirns geführt hätte, die der Mensch höchstwahrscheinlich nicht überleben würde.

4.7 Vergleich mit Realunfällen

Wie auch bezüglich der Fahrzeugbeschädigungen wurden die Crashtests wh18.22 und wh18.26 mit denselben zwei Realunfällen mit Fußgängerbeteiligung verglichen.

Ohne jede Verletzung einzeln zu vergleichen, kann festgestellt werden, dass die Verletzungen des Biofidel-Dummys mit denen der Fußgänger weitestgehend übereinstimmen. Sowohl die Fußgänger als auch die Dummys

erlitten Verletzungen des Thorax, der Schulter- und Beckenregion sowie der unteren Extremitäten.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Fußgänger und die ATDs jeweils mit verschiedenen Fahrzeugen kollidierten. Darüber hinaus wirkt sich auch die individuelle Fitness eines Menschen auf seine biomechanische Eigenschaften aus, was die Variationen in den Verletzungsmustern erklärt. Die exakte Kinematik und Dynamik während des Aufpralls beeinflusst die Biomechanik zusätzlich und ein Crashtest wird diese niemals exakt nachbilden können.

Dennoch kann gefolgert werden, dass der biofidele Dummy bezüglich Frakturen ähnliche Verletzungen wie der Fußgänger erfährt. Bisher kann der biofidele Dummy aber keine Verletzungen von Weichgewebe oder Organen abbilden.

Das **BILD 28** zeigt die verschiedenen Verletzungs-Diagramme.

Unfallforschung Schadensanalyse Fahrzeugtechnik

Fundiertes Wissen von Experten für Experten

Für Abonnenten

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

Ihre Vorteile:

- 11 Ausgaben • Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Digitales Heftarchiv seit 1/2006 • Technische Datenblätter

www.VKUonline.de/abo

VKU

ist eine Marke von:
Springer Automotive Media

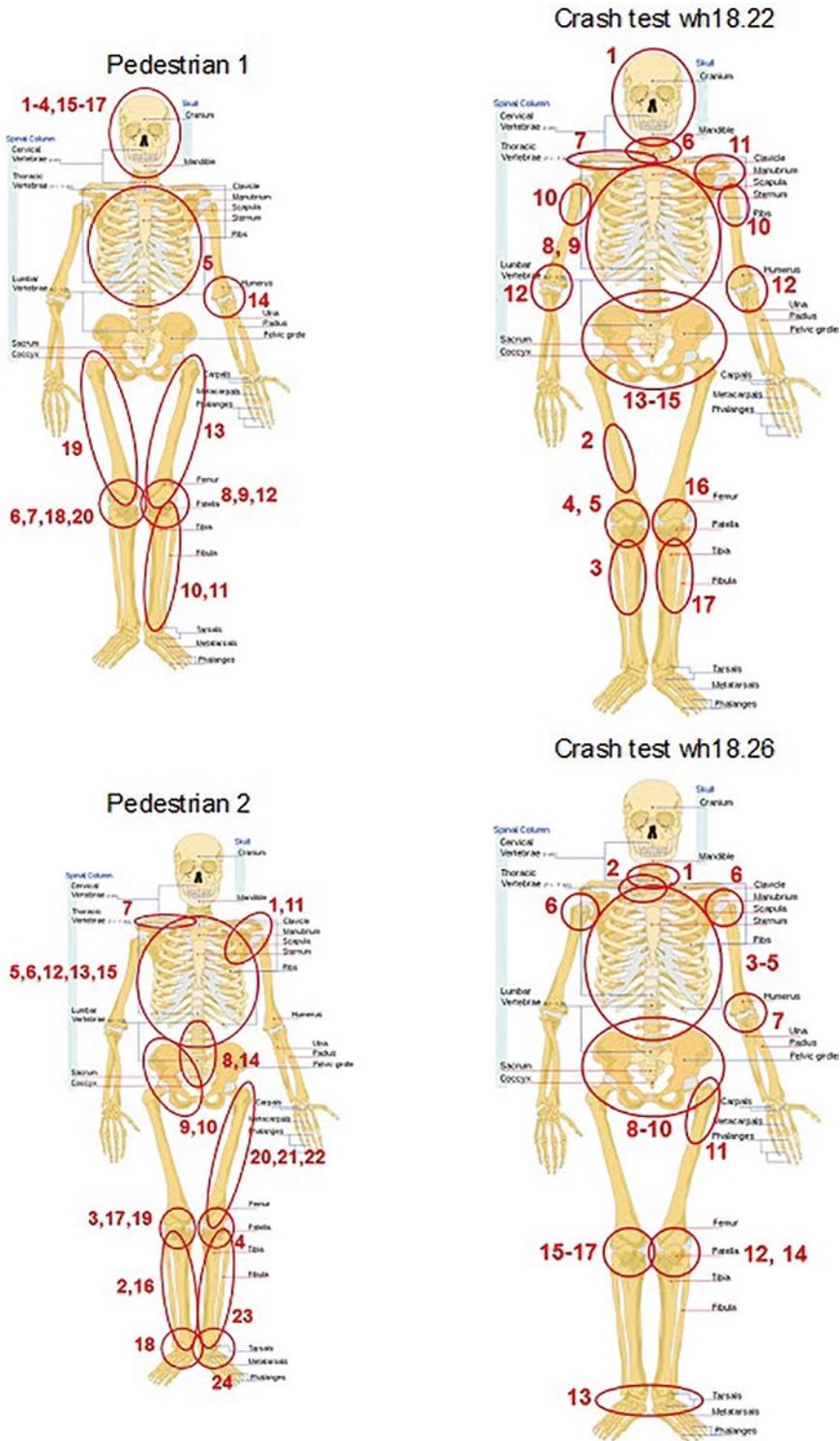


BILD 28: Vergleich der Verletzungen zwischen Fußgänger und Biofidel-Dummy
 FIGURE 28: Comparison of injuries between pedestrian and Biofidelic dummy

5 Einschränkungen

Während die repräsentativen Crashtests von DEKRA und der AXA Winterthur Versicherung mit dem biofidelen Dum-

my bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von circa 70 km/h und 100 km/h durchgeführt wurden, lag die Kollisionsgeschwindigkeit für die Crashtests mit dem Žilina-Dummy und den

PMHS-Versuchen bei circa 40 km/h. Ein direkter Vergleich ist aufgrund der unterschiedlichen Anstoßenergien nur bedingt möglich. Jedoch wurden bereits früher erfolgreich Crashtests sowohl mit dem Žilina- als auch mit dem Biofidel-Dummy bei Kollisionsgeschwindigkeiten von circa 40 km/h bis 70 km/h durchgeführt. Dennoch wurden verschiedene Fahrzeuge verwendet, was ebenfalls einen Einfluss auf die Dynamik und Kinematik des Dummies oder des PHMS nimmt.

Da die Punkte für die Videoanalyse mittels des Programms Falcon manuell festgelegt wurden, unterliegt die Bestimmung der Trajektorien und Anstoßfaktoren geringen Fehlern. Allerdings wurde jeder Wert dreimal berechnet und der Durchschnitt verwendet, um die Ungenauigkeiten so weit wie möglich zu minimieren.

Außerdem kann der biofidele Dummy nur Frakturen, aber keine Verletzungen von Weichgewebe oder Organen abbilden.

6 Fazit

Der Biofidel-Dummy weist bereits ein hohes Maß an Biofidelität auf. Seine Trajektorien sind mit denen von PMHS vergleichbar und dieser ATD erzeugt realistische Fahrzeugbeschädigungen. Dies ermöglicht eine präzisere Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit. Die erhaltenen Anstoßfaktoren sind ebenfalls plausibel und die Abweichungen zum Žilina-Dummy hierbei minimal. Es kann gefolgert werden, dass die derzeitige Methode zur Bestimmung des geometrischen Anstoßfaktors basierend auf dem Žilina-Dummy noch immer gültig ist und weiterhin angewendet werden kann. Diese Methode sollte nur überarbeitet werden, um die Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern. Dies bedarf jedoch weiterer Untersuchungen.

Die mit dem biofidelen Dummy erhaltenen Wurfweiten sind plausibel. Das einzigartige Merkmal des Biofidel-Dummies ist die Möglichkeit, Verletzungen abzubilden, die ein Fußgänger bei einem Fußgänger-Fahrzeug-Unfall ähnlicher Schwere erleiden würde. Die

Verletzungen des Dummies weisen, besonders bezüglich der Kniegelenke, große Ähnlichkeiten mit Verletzungen von Fußgängern auf. So ermöglicht der biofidele Dummy den Gutachtern, einen Fußgänger-Fahrzeug-Unfall zu rekonstruieren und realistische Fahrzeugschäden, Wurfweiten und Verletzungen zu ermitteln. Dies eröffnet dem Feld der Unfallrekonstruktion neue Möglichkeiten.

Der Biofidel-Dummy wurde mittlerweile an einigen Stellen überarbeitet. So verfügt dieser über einen neu gestalteten Brustkorb und eine menschenähnlichere Wirbelsäule, wobei diese Bauteile im vorliegenden Paper nicht thematisiert wurden. Ferner wurde inzwischen das Fußgelenk neu konstruiert, verfügt nun über eine Art Kugelgelenk und sämtliche Bauteile sind aus

dem Knochenmaterial gefertigt. Früher war der Fuß aus Gummi gegossen und mit dem Unterschenkelknochen verschraubt. Deshalb könnte die neueste Version Beschädigungen in diesem Bereich erfahren, was aber noch zu untersuchen ist.

Der Kopf ist in der neuesten Entwicklungsstufe ebenfalls aus dem Knochenmaterial gefertigt und kann brechen. Dies ist noch widersprüchlich zur Aussage in diesem Aufsatz. Allerdings schreitet die Entwicklung voran und die Versuche wurden noch mit der damaligen Bauweise des Kopfes durchgeführt.

Solange die mechanischen Belastungsparameter auf zertifizierte Weise ermittelt werden müssen, ist der Einsatz von hochentwickelten Dummies wie Hybrid-III-, THOR- und POLAR-Dummy unabdingbar.

The biomechanical validation of a new biofidelity dummy part 2

In order to achieve the most realistic results possible in the reconstruction of pedestrian-vehicle accidents, a new biofidelity dummy was developed. The aim of the work presented here was the biomechanical validation of the biofidel properties of this crash test dummy, also called Anthropomorphic Test Device (ATD). For this purpose, nine crash tests were carried out with the Biofidel dummy. The test results were compared with four previous crash tests with the Žilina dummy, with cadaver tests and 21 real accidents.

The trajectories of both ATDs were calculated and compared with those of the cadaver tests, and it was found that much more realistic results could be obtained with the Biofidel dummy than with the Žilina dummy. The damage to the vehicle fronts caused by the two dummies and in real accidents was compared, as realistic damage is very important for accident reconstruction. It could be shown that the damage caused by the Biofidel dummy to the vehicle is very similar to the damage that would be caused by a pedestrian in a real accident of approximately the same severity. The Žilina dummy, on the other hand, produces much greater damage to the vehicle, which could lead to the expert assuming a collision speed that is too low in the accident reconstruction.

The impact factor, i. e. the ratio of the maximum pedestrian speed reached by the impact to the collision speed, was calculated for both ATDs, with similar results being obtained here with both dummies. When calculating the dynamic, time-dependent impact factor, however, differences in the kinematics and dynamics of the two dummies were found.

The throw distances of the two dummies were compared with throw distance diagrams, which were created with the help of data from crash tests with the Žilina dummy and from well-documented real accidents by DEKRA. The throw distances achieved with the Biofidel dummy are plausible according to this diagram.

Finally, the damage to the Biofidel dummy itself was analysed and transferred to injuries on the human body. These 'injuries' of the Biofidel dummy were compared with the injuries of pedestrians involved in real accidents, focusing here on five specific injuries that can be used for accident reconstruction. In general, the 'injuries' of the biofidel dummy were comparable to those of the pedestrians.

Literaturhinweise

- [1] M. Knape, „Weiterentwicklung eines biofidelen Fußgänger-Dummys zur realistischen Schadenerzeugung an Fahrzeugen bei experimentellen Simulationen von Pkw / Fußgänger-kollisionen“, Technische Universität Berlin (Masterarbeit), 2016.
- [2] E. Kolla, T. Korbel, L. Imrich, T. Kubjatko und L. Mackovicová, „Correlation „impact velocity-specific pedestrian injuries“ for reconstruction of pedestrian accidents“, Proceedings of the 26th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis, 213–224., 2017.
- [3] D. Subit, J. Kerrigan, J. Crandall, K. Fukuyama, K. Yamazaki, K. Kamiji und T. Yasuki, „Pedestrian-Vehicle Interaction: Kinematics and Injury Analysis of four full-scale Tests“, Proceedings of the 2008 IRCOBI Conference – Bern (Switzerland), 2008.
- [4] J. R. Kerrigan, D. B. Murphy, D. C. Drinkwater, C. Y. Kam, D. Bose und J. Crandall, „Kinematic Corridors for PMHS tested in full-scale Pedestrian Impact Tests“, University of Virginia Center for Applied Biomechanics, 2005.
- [5] A. Schäuble, „Analysis of Pedestrian Accidents – Correlations between Collision Parameters, Vehicle Damages and Pedestrian Injuries“, Vienna University of Technology & DEKRA (Project report), 2018.
- [6] S. Hartwig, „Personenschäden im Straßenverkehr: Unfallanalyse, Medizin und Recht“, (W. H. M. Castro, M. Becke & M. Nugel, Eds.): C. H. Beck, 2016.
- [7] G. Teresinski und R. Madro, „Knee joint injuries as a reconstructive factors in car-to-pedestrian accidents“, Forensic Science International, 124, 74–82, 2001.
- [8] G. Teresinski und R. Madro, „Pelvis and hip joint injuries as a reconstructive factors in car-to pedestrian accidents, Forensic Science International“, 124, 68–73, 2001.

*** Autoren**

*Dipl.-Ing. MEng. Andreas Schäuble arbeitet in der Unfallforschung der DEKRA Automobil GmbH in Stuttgart.
Dipl.-Ing. Dr. Michael Weyde ist ö. b. u. v. für Straßenverkehrsunfälle mit eigenem Sachverständigenbüro in Berlin. ::*