

# FORSCHUNG KOMPAKT

FORSCHUNG KOMPAKT  
4. Oktober 2022 || Seite 1 | 5

Sicherheit für die Mobilität der Zukunft

## Crashtest-Dummy auf dem E-Scooter

**Sie sind praktisch, enorm flexibel und versprechen umweltfreundliche Mobilität. Immer mehr Menschen nutzen einen E-Scooter im Stadtverkehr. Dabei häuften sich auch die Unfälle mit schweren Verletzungen. Das Risiko, das mit den schnellen Flitzern verbunden ist, wird vielfach unterschätzt. Nun haben Fraunhofer-Forschende im Projekt »HUMAD« ein typisches Unfallszenario und die damit einhergehenden Verletzungen untersucht. Dabei haben die Expertinnen und Experten auch neuartige Werkstoffe für Helme und Protektoren getestet. Diese könnten viel besser als herkömmliche Produkte schützen.**

Die Zukunft der Mobilität kündigt sich schon heute an. Eine ganze Reihe neuer Fahrzeugtypen wie E-Bikes, Lastenfahräder, Elektroroller oder E-Scooter flitzen durch unsere Großstädte. Damit eröffnen sich neue Chancen für die flexible und gleichzeitig umweltfreundliche Mobilität – aber auch neue Gefahren und Unfallrisiken.

Deutlich sichtbar werden diese Gefahren an den E-Scootern oder »Elektrokleinstfahrzeugen«, so die offizielle Bezeichnung. Zahlen des Statistischen Bundesamts belegen das eindrücklich. So gab es 2020 in Deutschland insgesamt 2155 Unfälle mit E-Scootern. Fünf Menschen kamen dabei ums Leben, 386 wurden schwer verletzt. Bei 75 Prozent dieser Unfälle galten der E-Scooter-Fahrer oder die -Fahrerin als Hauptverantwortliche. Besonders häufig waren Unfälle, bei denen die Fahrer die Kontrolle über ihr Fahrzeug verloren. Ursachen sind oft überhöhte Geschwindigkeit oder Fahren in falscher Richtung. Oftmals ist auch Alkohol im Spiel.

### Crashtests und Simulationen

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI sowie für Werkstoffmechanik IWM, beide aus Freiburg, haben im Forschungsprojekt »HUMAD« (Human Accident Dynamics) eine Untersuchung zur Crashesicherheit der E-Scooter gestartet. Ziel war, den Verlauf typischer Unfälle zu untersuchen, das damit verbundene Verletzungsrisiko zu bestimmen und gleichzeitig Schutzausrüstung wie Helme oder Protektoren auf ihre Eignung zu untersuchen. Das Fraunhofer EMI übernahm die Crashtests, das Team am Fraunhofer IWM die Untersuchung der Schutzausrüstung. Beide Institute verfügen über langjährige Erfahrung in der Unfallforschung.

Dr. Matthias Boljen, Leiter der Forschungsgruppe »Human Body Dynamics« am Fraunhofer EMI, und sein Team haben sich am Beispiel der Kollision mit einer Bordsteinkante auf eine besonders häufig vorkommenden E-Scooter-Unfallart konzentriert: den Unfall ohne Beteiligung eines anderen Verkehrsteilnehmers.

---

#### Kontakt

**Thomas Eck** | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de)

**Dr. Kilian Krebs** | Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI | Leitung Kommunikation | Telefon +49 761 2714-108  
Ernst-Zermelo-Straße 4 | 79104 Freiburg | [www.emi.fraunhofer.de](http://www.emi.fraunhofer.de) | [kilian.krebs@emi.fraunhofer.de](mailto:kilian.krebs@emi.fraunhofer.de)

**Thomas Götz** | Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM | Telefon +49 761 5142-153 | Wöhlerstraße 11 | 79108 Freiburg  
[www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de) | [thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de](mailto:thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de)

»Wir haben dazu ebenso wie bei den Crashtests der Autoindustrie mit einem Crashtest-Dummy gearbeitet. Der Dummy wurde auf das nachgebaute Modell eines E-Scooters gestellt und in einem Winkel von 60 bzw. 90° mit Geschwindigkeiten von 10, 20 und 30 km/h gegen eine Kante gesteuert«, erklärt Boljen. Hochgeschwindigkeitskameras im Test zeigen, wie der Körper über den Lenker fliegt, in die Höhe katapultiert wird und je nach Aufprallgeschwindigkeit mehrere Meter weit fliegt, bevor er auf den Boden prallt. Beim ungebremsten Sturz auf den Asphalt können insbesondere am Kopf schwere Verletzungen auftreten. »Allein das Betrachten der Videos bei der Auswertung ist schon schmerzhaft«, meint Boljen. Auch die Knie sind verletzungsgefährdet.

---

**FORSCHUNG KOMPAKT**4. Oktober 2022 || Seite 2 | 5

---

**Variation der Geschwindigkeit und des Kollisionswinkels**

Parallel zu den Crashtests haben Boljen und sein Team das gleiche Unfallszenario auch in Finite-Elemente-Simulationen analysiert. Dazu wurden E-Scooter und Mensch digital nachgebildet und die physikalischen Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie sowie die Materialgesetze für Fahrzeug und Menschmodell hinterlegt. In der Auswertung zeigt die Simulations-Software an, welche Beschleunigungskräfte auf Kopf und Knie einwirken. Aus diesen Werten wiederum können die Expertinnen und Experten bestimmen, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Verletzungen an Kopf oder Knie auftreten. »Sowohl die Crashversuche mit dem Dummy als auch die numerischen Simulationen mit dem Menschmodell führten beide zum selben Ergebnis«, erklärt Boljen. Selbst bei einer scheinbar niedrigen Geschwindigkeit von nur 10 km/h entfesselt ein Aufprall im 90°-Winkel enorme Beschleunigungen von 170 g auf den menschlichen Körper.

Das Tragen von Protektoren und eines Helms ist daher unbedingt zu empfehlen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen sinkt. »Allerdings kann kein Helm die auf das Gehirn einwirkenden Belastungen grundsätzlich verhindern, lediglich bestimmte Anteile davon reduzieren. Das Risiko, Schädel-Hirn-Traumata zu erleiden, besteht strenggenommen unabhängig davon, ob der oder die FahrerIn einen Helm trägt oder nicht«, erläutert Boljen.

**Forschungsbedarf bei Helmen und Protektoren**

Die Forschenden fanden auch heraus, dass die in der Simulation gemessene Aufprallgeschwindigkeit des Kopfes die maximale Impaktorgeschwindigkeit von 5,4 Metern pro Sekunde überschreitet, die für die Abnahme von Fahrradhelmen durch die Prüfnorm DIN EN 1078 vorgeschrieben ist. Anders ausgedrückt: Handelsübliche Fahrradhelme und Protektoren mildern die Sturzfolgen, bieten aber keinen vollständigen Schutz beim Zusammenprall mit harten Objekten. Hier kommt die Expertise der Forschenden am Fraunhofer IWM ins Spiel. Seit mehr als 50 Jahren analysieren sie Werkstoffe und bewerten deren Eignung für bestimmte Anwendungen. Sie nutzen dabei auch Crashtests oder erproben mechanische Einwirkungen auf Materialien. Im Projekt HUMAD haben sie die Eignung und Schutzwirkung neuer Werkstoffe untersucht.

**Innovative Schutzkonzepte aus der Bionik**

Dr. Jörg Lienhard, verantwortlich für Leichtbau-Engineering im Geschäftsfeld Bauteilsicherheit und Leichtbau erklärt: »Protektoren nutzen oftmals Kunststoffe mit einer Wabenstruktur (Honeycomb). Unsere Tests im Labor zeigen, dass Materialien mit der

---

sogenannten TPMS-Struktur (Triply Periodic Minimal Surface) deutlich besser vor kinetischen Einwirkungen schützen.« Die TPMS-Struktur ist erkennbar an der sich wiederholenden »luftigen« offenen Struktur. Diese Struktur ist besonders gut darin, die kinetische Energie von Schlägen über die Fläche zu verteilen. So schwächt sie den Druck auf einzelne Stellen ab. Das Konzept stammt aus der Bionik, ist also der Natur abgeschaut. Chitin-Panzer von Insekten etwa weisen eine solche Struktur auf.

Gefertigt werden könnten TPMS-Helme und -Protektoren im 3D-Druck mit allen denkbaren Materialien. Für die Herstellung von Kunststoffstrukturen eignet sich nach Einschätzung von Fraunhofer-Experte Lienhard neben dem FDM-Verfahren (Fused Deposition Modelling) für Thermoplaste und der klassischen Stereolithographie das DLP-Verfahren (Direkt Light Processing) für größere Stückzahlen besonders gut. »Ähnlich wie bei der Stereolithographie wird das Werkstück Schicht für Schicht aufgebaut. Im Gegensatz dazu arbeitet DLP jedoch mit UV-Licht, das von einem Projektor erzeugt wird und so eine ganze Schicht auf einmal aushärtet. Mehrere Schichten übereinander geben dem Werkstoff seine gewünschte Form und Struktur. Durch die Bestrahlung härtet das Material aus. An den nicht belichteten Stellen fließt das Material einfach ab und hinterlässt auf diese Weise die für TPMS-Materialien typischen Hohlräume.

Die 3D-Druck-Verfahren sind sehr flexibel und ermöglichen es, sicherheitsrelevante Komponenten oder auch Fahrzeugteile individuell für die jeweilige Anwendung und ihr typisches Gefahrenprofil herzustellen, mittels DLP nun auch in größeren Stückzahlen.

Fazit des Projekts HUMAD: E-Scooter bieten aufgrund ihres geringen Platzbedarfs und ihrer Flexibilität ein hohes Maß an umweltfreundlicher Mobilität in der Stadt. Man sollte sie jedoch ebenso vorsichtig und konzentriert steuern wie ein Auto und nach Möglichkeit immer einen Helm und Protektoren für die Knie tragen. Für die Zukunft der Mobilität in der Großstadt hoffen die Fraunhofer-Forschenden, dass Schutzausrüstung wie Helme oder Knieschützer und spezifische leichte Crashabsorber verfügbar werden, die speziell für bestimmte Fahrzeuge und Anwendungsszenarien angepasst sind.

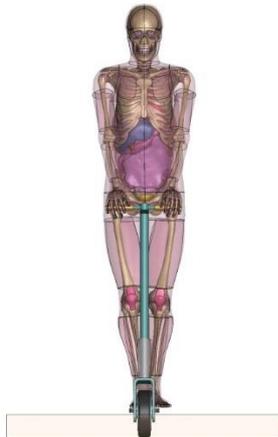
Die Fraunhofer-Experten planen bereits die nächste Phase der Crashtests und Simulationen. Dabei sollen auch die möglichen Reflexbewegungen des Menschen bei einem Unfall und ihre Folgen für das Verletzungsrisiko einbezogen werden.



**Abb. 1** Beim Crashtest werden E-Scooter und Dummy mit 10, 20 und 30 km/h gegen eine Kante gesteuert. Bereits bei 10 km/h ist das Verletzungsrisiko erheblich.

© Fraunhofer EMI

-----  
**FORSCHUNG KOMPAKT**  
4. Oktober 2022 || Seite 4 | 5  
-----



**Abb. 2** In der Simulation wird das Menschmodell auf dem Modell des Scooters platziert. Insgesamt kommen mehr als 1,5 Millionen Elemente zum Einsatz, um das Unfallszenario in der Simulation detailliert nachzubilden.

© Fraunhofer EMI



**Abb. 3** Der Moment kurz nach dem Aufprall in der Simulation. Das Menschmodell wird über den Lenker in die Luft katapultiert.

© Fraunhofer EMI



**Abb. 4 Redesign eines Knieprotektors. Bei einem Aufprall verteilt die TPMS-Struktur die Energie über die ganze Fläche und entfaltet daher eine bessere Schutzwirkung als Protektoren mit Wabenstruktur oder mit dämpfendem Schaum.**

© Fraunhofer IWM

-----  
**FORSCHUNG KOMPAKT**

4. Oktober 2022 || Seite 5 | 5  
-----