

# Entwicklung einer tragbaren persönlichen Schutzausrüstung gegen Absturz – „Scaffbag“

M.Sc. Gesine Köppe, Jan Jordan, Dr. Yves-Simon Gloy und Prof. Thomas Gries, Aachen; Michael Lehnert, Gottfrieding; Dr. Hyo-Dae Kim, Gumi (Südkorea); Michael Min, Daegu (Südkorea)

Am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University wird in Kooperation mit der ABS Peter Aschauer GmbH und zwei südkoreanischen Partnern ein tragbarer Airbag entwickelt, mit dem kritische Verletzungen aufgrund von Stürzen aus 2–5 m Höhe verhindert werden sollen. Die südkoreanischen Partner sind der Hersteller von Airbaggeweben Saenal Tech-Tex Co., Ltd., und das Forschungsinstitut für Beschichtungstechnologie Dyetec Korea Dyeing&Finishing Technology Institute. Der Airbag soll vor allem dort angewendet werden, wo herkömmliche Absturzsicherungen nicht einsatzfähig sind. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der ersten deutsch-koreanischen Ausschreibung des Förderprogrammes „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“. Projektträger auf deutscher Seite ist die AiF Projekt GmbH Berlin.

Sicherheitstechnik spielt insbesondere in der Baubranche eine essentielle Rolle. Zur Vermeidung von Stürzen von Gerüsten und Leitern existieren Sicherheitsrichtlinien und Sicherungssysteme. In Höhen von 2–5 m treten dennoch häufig Stürze mit teils schweren Verletzungsfolgen auf. Grund dafür ist, dass viele Sicherungssysteme erst ab Höhen von 2,5 m wirksam sind und einer Beteiligungsmöglichkeit bedürfen.

Ziel des Projekts ist daher die Entwicklung einer persönlichen Schutzausrüstung, mittels derer Sturzschäden aus 2–5 m Höhe effektiv vermindert werden und welches die Bewegungsfreiheit des Arbeiters gewährleistet. Dazu wird ein tragbares Airbagsystem mit sensorbasierter Befüllung entwickelt. Das Airbagtextil ist eine einschrittig gewebte (one-piece-woven) Struktur komplexer Geometrie. Durch Vermeidung von Nähten weist das Airbagtextil eine erhöhte Berstfestigkeit bei reduzierter Masse auf.

Laut Unfalldaten der BG BAU wurden im Jahr 2012 mehr als 26.828 Unfälle auf baulichen Einrichtungen in der Höhe gemeldet. Die meisten Unfälle führen zu Verletzungen der Extremitäten (65 %). An zweiter Stelle, mit 35 %, treten Verletzungen des Halses, der Wirbelsäule und des Rumpfes auf. 49 % der gemeldeten Abstürze von Gerüsten wurden als Prellungen und Zerrungen, 24 % wurden als Frakturen gemeldet [1]. Die Gesamtausgaben für Unfallschädigungen betragen im Jahr 2014 ca. 1,5 Mrd. € [2].

Um solchen Verletzungen vorzubeugen ist es Pflicht, persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) zu tragen. Bisherige, auf dem Markt käufliche Schutzsysteme bestehen i.d.R. aus einer Körperhaltevorrückung und einem Befestigungssystem. Diese Systeme sind wirksam ab

einer Arbeitshöhe von 3 m und nur dort, wo eine stabile Befestigung möglich ist. Mögliche Einsatzorte sind Gerüste, Dächer und Gittermasten. Für Arbeiten auf freistehenden Erhöhungen wie Treppen oder Leitern gibt es kaum Möglichkeiten der Befestigung der PSA. Auf Leitern beispielsweise ist ein portables Schutzsystem nötig.

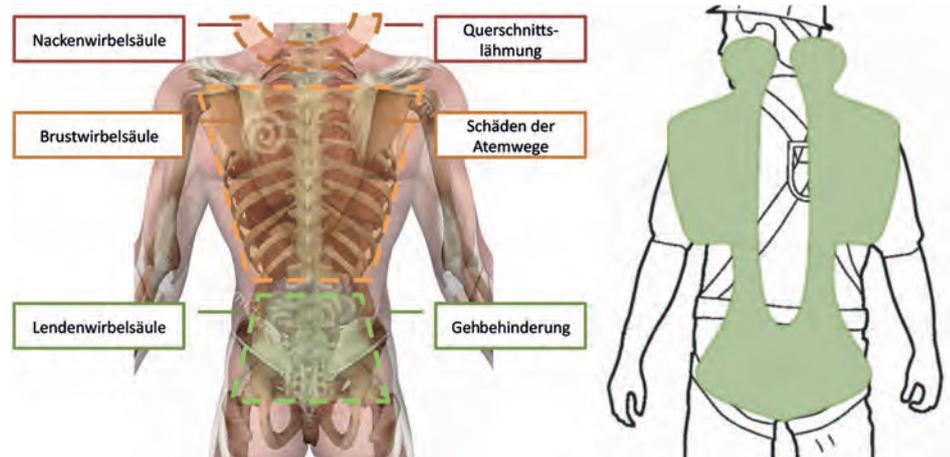
Zweck des Airbag-Systems ist es, Schäden durch Stürze derart zu kompensieren, dass irreparable Schädigungen des Anwenders vermieden werden. Aus der Literatur können zwei Charakteristika zur Bewertung der Erträglichkeit eines Aufpralls entnommen werden. Diese Charakteristika sind die erträgliche Bremsbeschleunigung  $a_{3ms}$  und das Head Injury Criterion (HIC). Mit dem Wert  $a_{3ms}$  wird die negative Beschleunigung bezeichnet, die in einem Zeitraum von 3 ms (Millisekunden) auf den menschlichen Körper ausgeübt werden kann, so dass mit 99 % Wahrscheinlichkeit irreversible Schäden vermieden werden. Der Wert HIC berechnet sich entsprechend folgender Formel:

$$HIC = \left\{ \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} * (t_2 - t_1) \right\} \quad (1)$$

Für den Wert wird durch den Gesetzgeber eine Obergrenze von 80 g bei einem Kopfaufprall gefordert. In vorliegender Entwicklung wird jedoch eine Obergrenze von 40 g (das 40-fache der Erdbeschleunigung) angestrebt. 40 g entspricht der Belastung, bei der zu 99 % Wahrscheinlichkeit lediglich reversible Schädigungen hervorgerufen werden. Dementsprechend gilt ein HIC-Wert unterhalb von 1.000 für eine Einwirkdauer von 36 ms empirischen Ermittlungen zufolge als Grenzwert für die Erträglichkeit eines Aufpralls [3].

Die Form des Airbags wurde entwickelt, um die Wirbelsäule zu schützen. In Gesprächen mit medizinischen Experten ist analysiert worden, welche Körperregionen bei einem Sturz besonders betroffen sind. Daraus resultierend entstand die Airbagform. Abbildung 1 zeigt die menschliche Wirbelsäule, Auswirkungen der Schäden und die daraus resultierende Airbag-Form.

Abb. 1: Die Wirbelsäule und die daraus abgeleitete Airbagform



Die menschliche Wirbelsäule kann in drei Teile getrennt werden. Der unterste Teil, die Lendenwirbelsäule, umfasst die Wirbel unterhalb der Rippen. Schäden in diesem Bereich können eine Gehbehinderung verursachen. Der mittlere Teil der Wirbelsäule, die Brustwirbelsäule, enthält alle Wirbel im Gebiet um die Brustwirbel. Schäden in dieser Region können Erkrankungen der Atemwege verursachen. Schäden der Nackenwirbel können zur Querschnittslähmung oder zum Tod führen [4]. Um jede dieser Regionen optimal zu schützen, wurde eine komplexe Airbaggeometrie entwickelt. Beim Aufblasen der Airbags entstehen unterschiedlich große Kissen, die die Belastung der Wirbelsäule beim Sturz abfedern.

Das Gewebe wurde auf einem Jacquard-Webstuhl (Lindauer DORNIER GmbH) mit mehr als 9.868 Fäden und einer Breite von 2.800 mm gewebt. Jeder der Fäden kann separat angesteuert werden, so dass eine komplexe Airbaggeometrie entsteht. Der Prototyp ist in Abbildung 2 dargestellt.

Das Airbag-Kissen ist mit Luft gefüllt und an einem Dummy drapiert. Die Geometrie des Airbags bewirkt eine präzise Anpassung an die Körperform. Alle wichtigen Schutzgebiete werden von dem Kissen abgedeckt. In Abbildung 3 ist das Gewebe im Querschnitt dargestellt.

Das Textil wird aufblasbar, indem partiell einlagige und mehrlagige Bereiche entstehen. Die einlagigen Bereiche umschließen die mehrlagigen Bereiche, so dass Hohlräume entstehen. Diese Hohlräume können nachher mit Luft befüllt werden. Der Airbag bedarf also keiner Konfektion und Fügung.

Zur Gewährleistung einer erträglichen Beschleunigung muss ein ausreichender Deformationsweg gewährleistet werden, um die Absorption der Aufprallenergie zu ermöglichen. Für einen Sturz aus 5 m Höhe muss das befüllte Textil demnach eine Dicke von mindestens 12,5 cm aufweisen.

Abb. 3: Schnittdarstellung des Mehrlagengewebes

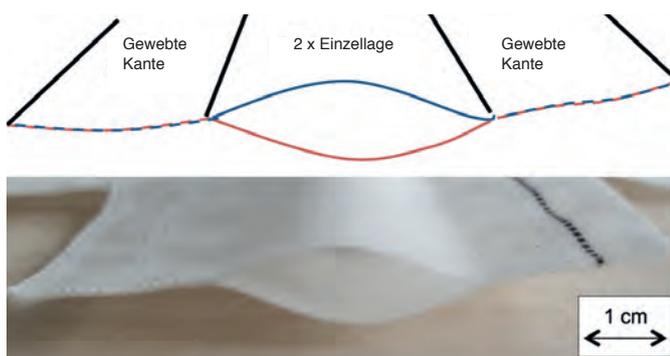


Abb. 2: 3D-One-piece-woven Airbag, (v. l. n. r.) Rück-, Seiten- und Frontansicht

Die Sequenz zur Befüllung des Airbags gliedert sich in folgende Schritte:

- Sensorische Erfassung eines Sturzes,
- Senden eines Auslösesignals,
- Mechanisches Auslösen der Befüllung.

### Wirkmechanismus

Der Vorgang der Befüllung des Airbags ist jedoch stark vom Gesamtvolumen des Airbagtextils und des benötigten Innendruckes des Airbags zum Zeitpunkt des Aufpralls abhängig. Das Konzept basiert auf dem bei der Firma ABS Peter Aschauer GmbH bekannten Befüllen aus einer Hochdruckgasflasche. Gibt die Auslöselektronik ein Signal an das Befüllungssystem, so wird mittels eines Zündfunken eine Treibladung entzündet. Der Explosionsdruck treibt dann einen Kolben mit einer Anstechnadel an. Die Nadel durchstößt ein Metallblättchen an der Verschlusskappe der CO<sub>2</sub>-Flasche, worauf aus der Hochdruckflasche das Gas ausströmt, den Kolben zurückdrückt und das Gas explosionsartig in die Pneumatikschläuche expandiert. Das Gesamtvolumen muss, bei entsprechendem Überdruck, in einem Zeitfenster von < 0,1 s zur Verfügung stehen. Um dieses Zeitfenster zu erreichen, beruht die Auslösung und Aktivierung auf Pyro-

technik und einer speziellen strömungsdynamischen Auslegung der Bauteile. Zur Ermittlung dieser Anforderungen wurden Versuche durchgeführt, in denen ein Sturz aus bis zu 5 m Höhe abgebildet wird [5]. Um diese Eigenschaften zu testen, wurde ein Fallturm auf dem Gelände des Unternehmens in Gottfrieding aufgestellt (Abb. 4).

Der Fallturm ist mittels einer Verankerung an der Spitze des Turmes mit den Trägern der Hallenkonstruktion verbunden und auf Antivibrationsmatten gestellt, um Vibrationen zu dämpfen. Ein 100 kg schwerer Testkörper (Stahlplatte), der quasi reibungsfrei auf Führungsschienen gelagert ist, dient als Target, um den Aufschlag auf dem Textil zu messen. Der Testkörper wird mit Hilfe eines Krans auf die Ausgangshöhe gehoben und dann durch einen druckluftgesteuerten Ausklinkmechanismus vom Kranhaken gelöst.

Die Bewegung des Testkörpers im freien Fall und das Abbremsen auf dem Kissen wird durch einen Distanzsensord der Fa. Pepperl & Fuchs GmbH, Mannheim, mit 1.000 Hz gemessen. Mit Hilfe einer High-Speed-Kamera wird der Einschlag der Stahlplatte und die Dämpfung des Airbags dokumentiert [5]. Abbildung 5 zeigt die Dämpfung des Airbagkissens.

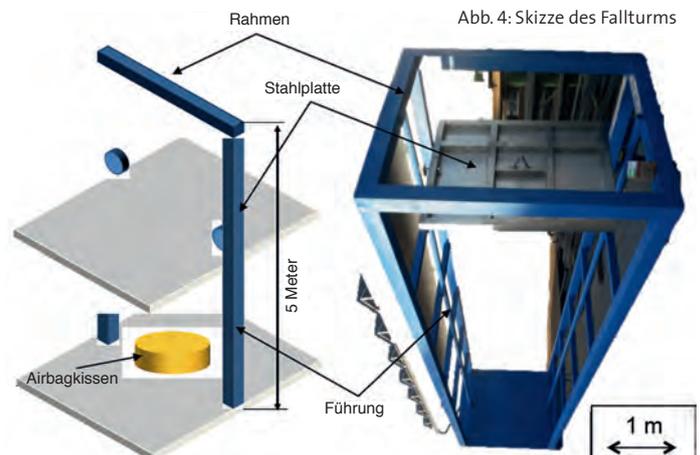


Abb. 4: Skizze des Fallturms

## LADUNGSSICHERUNG auf Straßenfahrzeugen

**NEU!**



**Schulungsunterlagen  
zur Aus- und Weiter-  
bildung** von Fachkräften  
für die Ladungssicherung  
und **Basisinformationen** für  
Unternehmer/Verantwortliche.

Ausführliche Informationen auf  
[www.resch-verlag.com](http://www.resch-verlag.com).

**Ferner Schulungsunterlagen für:**

- Staplerfahrer/Flurförderzeugführer
- Kranführer aller Kranarten
- Anschläger von Lasten
- Bediener von Hubarbeitsbühnen
- Erdbaumaschinenführer
- Motorsägenführer

**RESCH**

*Partner für  
qualifizierte Ausbilder.*

Resch-Verlag, Dr. Ingo Resch GmbH,  
Maria-Eich-Straße 77, D-82166 Gräfelfing

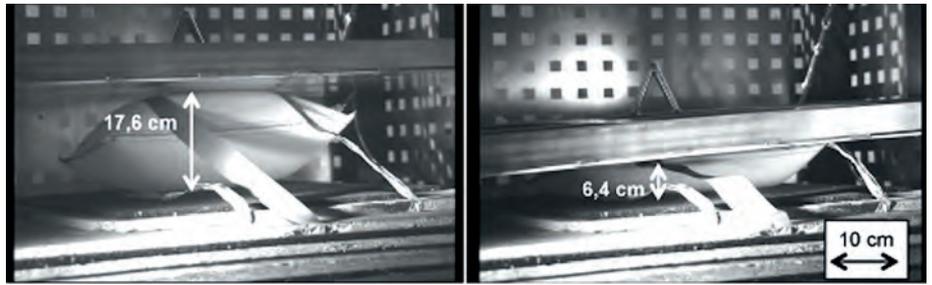


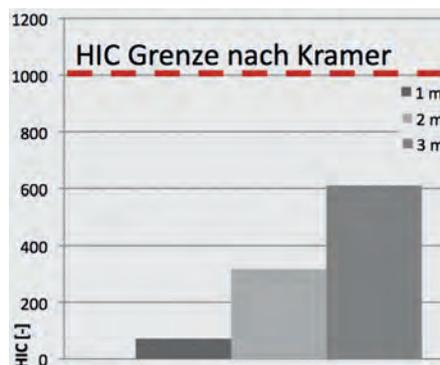
Abb. 5: High Speed Videoaufnahmen des Falltests

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Platte durch den Airbag abgefedert und ein Durchschlagen auf den Boden verhindert wird. Dies ist eine unerlässliche Voraussetzung für die bevorstehende Prüfung an einem Prüftorso. Die Messung des HIC-Wertes beruht auf der Pulsweitenverschiebung von Laserimpulsen. Aus dem Ort wird mittels Differentiation die Geschwindigkeit und Bremsbeschleunigung errechnet. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse des Sturzes aus 3 m Höhe dargestellt.

Die Messergebnisse liegen deutlich unter der Grenze von 1.000. Neben der HIC-Grenze müssen die Verhinderung eines Durchschlagens und Abprallens vom Boden gewährleistet sein. Dazu müssen der Überdruck im Airbag, die Dichtigkeit und Elastizität des Gewebes genau aufeinander abgestimmt sein. Mit Prüfung der Luftdurchlässigkeit, der Kraft-Dehnungskurve und der Nahtfestigkeit wird nachgewiesen, dass die Parameter korrekt aufeinander eingestellt sind.

Das Projekt „Scaffbag“ endet im November 2016. Als Ergebnis wird ein sensorbasiertes Airbag-System vorliegen, mit dem Stürze aus bis zu 5 m Höhe derart kompensiert werden können, dass kritische Verletzungen verhindert werden. Bei dem Airbagsystem handelt es sich um eine neuartige PSA, zu der noch kein Zertifizierungsrahmen besteht. Derzeit werden die nötigen Maßnahmen vorbereitet, um eine Zertifizierung für ausgewählte Anwendungsbereiche zu ermöglichen, so

Abb. 6: Ergebnisse der HIC Berechnung bei 0,4 bar Überdruck



dass eine Markteinführung der Airbag-Systeme zu Beginn des Jahres 2017 möglich wird. Das Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University begleitet den Projektpartner ABS Peter Aschauer GmbH auf dem Weg zur Zertifizierung und unterstützt in der Planung der notwendigen Maßnahmen zur Markteinführung.

Das vorliegende Airbag-Projekt ist eines der Beispiele für erfolgreiche Projekte zur Entwicklung von PSA am ITA. Auch in Zukunft wird man am ITA die erlangten Kompetenzen in weiteren Sachgebieten der PSA ausbauen, um gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung an Lösungen für Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit zu arbeiten.

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens KF2497183PK4 „Scaffbag“ im Rahmen der ersten deutsch-koreanischen Ausschreibung des Förderprogrammes „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“

### Literaturverzeichnis

- [1] BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Zahlen, Daten, Fakten auf einen Blick. Berlin: BG BAU, 2015
- [2] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). „Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2012.“ München, 2014
- [3] Kramer, Florian. Passive Sicherheit in Kraftfahrzeugen. Berlin: Springer Verlag, 2009
- [4] Jockenhövel, Univ.-Prof. Dr. med. Stefan. Telefonat (12.2.2016)
- [5] Dipl.-Phys. Lehnert, Michael; Jordan, Jan Vincent, M.Sc. Zwischenbericht ZIM-Projekt „ScaffBag“ Aachen, München, 2015

Autoren:

M.Sc. Gesine Köppe, Jan Jordan,  
Dr. Yves-Simon Gloy und Prof. Thomas Gries  
Institut für Textiltechnik (ITA)  
der RWTH Aachen University

Michael Lehnert  
ABS Peter Aschauer GmbH

Dr. Hyo-Dae Kim  
Saenal Tech-Tex Co., Ltd.

Michael Min

Dyotec Korea Dyeing&Finishing Technology Institute