



Einsatz von energieabsorbierenden Schäumen im Fahrzeugbau

**Gegenüberstellung: PUR – EPP Dipl. Ing. Bernhard Lemler, Dipl. Ing.
Patrik Brings, Philippine GmbH & Co., Lahnstein**

Kurzfassung

Der Einsatz von energieabsorbierenden Bauteilen im Fahrzeugbau spielt heutzutage eine zunehmend wichtige Rolle. Hierbei haben energieabsorbierende Schäume die Aufgabe, die durch einen Aufprall auftretenden Schäden zu minimieren oder ganz zu verhindern. Im Wesentlichen kann man zwischen den Partikelschäumen (EPP) und den Polyurethanschäumen (PUR) unterscheiden. Im Folgenden soll etwas näher auf die Unterschiede dieser beiden Leichtwerkstoffe, die zu 95-98 % aus Gas/Luft und zu weniger als 5 % aus massiven Zellstegen bestehen, eingegangen werden. Von der Herstellung über die Eigenschaften, der Recyclefähigkeit bis hin zu einer kostenseitigen Betrachtung soll am Ende die richtige Wahl des einzusetzenden Werkstoffs stehen.

1. Herstellung der Rohmaterialien und Lagerung

1.1 Expandiertes Polypropylen (EPP)

EPP kann durch zwei unterschiedliche Verfahren hergestellt werden:

- Aufschäumen beim Hersteller mit Hilfe des Autoklav-Verfahrens
- Aufschäumen der Beads durch Extrusion

Bei beiden Verfahren entstehen Schaumstoffpartikel mit einer Größe von 2-7 mm in loser Schüttung mit einer Schüttdichte von 17-100 kg/m³. Die so entstandenen Partikel dienen zur Weiterverarbeitung in Schäumautomaten und werden in Silos entsprechend ihrer Schüttdichte gelagert.

1.2 Polyurethan (PUR)

Das Rohstoffsystem der Polyurethane besteht aus zwei Grundrohstoffen sowie den sogenannten Hilfs- und Zusatzstoffen:

- Polyisocyanate (A-Komponente)
- Polyole (B-Komponente)
- Hilfsstoffe (z. B. Katalysatoren, Treibmittel, Farbstoffe, ...)

Hauptrohstoffquellen sind Erdöl, Kohle, Salz, Luft und nachwachsende Rohstoffe. Die Anlieferung der Polyole und Polyisocyanate erfolgt in 200-l-Fässern, 1 000-l-Containern oder Tankwagen. Diese müssen unter bestimmten Bedingungen gelagert werden.

2. Herstellung energieabsorbierender Bauteile

2.1 Formteilherstellung aus expandiertem Polypropylen (EPP)



Abb. 1 (Orig. Fa. Philippine): Formteilautomat Fa. Kurtz

Die EPP-Crashpads werden mit Werkzeugen auf EPP-Formteilautomaten (s. Abb. 1) hergestellt. Hier kann im Wesentlichen zwischen dem Verfahren der Druckbefüllung und dem sogenannten Tauchkantenverfahren unterschieden werden, wobei jeweils noch die Kombination mit druckbeladenen EPP-Perlen zur Verfügung steht. Nach dem Einfüllen der Perlen durch die Injektoren in die Kavität wird ein sogenannter Staudruck (2,5-4,0 bar) aufgebaut. Anschließend erfolgt das Bedampfen bei ca. 140° C, welches zum Anschmelzen und somit zur Verschweißung der Partikeloberflächen führt. Nach einer Abkühlphase auf ca. 70° C kann das Bauteil entformt werden. Je nach geforderter Dichte ist ein zusätzlicher Temperierungsvorgang notwendig.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Einsatzmöglichkeiten für energieabsorbierende EPP-Bauteile.



Abb.2 (Orig. Fa. Philippine): Kopfaufprallschutz



Abb. 3 (Orig. Fa. Philippine): Stoßfängereinsatz

2.2 Formteilherstellung aus Polyurethan (PUR)



Abb. 4 (Orig. Fa. Philippine): Rundläuferanlage Fa. Philippine

Zur Herstellung eines PUR-Crashpads setzt man in der Regel eine Rundläuferanlage (s. Abb. 4) mit einer Hochdruckschäummaschine ein. Hierauf befinden sich entsprechende Formöffnungsgeräte zum Öffnen und Schließen der Werkzeuge. Durch Kolbenpumpen werden die Komponenten mit Arbeitsdrücken zwischen 100 bis 200 bar zum Injektionsmischkopf gefördert. In diesem werden die Komponenten im Gegenstrom turbulent vermischt und anschließend in die geöffnete Form gefördert. Nach dem Einfüllen wird die Form geschlossen. Der PUR-Schaum durchläuft hierbei die Phasen der Startzeit, Steigzeit sowie der Härtingszeit. Nach Ablauf der Härtingszeit ist der Schaum entformbar.

In den Abbildungen 5 und 6 sind Einsatzmöglichkeiten für energieabsorbierende PUR-Schaumteile dargestellt.



Abb. 5 (Orig. Fa. Philippine): Kneepad mit Blecheinleger



Abb. 6 (Orig. Fa. Philippine): Crashpad für Blecheinleger Türseitenverkleidung

Aufgrund der Bauart der PUR-Anlagentechnik ist es bei diesem Verfahren wesentlich einfacher mit Einlegeteilen zu arbeiten.

Außerdem ist es materialbedingt möglich, Bauteile mit Wandstärken von partiell < 2 mm auszuführen. Im Gegensatz dazu werden beim EPP-Verfahren mind. 6 – 8 mm benötigt.

3. Kostenseitige Betrachtung

Am Beispiel eines bestehenden Projektes bei der Fa. Philippine GmbH sollen alle Kosten, die bei der Herstellung energieabsorbierender Bauteile anfallen, erläutert und miteinander verglichen werden. Als Beispiel wird ein Crashpad für die laufende Serie eines Mittelklassewagens mit einer täglichen Stückzahl von 1 200 Fahrzeugen betrachtet.

3.1 Betriebsmittel

3.1.1 EPP Formteilautomat

Größe: 1650 mm x 870 mm nutzbare Fläche

Auslastung: 65 %

Investitionskosten: ca. 190 000,00 €

3.1.2 PUR-Rundläuferanlage

PUR-Rundläuferanlage inkl. Formenträger

Auslastung: 66 %

Investitionskosten: ca. 330 000,00 €

3.2 Werkzeuge

3.2.1 EPP Schäumwerkzeug

Auslegung: 4 Satz (8 Werkzeugnester)

Werkzeugkosten: 26 000,00 €

3.2.2 PUR-Schäumwerkzeug

8 Doppelwerkzeuge (16 Werkzeugnester)

Werkzeugkosten: 88 000,00 €

3.3 Kalkulierte Teilepreise

3.3.1 EPP Crash Pad

Basis: RG. 50 g/l

Teilegewicht: 108 g

Kalkulierter Teilepreis: 0,88 € / Stück

3.3.2 PUR Crash Pad

Basis: RG. 50 g/l

Teilegewicht: 108 g

Kalkulierter Teilepreis: 0,92 € / Stück

3.4 Vergleich der Stückkosten

Gründe für die höheren Stückkosten beim PUR-Formteil sind die höheren Investitionskosten und Produktionskosten trotz geringerem Rohstoffpreis (ca. 30 %).

4. Vergleich der physikalischen Eigenschaften

Im Folgenden werden einige der wichtigen physikalischen Eigenschaften für energieabsorbierende Bauteile betrachtet und direkt miteinander verglichen

4.1 Die Druckspannung

Vergleicht man EPP und PUR der gleichen Dichte miteinander, so stellt man fest, dass sich EPP auf einem höheren Kräftebene befindet (s. Abb. 7):

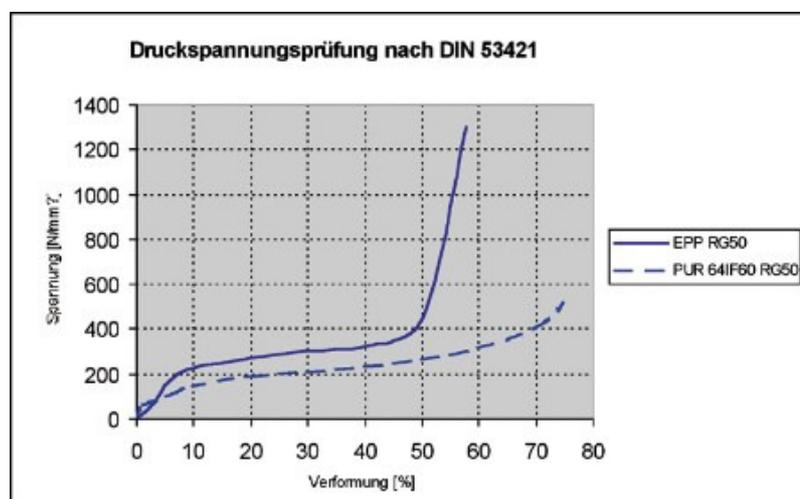


Abb. 7 (Orig. Fa. Philippine): Vergleich der Druckspannungskurven von EPP und PUR

Für ein Ford-Crashpad (B256) wurden dynamische Druckspannungsversuche durchgeführt. Ziel war es, den optimalen Werkstoff zur Einhaltung der Grenzwertkurven zu finden. Daraufhin wurde eine umfangreiche Testreihe beim Institut für Verbundwerkstoffe GmbH der Uni Kaiserslautern durchgeführt.

In der folgenden Abbildung (Abb. 8) sind die Ergebnisse der in Frage kommenden EPP- und PUR-Werkstoffe im Druckspannungsdiagramm dargestellt.

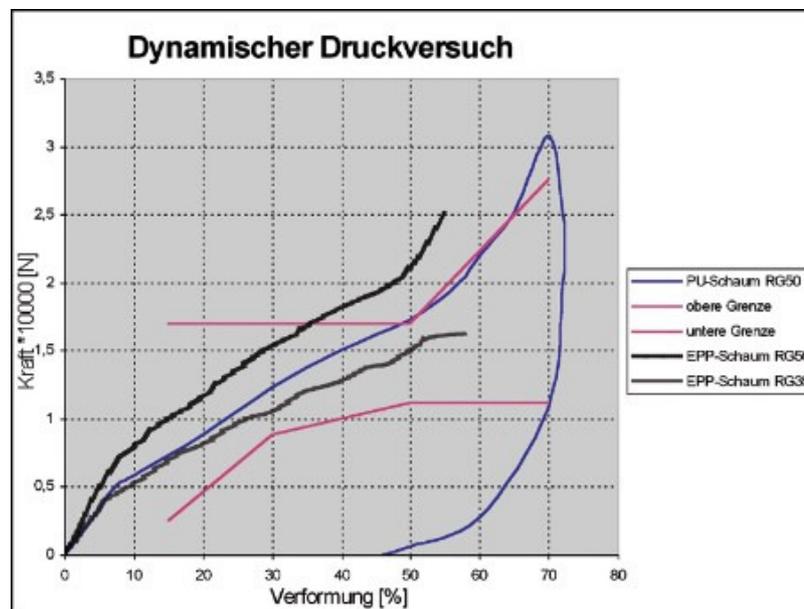


Abb. 8 (Orig. Fa. Philippine): Vergleich dynamischer Druckkurven

Das Ergebnis zeigt, dass sowohl der EPP-Schaum mit einer Dichte von 35 g/l als auch der getestete PUR-Schaum (System 64IF60 der Fa. Bayer) die vorgegebenen Druckspannungsgrenzwerte erfüllen.

Da mit dem EPP-Schaum jedoch die kritische Flammausbreitungsgeschwindigkeit von 80 mm/min überschritten wird, wurde sich hier für das PUR-System mit einer Dichte von 47 g/l entschieden.

4.2 Die Druckspannung in Abhängigkeit der Temperatur

Die folgenden Abbildungen (Abb. 9+10) zeigen die Abhängigkeit der Druckspannung von der Temperatur an einem Probekörper mit einer Dichte von 55 g/l beim statischen Druckversuch. Die Werte wurden von der Bayer AG ermittelt und konnten im Labor der Fa. Philippine bestätigt werden.

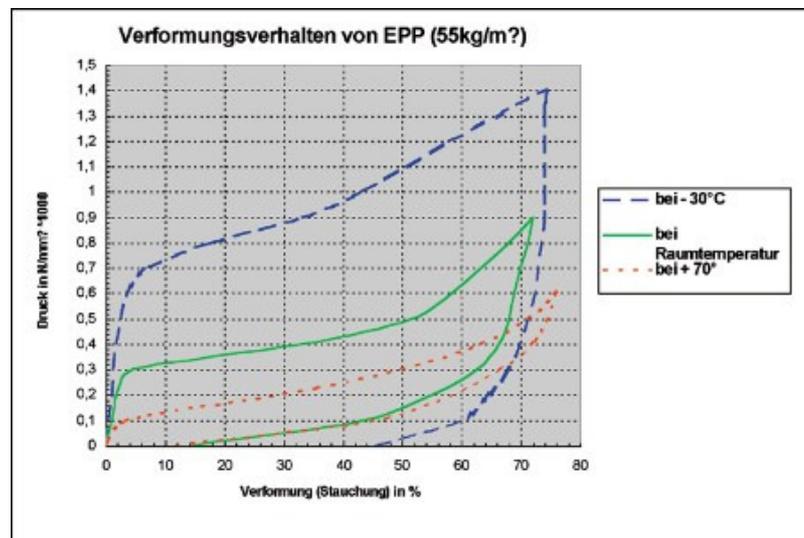


Abb. 9 (Orig. Fa. Philippine): Verformungsverhalten von EPP in Abhängigkeit der Temperatur

Hierbei zeigt sich eine deutlich höhere Temperaturabhängigkeit beim EPP. Dies kann sich beispielsweise im Bereich

von Stoßfängerkernen negativ auswirken, da die Zunahme der Festigkeit zu einer Zunahme der Belastung von Fußgängern im Falle einer Kollision führt. Bei tiefen Temperaturen ist es sogar möglich, dass Belastungsgrenzwerte überschritten werden. Jedoch ist es umgekehrt bei erhöhten Temperaturen möglich,

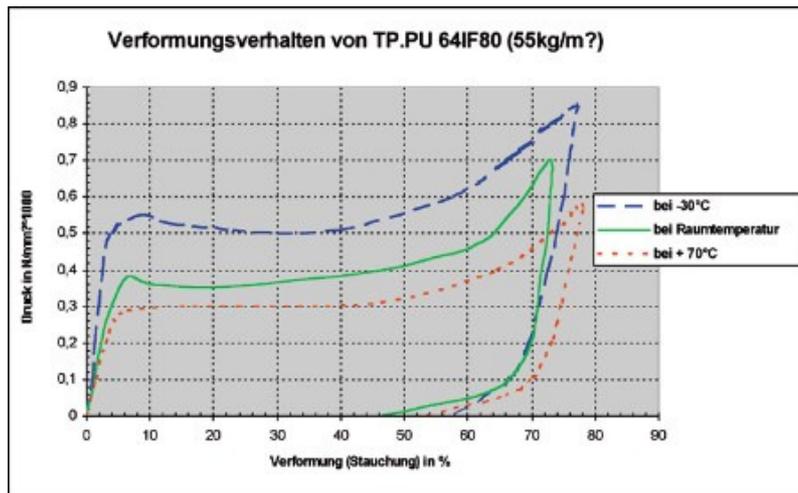


Abb. 10 (Orig. Fa. Philippine): Verformungsverhalten von PUR in Abhängigkeit der Temperatur

dass die Schäume zu weich werden und die Aufprallenergie nicht mehr innerhalb des vorgesehenen Verformungsweges abgebaut werden kann

4.3 Wärmeausdehnung und Toleranzen

Bei der Auslegung und Konstruktion von Bauteilen aus EPP ist zu beachten, dass verfahrens- und materialabhängig keine Längenmasstoleranzen wie beispielsweise bei Spritzgussteilen erreicht werden können. Folgende einhaltbaren Längenmaßtoleranzen (s. Abb. 11) wurden bei der Firma Philippine GmbH ermittelt:

Längenmaß [mm]	Toleranz am Fertigteil
Bis 25	±1 mm
>25 bis 100	± 2 mm
>100 bis 250	± 2,5 mm
>250	± 0,8

Abb. 11 (Orig. Fa. Philippine): Längenmaßtoleranzen für EPP-Formteile

Außerdem ist bei Bauteilen aus EPP der Temperatureinfluss zu beachten. Bei einem Ausdehnungskoeffizienten von ca. $1,2 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ treten beispielsweise bei einer Temperaturdifferenz von ± 40 Kelvin Längenänderungen bei 1m Bauteillänge von ca. ± 4 mm auf. Dies sollte bei der Auslegung eines Bauteiles aus EPP, welches meist nur einen begrenzten Bauraum besitzt, beachtet werden, um Kollisionen mit angrenzenden Bauteilen zu vermeiden.

Im Vergleich hierzu können bei energieabsorbierenden PUR-Bauteilen wesentlich engere Toleranzen eingehalten werden. So entspricht beispielsweise die Längenausdehnung unter Temperatureinfluss weniger als der Hälfte eines vergleichbaren EPP-Bauteils.

4.4 Die Brennrate

4.4.1 Brenngeschwindigkeit von EPP

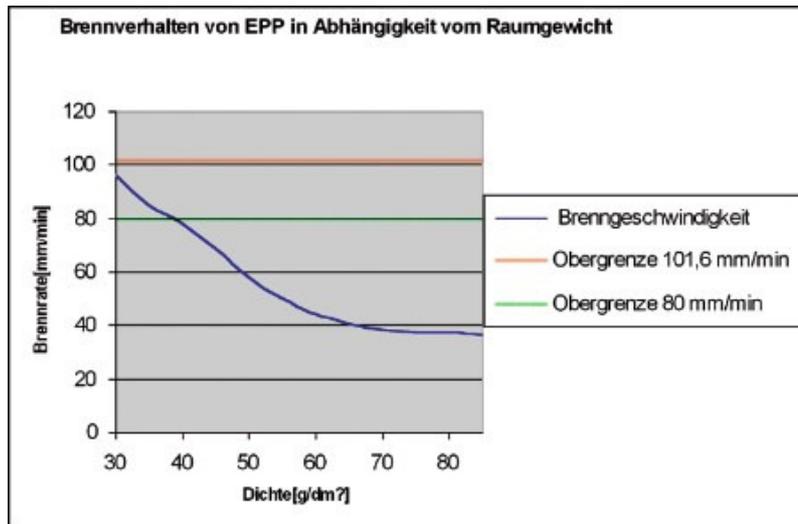


Abb. 12 (Orig. Fa. Philippine): Brennverhalten von EPP

Beim EPP hängt die Flammausbreitung in erster Linie von der Formteildichte ab. Mit steigender Dichte sinkt die Brenngeschwindigkeit. Deshalb ist bei der Fertigung von Formteilen die jeweils max. zulässige Brenngeschwindigkeit (z. B. FMVSS 302) zu beachten. Die folgende Grafik (Abb. 12) zeigt die Abhängigkeit der Flammausbreitung von der Dichte:

4.4.2 Brenngeschwindigkeit von PUR

In der Regel sind energieabsorbierende PUR-Bauteile bei Prüfungen im Flammofen selbsterlöschend, so dass es zu keinerlei Konflikten mit geforderten Grenzwerten kommt.

5. Recycling

Expandiertes Polypropylen besitzt den Vorteil des direkten Recyclings. Formteile können eingemahlen und durch eine Entstaubungsanlage von Schmutz und kleinen Partikeln befreit werden. Danach lassen sich die zerkleinerten Rohstoffpartikel direkt wieder im Verfahren bis zu einem Prozentsatz von max. 10 % einsetzen.

Eine weitere Möglichkeit des Recyclings von EPP und PUR ist die thermische Verwertung, wobei die Abfälle im Hochtemperaturofen verbrannt werden und der hohe Heizwert genutzt wird.

Beim Recycling von PUR besteht außerdem die Möglichkeit der PUR-Glykolyse. Durch dieses Verfahren entstehen Recycling-Poly-ole, die in bestimmten Anwendungen wieder einsetzbar sind.

6. Zusammenfassung

Die Untersuchung zeigt, dass es keine eindeutige Festlegung für die Materialauswahl eines energieabsorbierenden Bauteils gibt. Es muss von Anwendungsfall zu Anwendungsfall entschieden werden, wann welcher Werkstoff einen Vorteil bietet. Zwar können energieabsorbierende Bauteile aus EPP häufig einen Kostenvorteil bieten, jedoch können sie bestimmte geforderte Eigenschaften nur schwer erfüllen. Möglichkeiten der Beeinträchtigung bestehen lediglich in der Variation der Dichte.

Im Gegensatz hierzu bieten die PUR-Bauteile die Möglichkeit über Rezepturbeeinträchtigungen und Zugabe von Hilfsstoffen eine wesentlich präzisere Auslegung, um geforderte Eigenschaften zu erfüllen. So besitzen beispielsweise energieabsorbierende Bauteile aus PUR im Innenraum eine höhere Effizienz als vergleichbare EPP-Bauteile, ebenso ist es auch möglich ein PUR-System mit einem bestimmten Rückstellvermögen auszustatten, um es beispielsweise als Stoßfängerinsert einzusetzen.

Je nach geforderter Spezifikation muss entschieden werden, welcher Rohstoff zum Einsatz kommt.

Anmerkung der Redaktion: Dieser Vortrag wurde auf der vom VDI veranstalteten „Particle Foam 2006“ in Maastricht

präsentiert.

KP Verlag - Christine-Teusch-Str. 34 - 22846 Norderstedt - Tel: +49-(0)40-43271778 - Fax: +49-(0)40-43271779 - E-Mail: info@fapu.de