

**ALUMINIUMSCHAUM-
LEICHTBAUSTRUKTUREN
IM KRAFTFAHRZEUG**

**Dr. J. Banhart,
Fraunhofer-Institut für Angewandte
Materialforschung (IFAM),
Bremen**

Abstract

Im Fahrzeugbau besteht ein großer Bedarf an Werkstoffen für innovative Leichtbauanwendungen. Aluminiumschäume wurden in den letzten Jahren intensiv in Hinsicht auf solche Anwendungen evaluiert. Besonders Verbundlösungen bestehend aus Aluminiumschaum und konventionellen Metallstrukturen wie z.B. Aluminiumblechen oder Aluminiumprofilen, oder Stahlblechen bzw. -profilen versprechen hier interessante Anwendungsmöglichkeiten.

Die Möglichkeiten zur Herstellung solcher Verbunde werden diskutiert. Als Grundlage dient hierbei ein Verfahren zur Herstellung von Aluminiumschaum auf Basis von Metallpulvern. Hierbei werden Metallpulver mit Treibmitteln gemischt, zu einem kompakten Vorprodukt verpreßt und anschließend in einem Wärmebehandlungsprozeß aufgeschäumt.

Als Beispiel für den Einsatz eines Aluminiumschaum-Aluminium-Sandwiches wird ein in Zusammenarbeit mit Fa. W. Karmann, Osnabrück entwickeltes Teil vorgestellt, das die aus konventionellem Stahlblech gefertigte Rückwand im Fahrzeug ersetzen soll und das bei reduziertem Gewicht eine erheblich höhere Steifigkeit aufweist.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat das Interesse an Metallschäumen insbesondere aus Aluminium und Aluminiumlegierungen deutlich zugenommen. Das liegt zum einen an neuen Verfahrensentwicklungen, die eine höhere Qualität des geschäumten Metalls versprechen als auch an geänderten Rahmenbedingungen hinsichtlich der Anwendung von Werkstoffen. Erhöhte Anforderungen werden heute beispielsweise an die Passagiersicherheit in Personenkraftwagen oder an das Materialrecycling gestellt, wo von Metallschäumen eine Verbesserung erwartet wird.

Ein Grund für den momentan geringen Bekanntheitsgrad der Metallschäume ist sicherlich in der Art der in der Vergangenheit zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren zu sehen, die aufwendig und damit teuer waren, durchweg schwierig zu kontrollieren sind und somit zu nur mäßig reproduzierbaren Ergebnissen führten. Durch Weiter- bzw. Neuentwicklung von Verfahren in den letzten 10 Jahren stehen heute schmelz- und pulvermetallurgische Methoden zur Verfügung, die diese Einschränkungen aufheben [1]. Insbesondere ein am Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen entwickeltes und patentiertes pulvermetallurgisches Verfahren erlaubt eine verhältnismäßig einfache Herstellung geschäumter Metalle auf der Basis von Aluminium und Aluminiumlegierungen, sowie einer Reihe weiterer gebräuchlicher Metalle [2-5].

Die Anwendungsmöglichkeiten für Metallschäume sind vielfältig [5]. Als besonders aussichtsreich im Bereich Fahrzeugtechnik haben sich hier neben dem Leichtbau oder der akustischen und thermischen Dämmung Energieabsorptionsanwendungen herausgestellt, die die große Festigkeit geschäumter Metalle kombiniert mit ihrem, von der porösen Struktur verursachten, stark nichtlinearen Verformungsverhalten ausnutzen. Im Bereich Leichtbau ist mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung auch größerer, dreidimensional geformter Sandwichstrukturen aus massiven Deckblechen und einem porösen Al-Schaum-Kern [4] die Anwendung im Fahrzeug nähergerückt.

2. Herstellung von Metallschaum

2.1 Verfahrensprinzip

Das pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen ist in Abb. 1 verdeutlicht: Der pulverförmige metallische Ausgangswerkstoff wird intensiv mit einem Treibmittel (z.B. Titanhydrid) gemischt. Die so erhaltene Mischung wird unter kontrollierten Bedingungen zu einem Halbzeug verdichtet und gegebenenfalls durch eine Umformung weiterverarbeitet. Die Verdichtung geschieht typischerweise durch axiales Heißpressen oder durch Extrusion. Das resultierende Material ist äußerlich nicht von konventionellem Metall zu unterscheiden, birgt aber das Treibmittel in seiner metallischen Matrix: es ist *aufschäumbar*. Durch Erwärmung des Halbzeugs bis knapp über seinen Schmelzpunkt wird das Metall geschmolzen und die Gasfreisetzung des Treibmittels und somit der eigentliche Aufschäumvorgang ausgelöst. Richtige Prozeßparameter vorausgesetzt expandiert die Schmelze und entwickelt eine halbflüssige, schaumige Konsistenz. Nachdem die Expansion bis zum gewünschten Grad erfolgt ist, wird der Schäumvorgang durch Abkühlung unter den Schmelzpunkt beendet und so die Schaumstruktur stabilisiert. Man erhält einen hochporösen Werkstoff mit gleichmäßiger Porenstruktur. Am IFAM wurde das Verfahren bisher für Aluminium, diverse Aluminiumlegierungen, Zink, Zinn, Bronze, Messing und Blei mit Erfolg erprobt und die Prozeßparameter für spezielle Anwendungen optimiert, wobei Aluminium und seine Legierungen jedoch aufgrund des breiteren Anwendungsspektrums bisher im Vordergrund des Interesses stehen. Übliche Legierungen für das Schäumen sind Reinaluminium, 2XXX- und 6XXX Legierungen. Auch Gußlegierungen wie AlSi12 werden häufig geschäumt, da sie einen niedrigen Schmelzpunkt und günstige Schäumeigenschaften aufweisen. Im Prinzip kann jedoch nahezu jede Legierung geschäumt werden, wenn einmal die Kompaktier- und Schäumparameter bestimmt worden sind.

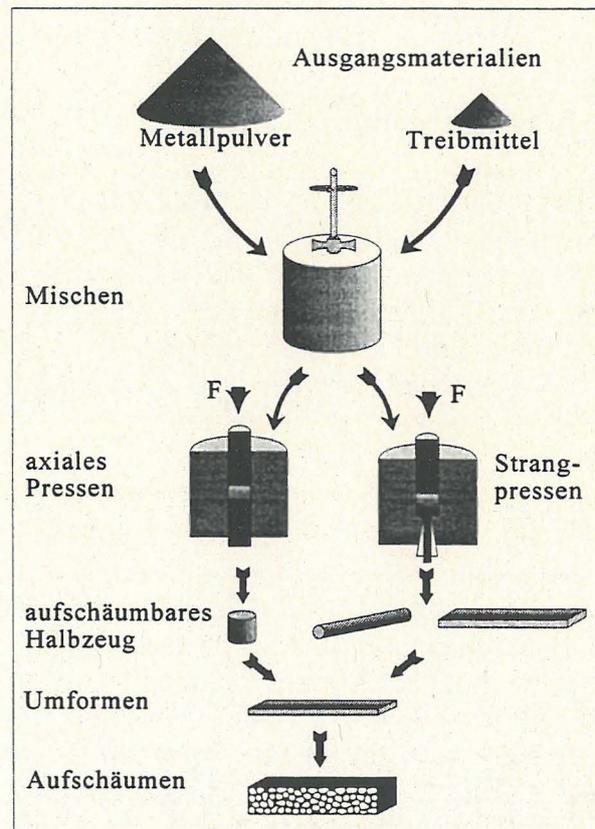


Abbildung 1: Verfahren zur Herstellung von Metallschaum nach dem pulvermetallurgischen IFAM-Verfahren [3-6]

Der nach dem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellte Metallschaum ist in erster Näherung geschlossenporig. Die innere Porenstruktur wird erst dann offenkundig, wenn man ein Schaumteil trennt. Abb. 2 zeigt einen durch Funkenerosion präparierten Schnitt durch einen Aluminiumschaum der Dichte 0.5 g/cm^3 . Die Poren haben hier typischerweise Durchmesser von ca. 2-5 mm.

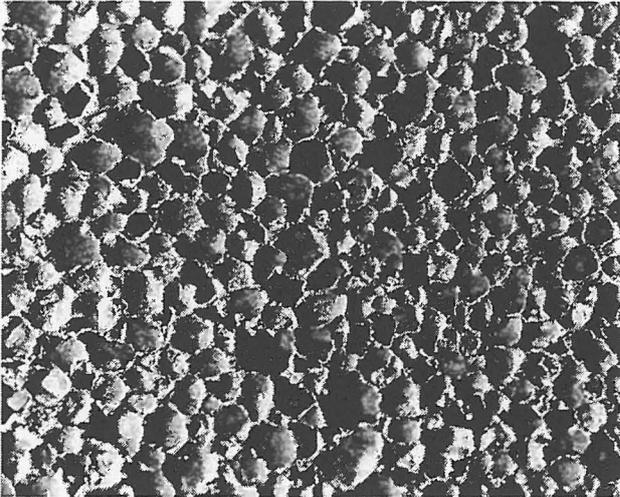


Abbildung 2: Ansicht der Porenstruktur eines Aluminiumschaumes (Bildausschnitt ca. 60x50 mm)

Beim Schäumen von Aluminium entsteht immer ein gewisser Anteil von Offenporigkeit, d.h. die Poren sind miteinander durch feine Risse, Öffnungen etc. verbunden. Man kann diesen Effekt durch geeignete Maßnahmen gezielt fördern und auf diese Weise einen gemischtporigen Aluminiumschaum (d.h. geschlossenporig mit einem Anteil an Offenporigkeit) herstellen. Die Gemischtporigkeit manifestiert sich durch eine gewisse Gas- oder Flüssigkeitsdurchlässigkeit. Es ist bekannt, daß der Schallabsorptionsgrad in empfindlicher Weise vom Grad dieser offenen Porosität abhängt.

2.2. Bauteile aus Aluminiumschaum

Wird das aufschäumbare Halbzeug in einer Hohlform aus Stahlblech aufgeschäumt, so füllt der expandierende Schaum den Hohlraum völlig aus. Auf diese Weise können leicht Formteile aus Metallschaum hergestellt werden. Die Außenhaut der Schaumteile ist in diesen Fällen geschlossen. Aufgrund der geringen Dichten, die bei Aluminiumschäumen meist zwischen 0.3 und 0.8 g/cm^3 liegen, schwimmen die Schaumkörper auf Wasser. Dünne Bleche aus aufschäumbarem Halbzeug können zu Flachmaterial aufgeschäumt werden. Werden diese mit konventionellen Aluminiumblechen beklebt, entstehen Sandwich-Verbundstrukturen. Nach einer Verfahrensmodifikationen [4] können Verbundstrukturen aus Aluminiumschaum und massiven Metallprofilen oder -blechen auch ohne Klebstoffe mit einer rein metallischen Bindung hergestellt werden, was aufgrund

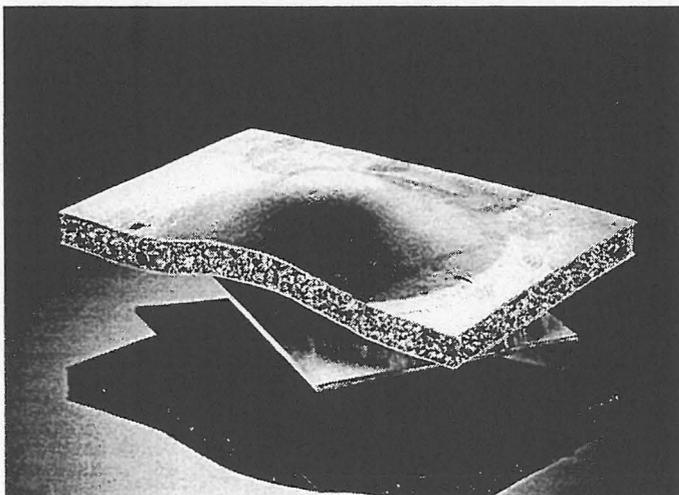


Abbildung 3: Sandwichstruktur aus Aluminiumschaum und Stahldeckblechen

(mit Förderung der Studiengesellschaft Stahlanwendung)

der mangelnden Temperaturbeständigkeit geklebter Verbindungen und der höheren Steifigkeit metallischer Verbindungen von Vorteil ist. Hierzu wird durch Walzplattieren ein metallischer Verbund aus zwei Metallblechen (z.B. Aluminium oder Stahl) und einem Blech aufschäumbaren Aluminiums hergestellt. Der Verbund wird gegebenenfalls z.B. durch Tiefziehen in die gewünschte Form gebracht und dann aufgeschäumt. Es bildet sich eine poröse Kernlage, die von zwei massiv gebliebenen Deckschichten belegt ist. Bei der Verwendung von Aluminiumdeckblechen muß darauf geach-

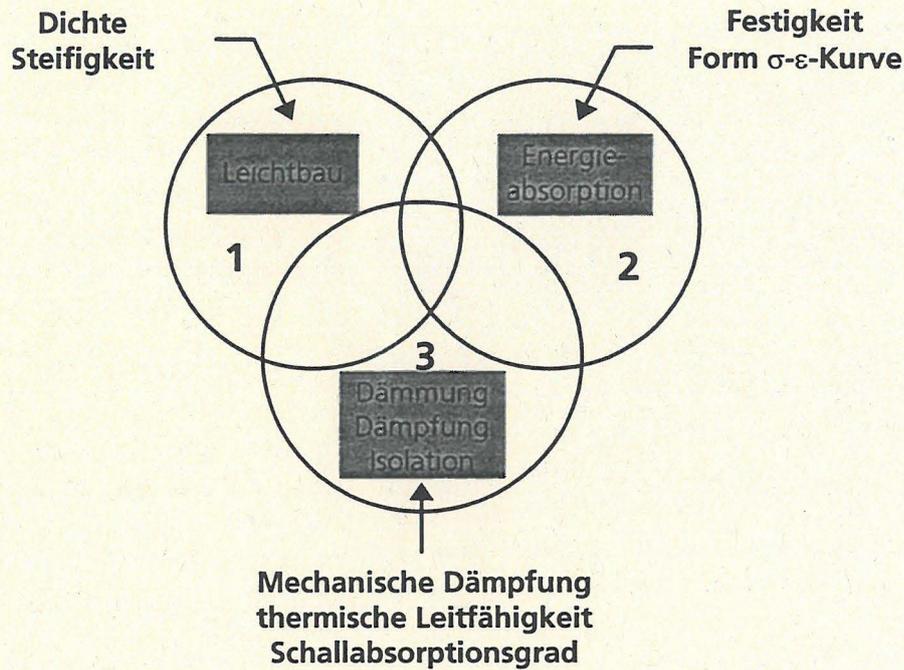


Abbildung 4: Anwendungsfelder des Metallschaumes im KFZ. Fettgedruckt sind die Eigenschaften, die für das jeweilige Anwendungsfeld relevant sind.

tet werden, daß die Deckschichten beim Schäumen nicht schmelzen, was durch die Verwendung verschiedenen Aluminiumlegierungen für Kern und Decklagen erreicht wird.

3. Anwendungsmöglichkeiten im Automobilbau

3.1. Allgemeines

Der Großteil der Anwendungsideen für Metallschaum im KFZ läßt sich in 3 Anwendungsfelder unterteilen (Abb. 4) : Leichtbau-, Energieabsorptions- und Dämmungsanwendungen.

Zur **ersten Gruppe** gehören Anwendungen, bei denen der Schaum nur elastisch verformt wird und das günstige Verhältnis von Masse zu Steifigkeit [6] zum Tragen kommt. Diese Eigenschaft legt einen Einsatz großflächiger Schaumbauteile nahe, bei denen die Anforderungen an die Steifigkeit hoch sind. Beispiele dafür sind die Bodengruppe im Kraftfahrzeug, Trennwände, Motorhauben, Kofferraumdeckel und Schiebedächer. Diese Teile sollen sich unter dem Einfluß etwa des Fahrtwindes oder von Schwingungslasten bei der Fahrt nicht elastisch verformen oder gar anfangen zu vibrieren. Letzteres wird durch die günstigen Dämpfungseigenschaften der Aluminiumschäume noch zusätzlich verhindert. Im Nutzfahrzeuggbereich sind aus dieser Gruppe der Anwendungen noch Aufbauten für Lastkraftwagen zu nennen, wobei bei Kühlfahrzeugen auch die reduzierte Wärmeleitfähigkeit des Aluminiumschaums von Vorteil ist. Fa. Karmann GmbH

(Osnabrück) hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM und verschiedenen anderen Firmen ein dreidimensional geformtes Aluminium-Aluminiumschaum-Sandwich entwickelt, das zur Versteifung von KFZ eingesetzt werden soll. Davon soll im nächsten Abschnitt (3.2) die Rede sein.

Zur **zweiten Gruppe** gehören diejenigen Anwendungen, bei denen der Schaum plastisch und irreversibel verformt wird. Die guten Energieabsorptionseigenschaften von Aluminiumschaum könnten beim Einsatz als Front- oder Seitenaufprallschutz ausgenutzt werden. Beim Seitenaufprall besteht die Notwendigkeit, Energie effizient in ein leichtes, möglichst in die Tür integrierbares Bauteil einzuleiten.

Eine interessante Eigenschaft von Aluminiumschaum ist, das Knick- und Stauchverhalten von Metallhohlprofilen oder -teilen nachhaltig zu beeinflussen, wenn diese mit einem Kern aus diesem Schaum gefüllt werden [7]. Hier übernimmt der Schaum Funktionen im elastischen und plastischen Beanspruchungsbereich. Das bietet einen Einsatz zur Versteifung von Stoßstangen, Unterfahrschutzelementen von Lastwagen, KFZ-Konstruktionselementen wie der B-Säule oder anderen knick- oder stauchgefährdeten Hohlteilen an. Diese Anwendungen sind also dem Schnittbereich der ersten und zweiten Gruppe in Abb. 4 zuzuordnen.

Bei der Entwicklung optimierter Energieabsorber sind die generellen Ziele:

- weniger Gewicht der Konstruktion
- bessere Energieabsorptionscharakteristik, d.h. Annäherung an den rechteckigen Spannungs-Stauchungs-Verlauf
- höhere Energieabsorptionskapazität pro Masse oder Volumen
- weitere Vorteile wie z.B. gute Wirksamkeit bei Offset-Stößen

Ansätze zur Realisierung solcher Absorber umfassen sowohl Verbundteile Al-Schaum/Aluminium als auch Verbundteile Al-Schaum/CFK bzw. GFK [8-9].

Zur **dritten Gruppe** gehören Anwendungen, die das Dämpfungsverhalten [10] von Aluminiumschäumen (ca. zehnmal größere Dämpfung als entsprechende massive Teile), das akustische Absorptionsvermögen (stark von der Porenstruktur abhängig) oder die reduzierte Wärmeleitfähigkeit von Schäumen ausnutzen. Es sind Kombinationen dieser Eigenschaften denkbar wie z.B. Wärme und Schall dämmende Panele, oder auch Kombinationen von Dämmungs- mit Leichtbau- oder Energieabsorptionsfunktionen. Hier ist die Entwicklung noch nicht eindeutig zu beurteilen, da keine der Eigenschaften „Dämpfung“, „Wärmeisolation“ und „Schallabsorption“ bei den Aluminiumschäumen wirklich herausragend ist. Die Entwicklung ist hier jedoch noch im Gange und es kann mit einer besseren Schallabsorption gerechnet werden, sobald eine gewisse offene Porosität reproduzierbar eingestellt werden kann [11].

Generell ist anzustreben, möglichst viele der Eigenschaften der Aluminiumschäume nutzbringend einzusetzen, da nur so eine Akzeptanz des gegenüber etablierten Werkstoffen höheren Preises zu erlangen ist.

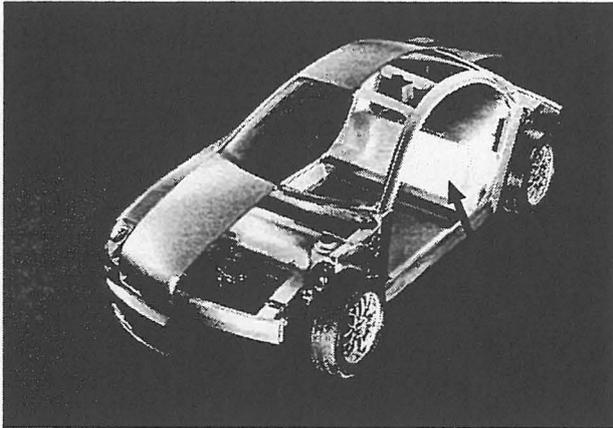


Abbildung 5: Showcar DSC '98 der Fa. Karmann

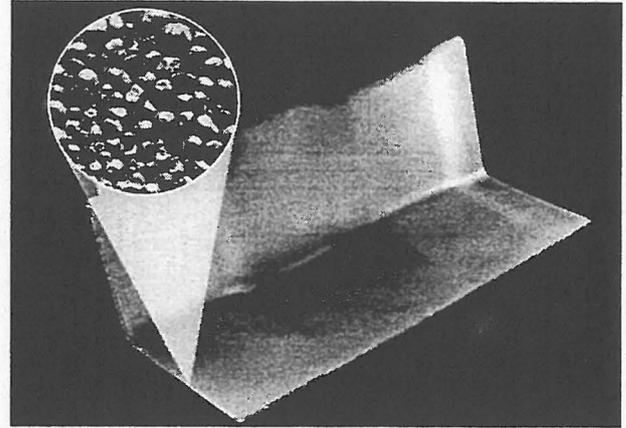


Abbildung 5: Aluminiumschaumsandwich im Karmann-Showcar (siehe Pfeil in Abb. 5)

3.2 Leichtbaustruktur aus Aluminiumschaum

Die im Abschnitt 3.1 skizzierten Gedanken zum Leichtbau mit Aluminiumschäumen wurden von Fa. Karmann (Osnabrück) umgesetzt und ein großflächiges Leichtbauteil auf Aluminiumschaumbasis entwickelt [12-13]. Die entwickelten Teile wurden in einem Showcar auf der Detroit Motorshow präsentiert (Abb.5). Eines der Teile ist in Abb. 6 gezeigt. Das Sandwich weist nahezu die gesamte Fahrzeugbreite auf und ist zwischen 8 und 12 mm dick, wobei auf die Außenhäute jeweils ca. 1 mm entfallen. Es handelt sich um die Fahrzeugrückwand, die in traditioneller Bauweise aus mit Sicken versehenem Stahlblech gefertigt wird. Dieses Stahlblechteil wird nun durch ein Sandwich ersetzt, das aus zwei Aluminiumdeckblechen und einem Aluminiumschaumkern besteht. Ziel der Substitution ist eine Erhöhung der Steifigkeit des Bauteils bei gleichzeitiger Gewichtersparnis. Das entwickelte Teil ist nun tatsächlich um 25% leichter als das konventionelle Stahlteil. Seine Steifigkeit wurde in einer Finite-Elemente-Simulation von Karmann berechnet. Stahlteil und Aluminiumschaum-Sandwich werden dabei einer simulierten Torsionsbelastung ausgesetzt und die resultierende Verformung und Spannungsverteilung berechnet. Man erhält eine um einen Faktor 8 niedrigere Torsionsverformung beim Aluminiumschaum-Sandwich bei gleichzeitig reduzierter Spannung [13].

Die erhöhte Steifigkeit eines Schaumes im Vergleich mit einem Blech gleichen Gewichts rührt natürlich von der bekannten Abhängigkeit der Steifigkeit E_s von der Höhe h her: $E_s \propto h^3$. Aluminiumschäume in Plattenform mit Dichten von 0.6 g/cm^3 sind demnach 90 mal steifer als ein Aluminiumblech gleichen Gewichts. Diese Beziehung gilt natürlich nur für ebene Teile. Für kompliziertere Formen wie die in Abb. 6 gezeigte schrumpft der Steifigkeitsvorteil auf den bereits erwähnten Faktor 8. Man könnte natürlich auch aus Blechen wesentlich steifere Strukturen, wie beispielsweise Honigwabenstrukturen aufbauen oder die im Flugzeugbau üblichen Blech-Stringer-Konstruktionen verwenden um in Hinsicht auf Steifigkeit den Aluminiumschaum zu erreichen oder zu übertreffen. Jedoch sind solche Möglichkeiten in Anbetracht der Formgebungsvarianten und des Preises beschränkt, so daß sie in den Automobilbau keinen Eingang gefunden haben. Das entwickelte Aluminiumschaum-Sandwich ist dagegen nach den momentan vorliegenden Kostenanalysen zwar etwas teurer als das konventionelle Stahlteil, was aber durch den Gewichtsvorteil und den Steifigkeitsgewinn ausgeglichen werden kann.

4. Zusammenfassung

Verbundbauteile aus Aluminiumschaum und massiven Metallprofilen oder -blechen weisen attraktive Eigenschaften auf. Anwendungsmöglichkeiten bestehen im Bereich Energieabsorption und Leichtbau. Ein dreidimensionales Sandwich bestehend aus Aluminiumschaum und Aluminiumdeckblechen wurde entwickelt, um ein konventionelles Stahlteil zu ersetzen. Das entwickelte Teil weist ein um 25% niedrigeres Gewicht auf und hat eine theoretische Steifigkeit, die 8 mal höher ist als die des Stahlbleches.

Literatur

- [1] Banhart J. (Hrsg.): Metallschäume, Tagungsband des Symposiums Metallschäume 6.-7.3.1997, Bremen, MIT-Verlag Bremen* (1997)
- [2] Baumeister J.: *Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper*, Patent DE 40 18 360, (1991)
- [3] Baumeister J., Schrader, H.: *Verfahren zur Herstellung aufschäumbarer Metallkörper und Verwendung derselben*, Patent DE 41 01 630, (1992)
- [4] Baumeister J., Banhart J., Weber M.: *Metallischer Verbundwerkstoff und Verfahren zu seiner Herstellung* DE 43 25 539.6 (1997)
- [5] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Metallschaum*, Aluminium, **70**, 209, (1994)
- [6] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Geschäumte Metalle als neue Leichtbauwerkstoffe*, VDI-Berichte **1021**, 277-284, (1993)
- [7] Banhart J., Baumeister J.: *Das Verformungsverhalten geschäumter Metalle*, Metall **51**, 19, (1997)
- [8] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Aluminium Foams for Automotive Applications*, Proceedings des 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation (1996), Florenz, 3.-6.6.1996, Hrsg. D. Roller, S. 611
- [9] Pannkoke, K. et al.: *Crash behaviour of light-weight structure materials - deep drawing sheet materials and simple metallic foam - FRP-design structures at dynamic loading conditions*, ibid. S. 645
- [10] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Damping properties of foamed aluminium*, Mat. Sci. Eng. **A205**, 221, (1996)
- [11] Endler F., Lahner S., Hoffmann M.: *Aluminiumschaum aus der Sicht potentieller Anwender*, in [1]
- [12] Seeliger H.W.: *Simulation von Crashabsorbern aus Aluminiumschaum*, in [1]
- [13] Seeliger H.W.: *Complex Shaped Aluminium Foam Sandwich Panels for Automotive Applications*, Proc. Symp. Metal Foams, Stanton 7.-8.10.1997, MIT-Verlag Bremen* (1998)

* MIT-Verlag, Euckenstr. 12, 28201 Bremen, Fax.: (0421) 550295