

Aluminiumschaum-Leichtbaustrukturen für den Fahrzeugbau

Von John Banhart,
Joachim Baumeister,
Armin Melzer,
Wolfgang Seeliger und
Markus Weber

Im Fahrzeugbau besteht ein großer Bedarf an Werkstoffen für innovative Leichtbauanwendungen. Aluminiumschäume wurden in den letzten Jahren intensiv auf solche Anwendungen hin untersucht. Besonders Verbundlösungen bestehend aus Aluminiumschaum und konventionellen Metallen wie zum Beispiel Aluminiumblechen oder Aluminiumprofilen oder Stahlblechen und -profilen versprechen hier interessante Anwendungsmöglichkeiten.

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, aber auch an geänderten Rahmenbedingungen hinsichtlich der Anwendung von Werkstoffen. Erhöhte Anforderungen werden heute beispielsweise an die Passagiersicherheit in Personenkraftwagen oder an das Materialrecycling gestellt. Metallschäume können hier zu weiteren Verbesserungen führen.

Ein Grund für den momentan geringen Bekanntheitsgrad der Metallschäume ist sicherlich in den bisher zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren zu sehen. Diese waren aufwendig und damit teuer sowie durchweg schwierig zu kontrollieren. Sie führten deshalb zu nur mäßig reproduzierbaren Ergebnissen. Durch Neu- und Weiterentwicklungen der Herstellverfahren in den letzten zehn 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 [2-4].

Die Anwendungsmöglichkeiten für Metallschäume sind vielfältig [4]. Als besonders aussichtsreich im Bereich Fahrzeugtechnik

haben sich hier – neben dem Leichtbau oder der akustischen und thermischen Dämmung – Energieabsorptionsanwendungen herausgestellt. Dabei nutzt man die große Festigkeit geschäumter Metalle in Kombination mit dem – von der porösen Struktur verursachten – stark nichtlinearen Verformungsverhalten. Im Leichtbau-Bereich ist mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung auch größerer, dreidimensional geformter Sandwichstrukturen aus massiven Deckblechen und einem porösen Aluminium-Schaum-Kern [3] die Anwendung im Fahrzeug nähergerückt.

2 Die Herstellung von Metallschaum

2.1 Verfahrensprinzip

Das pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen ist in **Bild 1** verdeutlicht: Der pulverförmige metallische Ausgangswerkstoff wird intensiv mit einem Treibmittel (zum Beispiel 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 aufschäumbare Treibmittel in seiner metallischen Matrix.

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

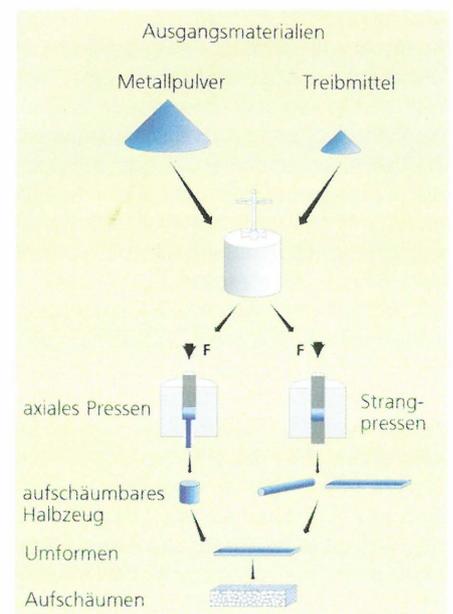


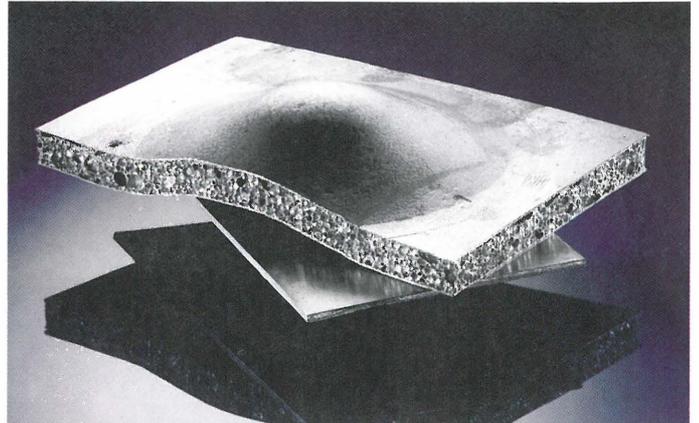
Bild 1: Verfahren zur Herstellung von Metallschaum nach dem pulvermetallurgischen IFAM-Verfahren

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. Aluminium und seine Legierungen stehen jedoch aufgrund des breiteren Anwendungsspektrums bisher im Vordergrund des Interesses.

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 erst einmal die Kompaktier- und Schäumparameter bestimmt worden sind. Der nach dem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellte Metallschaum ist in erster Näherung geschlossenporig. Die innere Porenstruktur wird erst dann offenkundig, wenn man ein Schaumteil trennt. In **Bild 2** ist die Porenstruktur des Schaumes zu erkennen.

Bild 2: Sandwichstruktur aus Aluminiumschaum und Stahldeckblechen. Die Porenstruktur des Metallschaums ist deutlich zu erkennen



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/cm³ 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 Verfahrensmodifikation [3] können Verbundstrukturen aus Aluminiumschaum und massiven Metallprofilen oder

-blechen auch ohne Klebstoffe mit einer rein metallischen Bindung hergestellt werden. Dies ist aufgrund der mangelnden Temperaturbeständigkeit geklebter Verbindungen und der höheren Steifigkeit metallischer Verbindungen von Vorteil. Durch Walzplattieren wird ein metallischer Verbund aus zwei Metallblechen (z.B. Aluminium oder Stahl) und einem Blech aufschäumbaren Aluminiums hergestellt. Der Verbund wird gegebenenfalls durch Tiefziehen in die gewünschte Form gebracht und dann aufgeschäumt, Bild 2. Es bildet sich eine poröse Kernlage, die von zwei massiv gebliebenen Deckschichten belegt ist. Bei der Verwendung von Aluminiumdeckblechen muß darauf geachtet werden, daß die Deckschichten beim Schäumen nicht schmelzen. Dies kann durch die Verwendung verschiedener Aluminiumlegierungen für Kern und Decklagen erreicht werden.

3 Anwendungsmöglichkeiten im Automobilbau

3.1. Allgemeines

Der Großteil der Anwendungsideen für Metallschaum im Automobil läßt sich in drei Anwendungsfelder unterteilen: Leichtbau-, Energieabsorptions- und Dämmungsanwendungen, **Bild 3**. Zur ersten Gruppe gehören Anwendungen, bei denen der Schaum nur elastisch verformt wird und das günstige Verhältnis von Masse zu Steifigkeit 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

Aluminium Foam Composite Structures for the Automotive Industry

By John Banhart,
Joachim Baumeister,
Armin Melzer,
Wolfgang Seeliger
and
Markus Weber

There is an increased need for new materials for light-weight construction in automobiles. In the past few years aluminium foams were intensively evaluated in order to find such applications. Especially composites consisting of aluminium foams and conventional profiles or sheets seem to be very promising.

The possibilities for making such composites are discussed. The starting point is a powder-metallurgical production route where metal powders are mixed with a blowing agent and are then compacted to a dense precursor material. The precursor material can then be foamed by a simple heat treatment.

As an example for an application of aluminium foam sandwiches a part is presented which was developed in collaboration with the German car maker Karmann (Osna-brück). The part is thought to replace the rear wall in a car and shows a higher stiffness at a lower weight as compared to the conventional steel part.

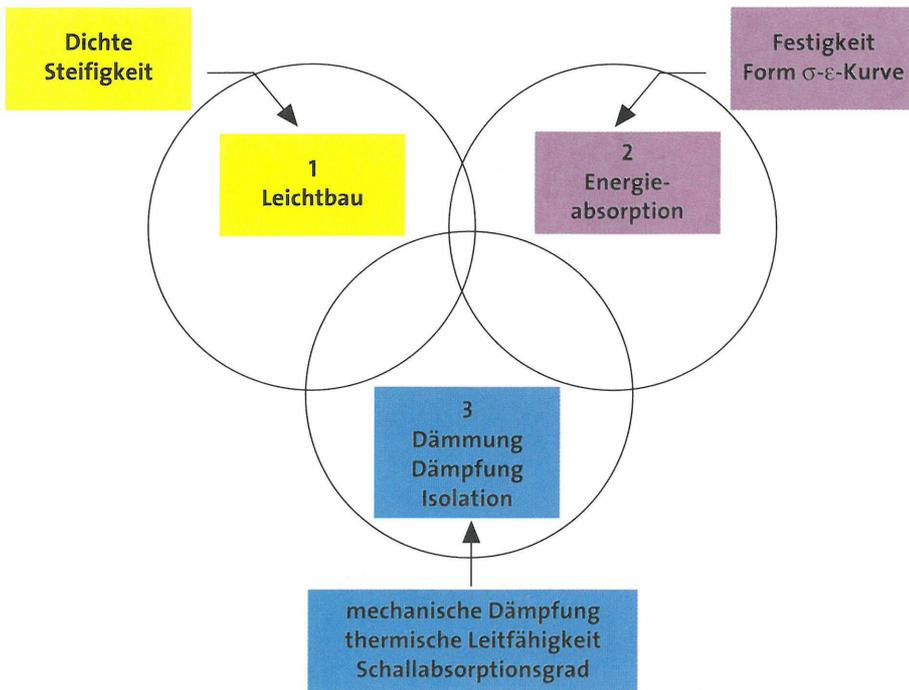


Bild 3: Anwendungsfelder des Metallschaumes im Automobil

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 Nutzfahrzeugbereich sind aus dieser Gruppe der Anwendungen noch Aufbauten für Lastkraftwagen zu nennen, wobei bei Kühlfahrzeugen auch die reduzierte Wärmeleitfähigkeit des Aluminiumschaums von Vorteil ist.

Zur zweiten Gruppe gehören diejenigen Anwendungen, bei denen der Schaum plastisch und irreversibel verformt wird [5]. Die guten Energieabsorptionseigenschaften von Aluminiumschaum könnten beim Front- oder Seitenaufprallschutz ausgenutzt werden. Beim Seitenaufprall besteht die Notwendigkeit, Energie effizient in ein leichtes, möglichst in die Tür integrierbares Bauteil einzuleiten.

Zur dritten Gruppe gehören Anwendungen, die das akustische Dämpfungsverhalten [6] oder die reduzierte Wärmeleitfähigkeit von Aluminiumschäumen ausnutzen. Auch Kombinationen dieser Eigenschaften – wie zum Beispiel Wärme und Schall dämmende Panele oder Kombinationen von Dämmungs- mit Leichtbau- und Energieabsorptionsfunktionen – sind denkbar. Generell sollten möglichst viele Eigenschaften der Aluminiumschäume nutzbringend eingesetzt werden, da nur so eine Akzeptanz des gegenüber etablierten Werkstoffen höheren Preises zu erwarten ist.

3.2 Leichtbaustruktur aus Aluminiumschaum

Die Firma Karmann in Osnabrück hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM großflächige Leichtbauteile auf Aluminiumschaumbasis entwickelt [7,8] und in einer Fahrzeugstudie auf der Detroit Motorshow 1998 präsentiert, **Bild 4**.

Wenn Stahlblechteile durch entsprechende Bauteile aus Aluminiumschaum-Sandwich ersetzt werden, kann die Steifigkeit der Bauteile bei gleichzeitiger Gewichtserspar-

nis erhöht werden. In **Bild 5** ist ein Aluminiumschaum-Sandwich im Vergleich zu einem herkömmlichen Stahlblechteil mit Sicken dargestellt.

Das Aluminiumschaum-Sandwich weist nahezu die gesamte Fahrzeugbreite auf und ist zwischen 8 und 12 mm dick, wobei auf die Außenhäute jeweils etwa 1 mm entfallen. Das entwickelte Teil ist um 25 Prozent 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, **Bild 6**.

Man erhält beim Aluminiumschaum-Sandwich eine um einen Faktor acht niedrigere Torsionsverformung bei gleichzeitig reduzierter Spannung [8]. Die erhöhte Steifigkeit eines Schaumes im Vergleich mit einem Blech gleichen Gewichts rührt natürlich von der bekannten Abhängigkeit des Flächenträgheitsmoments von der Höhe her.

4 Zusammenfassung

Aluminiumschäume in Plattenform mit Dichten von 0.6 g/cm^3 (E-Modul 3.5 GPa) sind rund 4.5 mal steifer als ein Aluminiumblech und etwa 36 mal steifer als ein Stahlblech gleichen Gewichts.

Diese Beziehung gilt natürlich nur für ebene Teile und den homogenen Schaum. Für



Bild 4: Fahrzeug-Studie der Firma Karmann

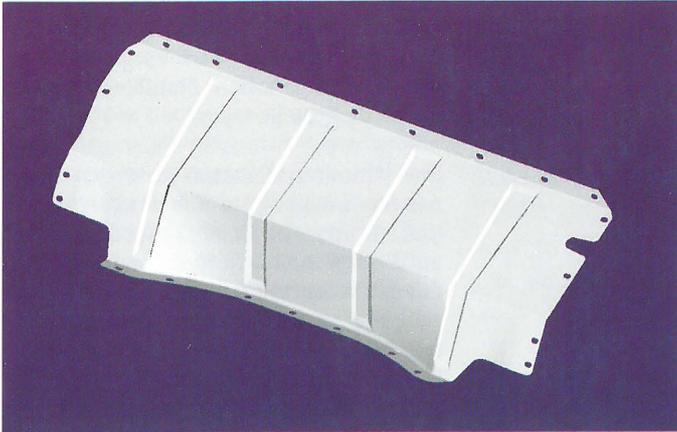


Bild 5: Stahlblechteil (links) und Aluminiumschaum-Sandwich (rechts)

kompliziertere Formen erhält man modifizierte Steifigkeitserhöhungen, zum Beispiel für den in Bild 6 dargestellten Fall um einen Faktor 8. Man könnte natürlich auch aus Blechen wesentlich steifere Strukturen – wie beispielsweise Honigwabenstrukturen – aufbauen. Auch die im Flugzeugbau üblichen Blech-Stringer-Konstruktionen führen zu sehr hohen Steifigkeiten. Jedoch sind diese Möglichkeiten in Anbetracht der Formgebungsvarianten und des Preises beschränkt, so daß sie im Automobilbau keinen Eingang gefunden haben. Das entwickelte Aluminiumschaum-Sandwich ist dagegen nach den momentan vorliegenden Kostenanalysen zwar etwas teurer als konventionelle Stahlteile. Doch dies kann durch den Gewichtsvorteil und den Steifigungsgewinn ausgeglichen werden.

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.; Banhart, J.; Weber, M.: Metallischer Verbundwerkstoff und Verfahren zu seiner Herstellung, DE 43 25 539.6 (1997)
- [4] Banhart, J.; Baumeister, J.; Weber, M.: Metallschaum, Aluminium, 70, 209 (1994)
- [5] Banhart, J.; Baumeister, J.: Das Verformungsverhalten geschäumter Metalle, Metall 51, 19 (1997)
- [6] Banhart, J.; Baumeister, J.; Weber, M.: Damping properties of foamed aluminium, Mat. Sci. Eng. A205, 221 (1996)
- [7] Seeliger, H.W.: Simulation von Crashabsorbern aus Aluminiumschaum, in [1]
- [8] 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)

Die Verfasser

John Banhart ist beim Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen Projektleiter für Metallschäume mit Schwerpunkt Platten und offene porige Materialien.



Joachim Baumeister ist ebenfalls Projektleiter für Metallschäume am IFAM mit Schwerpunkt bei Form- und Sandwichbauteile.



Armin Melzer ist am IFAM Projektleiter und Koordinator des EU-Projekts „Al-Schaum in der Transportindustrie“.



Wolfgang Seeliger ist verantwortlich für Al-Schäume in der Vorentwicklung bei der W. Karmann GmbH, Osnabrück.



Markus Weber ist Projektleiter am IFAM und beschäftigt sich mit der Pulverformgebung.

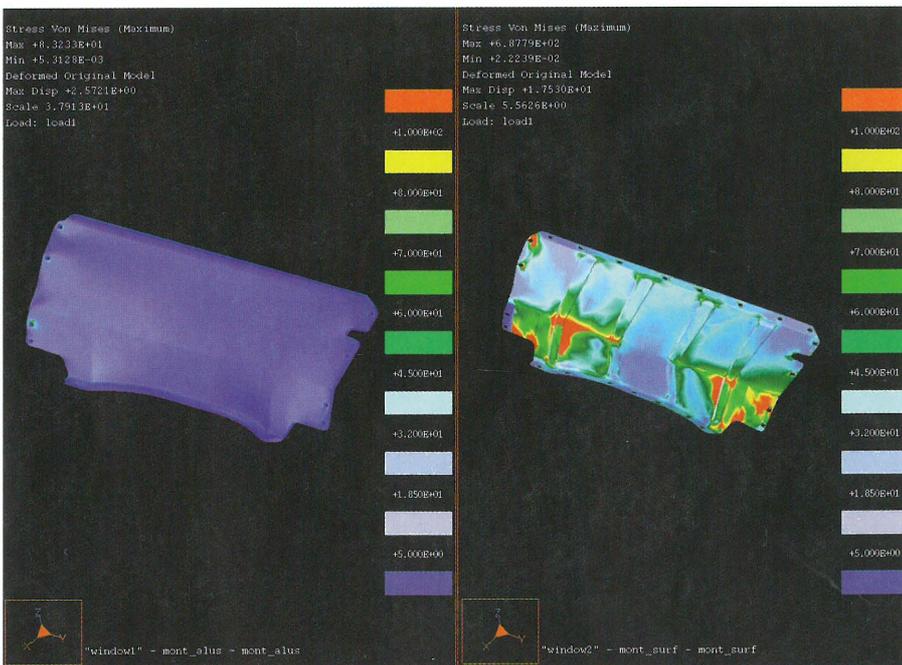


Bild 6: Finite-Elemente-Berechnungen an einem Aluminiumschaum-Sandwich (links) und am konventionellen Stahlteil (rechts)