

## Aluminium-Schaum

# Leichtbau und Dämpfung vereint

Aluminium-Schäume sind sehr leicht und bieten gegenüber herkömmlich eingesetzten Werkstoffen viele überzeugende Eigenschaften, die ihnen ein breites Feld möglicher Anwendungen eröffnen. Dennoch ist die Bereitschaft in der Industrie, diesen Werkstoff einzusetzen, immer noch relativ gering. Wo liegen die Gründe, welche Anwendungen konnten bereits erfolgreich realisiert werden und welche Perspektiven ergeben sich für die Zukunft?

Im Vergleich zu den bekannten massiven technischen Werkstoffen besitzen Aluminium-Schäume eine Vielzahl einzigartiger Eigenschaften, die völlig neuartige und innovative Anwendungen erlauben. Sie weisen vor allem eine geringe Dichte, eine geringe Masse im Verhältnis zu ihrem Volumen auf. Dieser Vorzug ist gepaart mit einer vergleichsweise hohen Festigkeit und hohen Steifigkeit, einer je nach Anforderung hohen beziehungsweise niedrigen Wärmeleitfähigkeit, einer hohen akustischen Absorption sowie einer hohen Durchlässigkeit für Gase. Sie sind daher besonders für Leichtbaustrukturen geeignet, bei denen eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht gefordert ist. Ihre relativ hohe Festigkeit erlaubt außerdem eine hervorragende Absorption kinetischer Energie, während die große spezifische Oberfläche eine außergewöhnlich hohe Wärmeübertragung ermöglicht.

Die Schwierigkeiten beim industriellen Einsatz von Aluminium-

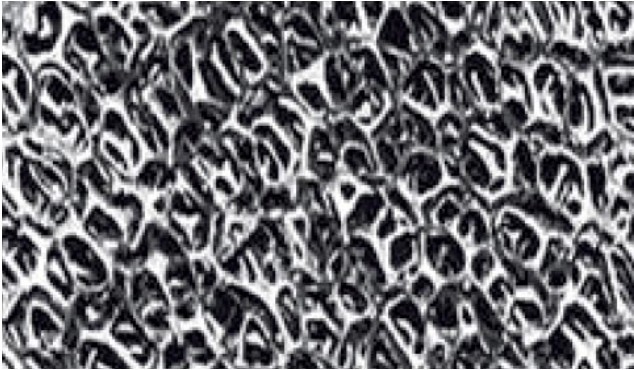
Schaum liegen in unsicheren Kostenabschätzungen, noch unzureichenden Konstruktionsrichtlinien, Fertigungs- und Prozessparametern sowie Simulationsdaten begründet. Bei hinreichendem Wissen über Werkstoffkennwerte, Fertigungs- und Fügetechnologien sowie Referenzanwendungen wird demzufolge auch die Einsatzbereitschaft für Aluminium-Schäume in den unterschiedlichen Industriebereichen weiter steigen.

### OFFENPORIGE ALUMINIUM-SCHÄUME

Aluminium-Schäume werden in zwei Klassen, die offenporigen (Bild 1) und die geschlossenporigen, eingeteilt. Bei den offenporigen Aluminiumschäumen sind die Poren untereinander verbunden und können von fließfähigen Medien durchströmt werden, da sich diesen eine hohe innere Oberfläche bei geringem Strömungswiderstand bietet. Die Dichte offenporiger Aluminium-Strukturen kann

»Bei hinreichendem Wissen über Werkstoffkennwerte, Fertigungs- und Fügetechnologien sowie Referenzanwendungen wird auch die Einsatzbereitschaft für Aluminium-Schäume in den unterschiedlichen Industriebereichen weiter steigen.«

Dr.-Ing. Thomas Hipke, Abteilungsleiter Leichtbau und Komponenten des Fraunhofer-Institutes für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Chemnitz, Leiter des Metallschaumzentrums Chemnitz

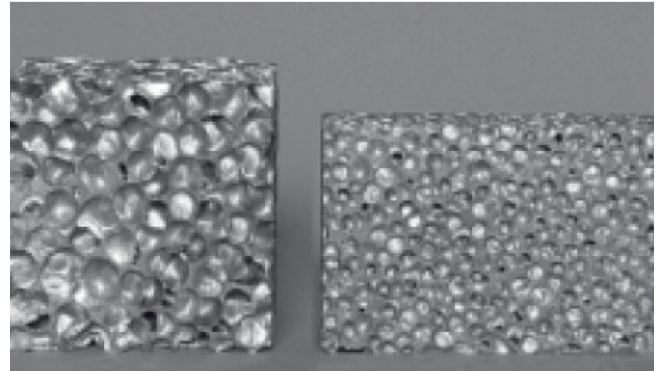


**BILD 1** offenporiger Aluminiumschaum /mpo/

sehr gut eingestellt werden - mit den heute vorhandenen technischen Mitteln im Bereich von 0,13 bis 0,4 g/cm<sup>3</sup>. Dies kann zu einer Gewichtseinsparung von bis zu 95 Prozent gegenüber herkömmlichen Materialien führen. Die relevanten Eigenschaften offenporiger Aluminium-Schäume sind:

- geringes Gewicht,
- mechanische Stabilität,
- durchströmbar/infiltrierbar,
- große innere Oberfläche,
- stoffschlüssige Anbindung,
- nahezu freie Werkstoffauswahl,
- geometrische Freiheitsgrade.

Die große Oberfläche dieser Strukturen ist für den Ablauf chemischer Reaktionen, zum Beispiel bei Katalysatoren und Batterieelementen, nutzbar. Aluminium-Schäume können mechanisch bearbeitet und unter anderem durch angegossene Teile problemlos mit anderen Bauteilen und Baugruppen gefügt werden. Charakterisiert werden offenporige Aluminium-Schäume durch die Anzahl der Poren pro Inch (ppi), die von 10 bis 45 ppi reicht. Eine höhere Anzahl von Poren



**BILD 2** geschlossenenporiger Aluminium-Schaum

per Inch ist gießtechnisch schwer realisierbar. Ihre Poren können idealisiert als Pentagondodekaeder beschrieben werden, dessen Kanten die Stege der Gitterstruktur bilden. Das Verhältnis von großem zu kleinem Durchmesser eines Pentagondodekaeders liegt theoretisch bei 1,6 : 1. Für die Gitterstruktur der offenporigen Aluminium-Schäume variiert der große Durchmesser von circa 4 mm (10 ppi) bis etwa 1 mm (45 ppi) und der kleine Durchmesser von circa 1,5 mm (10 ppi) bis 0,5 mm (45 ppi). Der Druckverlust bei der Durchströmung ist bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten proportional zur Strömungsgeschwindigkeit und der durchströmten Länge. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s beträgt der Druckverlust circa 0,05 bar/cm bei 10 ppi und etwa 0,2 bar/cm bei 30 ppi.

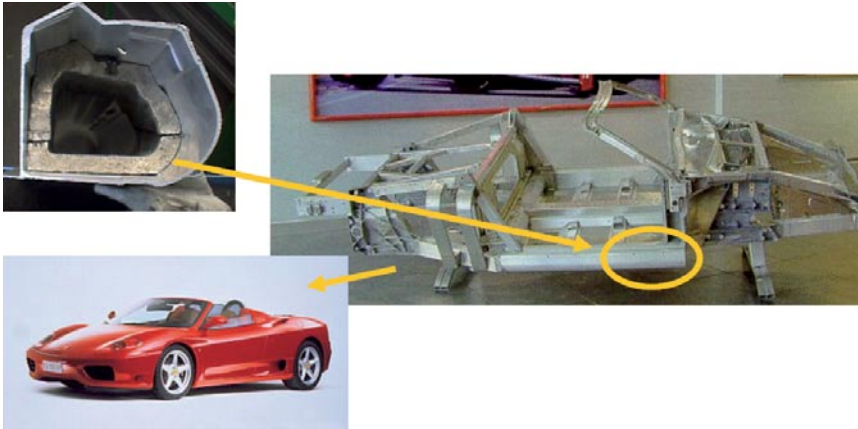
#### GESCHLOSSENPORIGE ALUMINIUM-SCHÄUME

Der geschlossenenporige Aluminium-Schaum (Bild 2) weist bei einer geringen Dichte ein gutes Verhältnis zwischen Masse und Steifigkeit auf und zeigt ein hervorragendes Energieabsorptionsverhalten. Im Gegensatz zu den offenporigen Schäumen ist eine gleichmäßige Porengröße bei diesen Schäumen nicht oder nur sehr schwer einstellbar. Die Schäume besitzen eine zufällig verteilte



»Die zellulare geschlossene Struktur wandelt bei plastischer Deformation sehr viel kinetische Energie in Verformungsenergie und Wärme um.«

Dr.-Ing. Günther Lange, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fraunhofer Einrichtung für Polymermaterialien und Composite (PYCO), Teltow

**BILD 3**

geschäumtes Serien-Bauteil im Space-Frame des Ferrari Spider F360 und F430

**BILD 4**

Metallschaum-Crashabsorber in einem Gepäcknetz des Audi Q7 /Wie07/

Struktur, in der die Zellen unregelmäßig angeordnet und unterschiedlich groß sind. Die relativen Dichten bezogen auf das Vollmaterial bewegen sich im Bereich von 10 bis 25 Prozent. Mit dem Aufbau der geschlossenporigen Aluminium-Schäume sind einige sehr interessante Eigenschaften verbunden. Die gemittelte Dichte

ist gegenüber der des Vollmaterials stark reduziert. Durch das dennoch große Flächenträgheitsmoment können sehr steife Bauteile (bezogen auf die Masse) konstruiert werden. Die zellulare geschlossene Struktur wandelt bei plastischer Deformation sehr viel kinetische Energie in Verformungsenergie und Wärme um.



»Die zukünftige Entwicklung und auch der Erfolg der Aluminium-Schäume sind eng mit den beiden Begriffen Innovation und Effizienz verknüpft.«

Dr.-Ing. René Poss, Vertriebsleiter und technischer Kundenberater der Leichtmetall-Produktion&Verarbeitings GmbH (LMpv), Oranienbaum

## SCHÄUME AUS ALUMINIUM UND ALUMINIUM-LEGIERUNGEN

Der Begriff „Aluminium-Schaum“ bezeichnet sowohl Schäume auf Basis des reinen Aluminiums als auch auf Basis von Aluminium-Legierungen. Die erreichbare Dichte ist neben der Ausgangsdichte des massiven Werkstoffs auch von der Schäumbarkeit der jeweiligen Legierung abhängig. Während Aluminium eine etwa siebenfache Volumenzunahme erreichen kann, können Zink- oder Zink-Kupfer-Legierungen das Zehnfache des Ausgangsvolumens annehmen. Diese Unterschiede hängen sehr stark mit Viskosität und Oberflächenspannung der jeweiligen Metallschmelze zusammen. Weiterhin können durch die Wahl technologischer Bedingungen während des Schäumprozesses wie der Schäumdauer, der Temperatur oder der Abkühlgeschwindigkeit die Dichte und damit andere technische Eigenschaften eingestellt werden. Wird für die schäumbaren Werkstoffe die gleiche Dichteverringerung auf 15 bis 40 Prozent in Analogie zu den Aluminium-Schäumen prognostiziert, so ergibt sich eine Übersicht der erreichbaren Schaumdichten. Unter dem Aspekt des Leichtbaus, wofür sich Schäume prinzipiell gut eignen, ist zu beachten, dass die meisten Schäume, im Gegensatz zu den Aluminium-Schäumen, einen Dichtebereich aufweisen, der in der Region von massivem Aluminium und Magnesium liegt. Hier stellt sich immer die Frage, ob der verfahrenstechnische Aufwand für das Schäumen gerechtfertigt ist oder ob die gestellte Aufgabe mit massiven Leichtmetallen nicht kostengünstiger gelöst werden kann.

## ANWENDUNGEN UND POTENZIAL

Metallschäume werden in erster Linie in den Bereichen Leichtbau und Energieabsorption eingesetzt. Letztere umfasst die Crashabsorption ebenso wie die Schwingungsdämpfung und Schalldämmung. Im Bauwesen sind zusätzlich Fragen der Wärmedämmung und Design-Aspekte von Interesse, die durch die Optik der Schäume besonders erfüllt werden.

Die erste Vermarktung einer Serienanwendung im Automobilbereich gelang dem österreichischen Unternehmen Alulight International GmbH. Im Ferrari F360 Modena Spider wurde zur Erhöhung der Seitencrash-Sicherheit der Seitenschweller verstärkt /Mil02/. Als eine einfache Lösung, besonders im Kleinserienbereich, wurde die Aussteifung mittels Metallschaumteilen gefunden und serientechnisch umgesetzt. Im knickgefährdeten Bereich des Seitenschwellers konnte somit die lokale Festigkeit deutlich erhöht werden.

Für den F360 und später auch für den F430 werden seit 1999 bis heute vierzehn Einheiten des Space-Frames pro Tag gefertigt. Das sind etwa 3.100 Stück pro Jahr. Im Bild 3 sind das Schaumbauteil im stranggepressten Profil sowie das Space-Frame des Ferrari zu sehen.

Ein wesentliches Sicherheitskriterium für Fahrzeuge in der Oberklasse ist die zuverlässige Trennung von Kofferraum und Fahrgastraum. Ist diese nicht gegeben, können Gepäckstücke aufgrund der Massenträgheit etwa bei einem Frontalaufprall zum Sicherheitsrisiko im Fahrzeuginnenraum werden. Die Firma Reum, Spezialist für Interieurkomponenten, entwickelte für den Audi Q7 ein Gepäcknetz mit

einem besonderen Energieabsorber. Sie bestehen aus zwei kleinen 3-D-Schaumteilen (l x d: 73 x 15 [mm], Gewicht: 5,3 g). Diese Formteile sind in Bild 4 zu sehen. Sie besitzen eine kompakte Außenhaut und dienen der Versteifung des Netzes und der Energieabsorption beim Frontalcrash. Dabei muss das Gepäck im Kofferraum unter Zerstörung der beiden Schaumteile zurückgehalten werden /Ste06/. Um ein ausgeprägtes Spannungsplateau zu erreichen, wurde in Versuchen eine auf 15 mm abgesetzte Form ausgeschäumt, die an den Enden jeweils auf 6 mm Länge einen Bund mit 17,9 mm Durchmesser aufweist. Dadurch konnte der gewünschte Kraftverlauf mit einem Plateau von 1 bis 1,5 kN bei einer Dichte von  $0,5 \text{ g/cm}^3$  erzielt werden. Das Niveau der Deformationsspannung liegt zwischen 10 und 15 MPa. Die Energieabsorption bis zur Überschreitung von 1,5 kN liegt bei etwa 110 kJ. Mit Hilfe der Resultate aus Deformationstests wurden sowohl die Dichte mit  $0,57 \pm 0,05 \text{ kg/dm}^3$  als auch die endgültige Geometrie des Energieabsorbers festgelegt /Han07/.

#### PERSPEKTIVE VON ALUMINIUM-SCHÄUMEN

Die zukünftige Entwicklung und auch der Erfolg der Aluminium-Schäume sind eng mit den beiden Begriffen Innovation und Effizienz verknüpft. Die Innovation wird sich weiter auf den werkstofftechnischen Sektor erstrecken und zur Herstellung angepasster und optimierter Legierungen oder Vormaterialien beitragen. Ebenso werden innovative Lösungen in der Verfahrenstechnik völlig neue Technologien generieren oder bisherige Verfahrensschritte ablösen. Die Effizienz bezieht sich in erster Linie auf die Kosten. Die Vielzahl der möglichen Anwendungen zeigt, dass in vielen Fällen marktgerechte Preise möglich sind. Jedoch nur mit einer durchgehenden Effizienzsteigerung und einer damit einhergehenden Kostensenkung können viele Marktsegmente, die im Moment noch brach liegen, erschlossen werden.

Die Anwendungsbreite ist heute bereits sehr groß und wird sich in Zukunft deutlich erweitern. So werden Anwendungen, beispielsweise im Schiffbau, die bisherigen noch ergänzen. Wenn es gelingt, die Produktionskosten zu senken, ist zudem eine breite Anwendung von Aluminium-Schaum in Bauteilen und Baugruppen im Großserienautomobilbau und der Konsumgüterindustrie denkbar. Der Maschinenbau, das Bauwesen und die Design-Industrie sind heute bereits Stützen der Unternehmen im Metallschaumbereich. ●

#### LITERATUR

/Han07/ Hanko, G., Mitterer, H., Schäffler, P.: Serienfertigung von Al-Schaumteilen durch innovative Herstellungsverfahren. Zeitschrift

Aluminium [Vol.83 (2007)9]

/Hip08/ Hipke, T, Lange G., Poss, R.: Taschenbuch für Aluminiumschäume. Aluminium-Verlag Düsseldorf, 2008

/Mil02/ Miller, F.: Leichtbau In: Fraunhofer-Magazin 4 (2002), S. 8-12.

/mpo/ www.m-pore.de

/Ste06/ Stephani G.: CELLMET NEWS, 2006, Seite 5

/Wie07/ Wiehler H.: Herstellungsverfahren geschlossenzelliger Metallschäume. DGM Fortbildungsseminar Zellulare Metalle 19./20.4. 2007. Erlangen

#### Die Autoren

DR.-ING. THOMAS HIPKE, Abteilungsleiter Leichtbau und Komponenten des Fraunhofer-Institutes für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Chemnitz, Leiter des Metallschaumzentrums Chemnitz

DR.-ING. GÜNTHER LANGE, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fraunhofer Einrichtung für Polymermaterialien und Composite (PYCO), Teltow

DR.-ING. RENÉ POSS, Vertriebsleiter und technischer Kundenberater der Leichtmetall-Produktion&Verarbeitings GmbH (LMpv), Oranienbaum

#### English abstract

► Download full English version at:  
[www.lightweight-design.com](http://www.lightweight-design.com)

### Aluminium Foam

## Lightweight construction and absorbability united

Aluminium foams are very light and, compared to conventional materials, have many convincing properties that open up a wide range of possible applications. Nevertheless, there is still relatively little willingness in the industry to use this material. What are the reasons for this, which applications have already been successfully implemented and what are the perspectives for the future?

Fraunhofer Metallschaum

