



**Fraunhofer** Institut  
Fertigungstechnik  
Materialforschung



**FOAMINAL®**

Eigenschaftsübersicht  
Konstruktionsrichtlinien

## *Ansprechpartner*

---

### **Fraunhofer IFAM**

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

Wiener Strasse 12  
28359 Bremen  
Deutschland

Telefon: + 49 (0) 421 2246 211  
Telefax: + 49 (0) 421 2246 300  
E-mail: [info@ifam.fraunhofer.de](mailto:info@ifam.fraunhofer.de)  
Internet: <http://www.ifam.fraunhofer.de>

#### Abteilung Gießerei- und Schäumtechnologie (GUS)

Dr. Gerald Rausch  
Joachim Baumeister  
Dirk Lehmhus  
Heiko Stanzick  
Karsten Stöbener  
Manfred Wichmann  
Norbert Zimmer  
Dr. Volker Zöllmer

# *Inhalt*

---

<b>Ansprechpartner</b>	<b>2</b>
<b>Inhalt</b>	<b>3</b>
<b>FOAMINAL® - Verfahren</b>	<b>4</b>
Schäumverfahren	4
Verfahrensmerkmale und -parameter	4
<b>FOAMINAL® - Produkte</b>	<b>5</b>
<b>FOAMINAL® - Eigenschaften</b>	<b>6</b>
Allgemeines	6
Elastizitätsmodul	7
Druckfestigkeit	8
Energieabsorption	10
Statische und dynamische Druckversuche	12
Ermüdungsverhalten	12
Schubfestigkeit	13
Zugfestigkeit	14
Akustische Eigenschaften – Verlustfaktor (Körperschall)	15
Thermische Eigenschaften	15
<b>Aluminiumschaum-Sandwichmaterialien (AFS)</b>	<b>16</b>
Allgemeines	16
Herstellungsverfahren	16
Eigenschaften	17
Formgebung und Weiterverarbeitung	18

## Schäumverfahren

Im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) wurde ein pulvermetallurgischer Prozess zur Herstellung geschäumter Metalle entwickelt. Nach diesem patentierten Verfahren hergestellte Aluminiumschäume tragen die Markenbezeichnung FOAMINAL<sup>®</sup>. Aus dem neuen Werkstoff können endgeometrienaher Formteile ebenso wie Kernlagen dreidimensional geformter Sandwichstrukturen hergestellt werden.

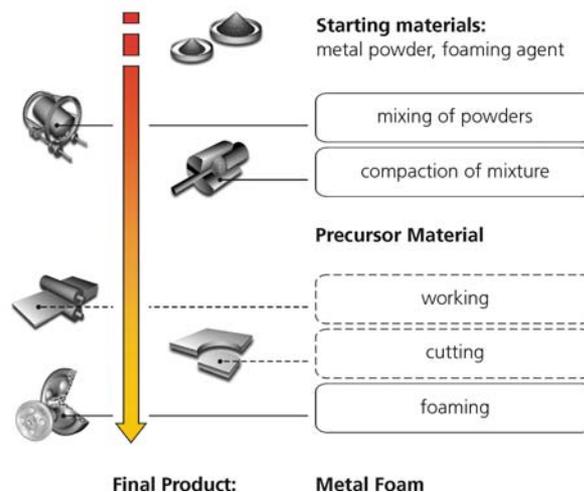


Abb. 1: IFAM-Verfahren zur Herstellung metallischer Schäume

## Verfahrensmerkmale und -parameter

Am Fraunhofer IFAM stehen unterschiedliche Öfen für das Aufschäumen des mit Treibmittel versetzten Vormaterials zur Verfügung. Üblich ist die Verwendung von Chargenöfen mit Luftumwälzung. Zusätzlich steht ein kontinuierlich arbeitender Band-Durchlaufofen sowie ein Induktionsofen zur Verfügung.

### Schäumtemperaturen:

- Aluminiumlegierungen: 590 °C – 750 °C
- Zinklegierungen: 420 °C – 600 °C

### Geometrische Beschränkungen (Bauteilmaße):

- max. Länge x Breite x Höhe: 1000 x 500 x 400 mm<sup>3</sup>
- max. Gewicht: ca. 50 kg

FOAMINAL<sup>®</sup>-Bauteile können nach allen gängigen Verfahren mechanisch bearbeitet werden (z. B. Drehen, Fräsen, Sägen). Eine Umformung ist gewöhnlich nicht erforderlich, da der Prozess endformnahe Bauteile liefert. Die anwendbaren Verbindungstechniken schließen u.a. Kleben, Schweißen (z.B. Laserschweißen) und Löten ein. Schraubverbindungen sind entweder direkt (Holzschrauben) oder unter Verwendung eingeschäumter bzw. eingeklebter Gewindebuchsen möglich. Um besondere Oberflächeneigenschaften zu erzielen, können Deckschichten u.a. durch thermisches Spritzen aufgebracht werden.

## FOAMINAL® - Produkte

FOAMINAL®-Bauteile wie in Abbildung 2 dargestellt sind ihrer Art nach Integralschäume mit einer geschlossenen inneren Struktur und einer geschlossenen Außenhaut. Sie ähneln in Formgebungsmöglichkeiten und Oberflächenqualität Bauteilen, wie sie im Schwerkraft-Kokillenguss hergestellt werden. Die geschlossene Außenhaut beeinflusst einige mechanische Eigenschaften des Bauteils, beispielsweise seine Steifigkeit.

FOAMINAL®-Produkte sind in Grundgeometrien wie Zylindern, Blöcken oder Platten erhältlich. Darüber hinaus können endformnahe Bauteile in komplexen Geometrien hergestellt werden. Grundlegende Eigenschaften dieser Bauteile sind:

- Dichte 0.4 (ohne Außenhaut) ... 1.0 g/cm<sup>3</sup>
- durchschnittliche Porendurchmesser 2 ... 6 mm
- geschlossenenporige Struktur
- dichte Außenhaut
- Oberflächenqualität ähnlich Kokillenguss



Abb. 2: Beispiele für FOAMINAL®-Bauteile

# FOAMINAL® - Eigenschaften

## Allgemeines

Die Eigenschaften von FOAMINAL® können durch Variation eines oder mehrerer der folgenden Parameter an Kundenbedürfnisse angepasst werden:

- Dichte bzw. Porosität
- Porenmorphology
- Matrixlegierung
- Wärmebehandlungszustand

Die meisten Eigenschaften metallischer Schäume können näherungsweise auf Basis der relativen Dichte des Schaumes sowie einer materialtypischen, auf die jeweilige Eigenschaft bezogenen Konstante beschrieben werden. Diese Haupteigenschaften können dann gemäß eines Potenzgesetzes abgeschätzt werden:

$$\text{Eigenschaft}_{\text{Schaum}} = \text{Konstante}_{\text{Eigenschaft}} * \left( \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{solid}}} \right)^n$$

FOAMINAL®-Bauteile sind nicht völlig isotrop. Der Herstellungsprozess des schäumbaren Vormaterials führt zu einer bevorzugten Expansionsrichtung (in Abb. 3 bezeichnet mit dem Index "S").

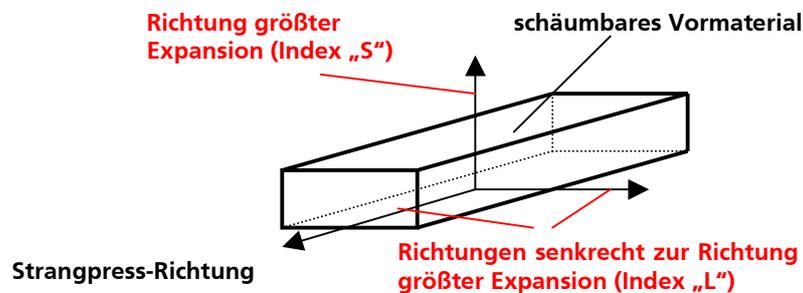


Abb. 3: Expansionsrichtungen schäumbaren Vormaterials

## Elastizitätsmodul

Die Messung des Elastizitätsmodul mittels zerstörender Verfahren wie Druck- oder Zugversuch wird erschwert durch die begrenzte elastische Verformung metallischer Schäume. Ein zerstörungsfreies Prüfverfahren steht mit der Analyse des Schwingungsverhaltens (insbes. Ausschwingverhalten nach Anregung durch Kraftimpuls) zur Verfügung.

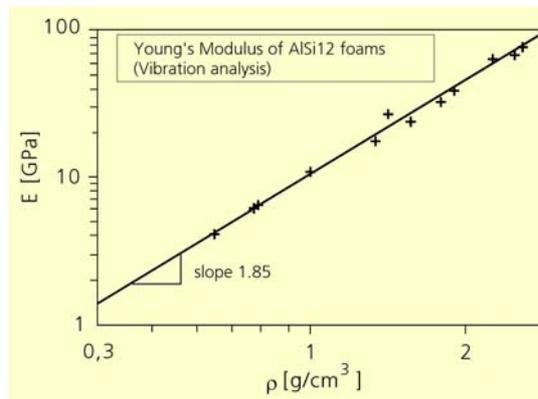
Schaumdichte	g/cm <sup>3</sup>	0.5	0.6	0.7	0.8
Elastizitätsmodul	GPa	3.5	4.9	6.6	8.4

**Tabelle 1: Elastizitätsmodul von AlSi12-Schaum in Abhängigkeit der Schaumdichte**

Die dargestellten Kennwerte wurden mit Hilfe der folgenden Näherungsgleichung auf Basis von experimentellen Ergebnissen berechnet.

$$E_{\text{Schaum}} = \text{Konstante}_{E\text{-Modul}} * \left( \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{solid}}} \right)^n \quad 1.7 \leq n \leq 2.3$$

Abb. 4 zeigt, dass die angegebene Gleichung für AlSi12 eine sehr gute Näherung darstellt.

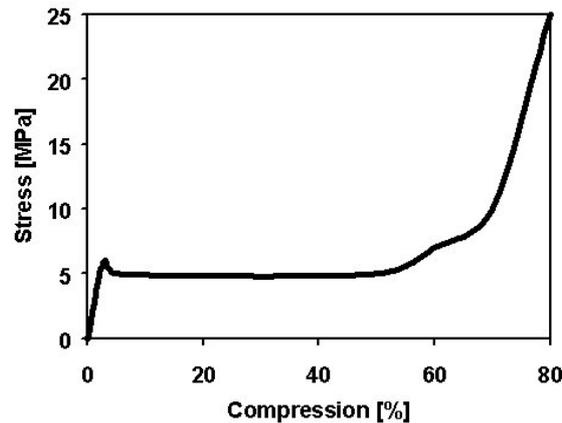


**Abb. 4: Elastizitätsmodul von AlSi12-Schaum als Funktion der absoluten Dichte**

**(Hier: Konstante<sub>E-Modul</sub> = 80 GPa, n = 1.85)**

## Druckfestigkeit

Abb. 5 zeigt ein Beispiel für das Verhalten metallischer Schäume unter Druckbelastung. Einem je nach Art des Schaumes (Matrixlegierung, Wärmebehandlungszustand etc.) ausgeprägten, bei duktiler Matrix ganz fehlendem lokalem Maximum folgt ein Plateau im Spannungs-Dehnungs-Verlauf. Über einen großen Verformungsbereich ist die Spannung nahezu konstant. Erst nach weitgehender Verdichtung des Materials folgt ein deutlicher Anstieg der Spannung.



**Abb. 5: Prinzipieller Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Kurve eines Metallschaums**

Das Spannungsniveau im Plateaubereich kann als ein charakteristischer, die Festigkeit von Metallschäumen beschreibender Kennwert aufgefasst werden und wird als solches u.a. von Matrixwerkstoff und Schaumdichte bestimmt.

Material	AlSi7	AlSi12	AlSi12	AlSi12	AlMg1Si (6061)	AlMg1Si (6061)	AlMg1Si (6061)
Prüfrichtung	S	L	L	S	L	L	S
Deckschicht	entfernt	entfernt	nicht entfernt	entfernt	entfernt	nicht entfernt	entfernt
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Druckfestigkeit [MPa]						
0.5	7.8	13.9	11.1	11.6	14.3	14.1	9.0
0.6	11.9	18.8	16.1	15.1	22.0	20.3	12.6
0.7	16.9	24.3	22.1	18.9	31.8	27.5	16.7
0.8	22.8	30.2	29.0	23.0	43.6	35.8	21.4

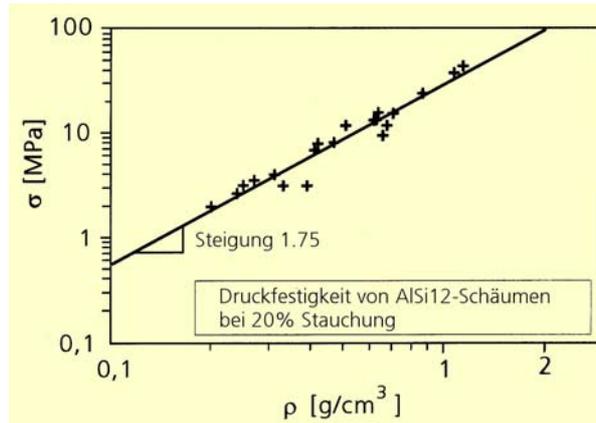
**Tabelle 2: Druckfestigkeit von Aluminiumschäumen**

Die dargestellten Kennwerte wurden mit Hilfe der folgenden Näherungsgleichung auf Basis von experimentellen Ergebnissen berechnet.

## FOAMINAL® - Eigenschaften

$$\sigma_{\text{Druck/Schaum}} = \text{Konstante}_{\text{Druck}} * \left( \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{solid}}} \right)^n \quad 1.5 \leq n \leq 2.5$$

Abb. 6 zeigt am Beispiel von AISi12 die gute Übereinstimmung dieser Näherungsformel mit den Messergebnissen.



**Abb.6: Druckfestigkeits-Dichte-Beziehung für AISi12-Schaum**

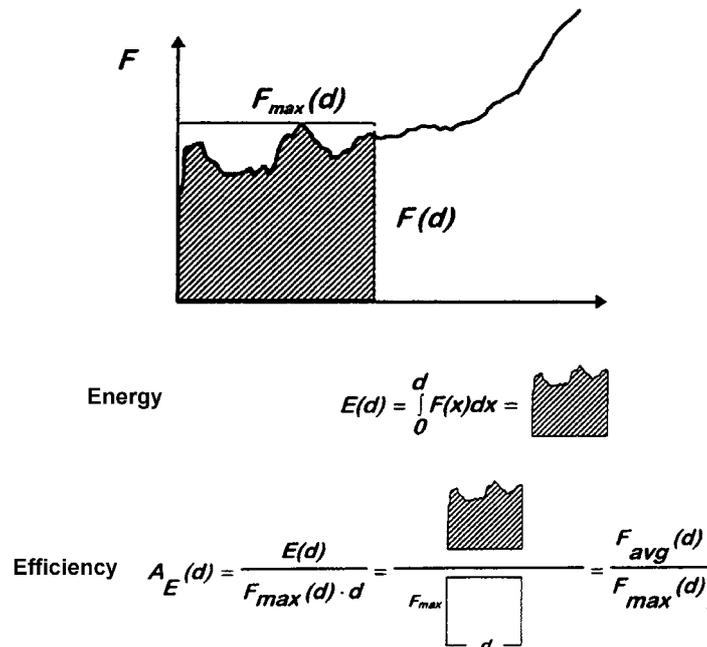
Tabelle 3 gewährt einen Überblick über verfügbare Parameter für gleichartige, jedoch auf andere Matrixlegierungen etc. bezogene Näherungsrechnungen.

Matrix	AISi7	AISi12	AISi12	AISi12	AlMg1Si (6061)	AlMg1Si (6061)	AlMg1Si (6061)
Testrichtung	S	L	L	S	L	L	S
Konstante <sub>Druck</sub> [MPa]	361	225	347	134	789	398	198
n	2.27	1.65	2.04	1.45	2.38	1.98	1.83
Deckschicht	entfernt	entfernt	nicht entfernt	entfernt	entfernt	nicht entfernt	entfernt

**Tab. 3: Parameter für die dichteabhängige Beschreibung der Druckfestigkeit von Al-Schäumen**

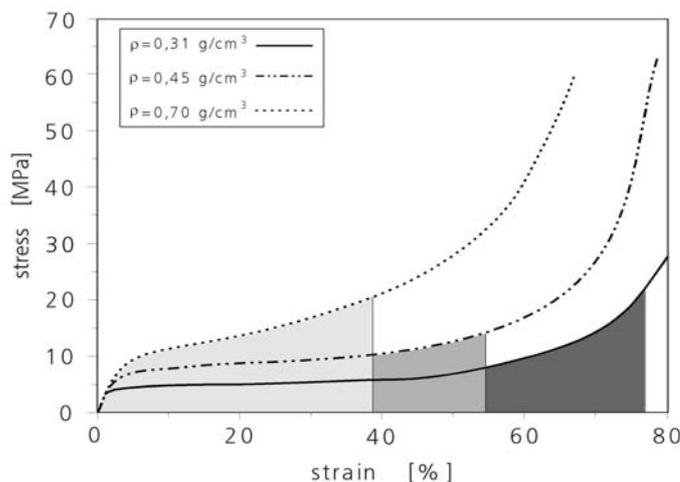
## Energieabsorption

Das Energieabsorptionsvermögen eines Metallschaums kann im Druckversuch bestimmt werden. In Abb. 7 ist eine Kraft-Stauchweg-Kurve für einen Metallschaum dargestellt. Die absorbierte Energiemenge entspricht dem Integral der Kraft über dem Verformungsweg. Zum Vergleich unterschiedlicher Materialien hat sich die Effizienz der Energieabsorption eingebürgert. Für einen festgelegten Verformungsweg ist sie definiert als Quotient aus der bis zum Erreichen des jeweils betrachteten Deformationswertes absorbierten Energie und dem Produkt aus der im betrachteten Intervall erreichten Maximalkraft und dem Verformungsweg selbst.



**Abb. 7: Energieabsorption und Definition ihrer Effizienz**

FOAMINAL®-Bauteile können in unterschiedlichen Dichten produziert werden, die ihrerseits in differierendem Energieabsorptionsverhalten resultieren. Die grauen Flächen unter den in Abb. 8 gezeigten Spannungs-Stauchungs-Kurven repräsentieren jeweils die gleiche absorbierte Energiemenge.



**Abb. 8: Energieabsorption von Metallschäumen unterschiedlicher Dichte**

## **FOAMINAL® - Eigenschaften**

---

Offensichtlich muss die Probe mit der geringsten Dichte in höherem Maße komprimiert werden als die beiden anderen, um die selbe Energiemenge zu absorbieren. Dennoch erreicht diese Probe während dieses Vorganges eine Maximalkraft, die in etwa der für die Probe mit der höchsten Dichte registrierten entspricht: Das niedrigere Spannungsniveau im Plateaubereich erfordert eine weitergehende Verformung für die Aufnahme der betrachteten Energiemenge und führt dazu, dass die Stauchung bis in den Bereich der Verdichtung der Schaumstruktur mit ihrem stark ansteigenden Spannungsniveau fortgesetzt werden muss. Dies legt die Berücksichtigung einer Reihe von Parametern für die Auslegung von Energieabsorbern nahe:

- maximal ertragbare Kraft
- maximaler Deformationsweg
- zu absorbierende Energiemenge

Diesen Erfordernissen gehorchend können Geometrie, Dichte, Matrixlegierung etc. eines FOAMINAL®-Bauteils angepasst werden, um einen für die vorgegebenen Anforderungen maßgeschneiderten Energieabsorber zu kreieren.

Tabelle 4 enthält individuelle Werte der Energieabsorption für unterschiedliche Matrixlegierungen und Schaumdichte.

Matrixlegierung	AlMg1SiCu (6061)	AlMg1SiCu (6061)	AlSi7	AlSi7	AlSi12
Wärmebehandlung	aus- gehärtet	unbehan- delt	unbehan- delt	unbehan- delt	unbehan- delt
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	0,6	0,6	0,55	0,63	0,6
Energieabs. (50% Stauchung)					
- pro Volumen [kJ/dm <sup>3</sup> ]	7.9	7.1	4.4	5.3	3.1
- pro Masse [kJ/kg]	13.2	11.9	8.0	8.4	5.3
Effizienz der Energieabsorption					
- 20 % Stauchung	83.8	86.1	85.6	83.4	-
- 50 % Stauchung	75.3	80.7	85.8	84.0	-

**Tab. 4: Energieabsorption metallischer Schäume**

# FOAMINAL® - Eigenschaften

## Statische und Dynamische Druckversuche

Unter Druckbelastung zeigen FOAMINAL®-Bauteile keine Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Verformungsgeschwindigkeit.

Test no.	Foam density (g/cm <sup>3</sup> )	Impact velocity (m/s)	Average stress at 50% def. (MPa)
S 1	0.34	Static	5.6
S 2	0.23	(20 mm/min)	4.3
S 3	0.32	-	6.0
S 4	0.36	-	7.5
S 5	0.38	-	7.9
S 6	0.40	-	7.7
S 7	0.47	-	13.8
D 1	0.40	15.8	9.8
D 2	0.40	15.9	11.0
D 3	0.40	15.5	9.9
D 4	0.43	15.9	10.8
D 5	0.41	15.8	10.1
D 6	0.42	16.1	9.7

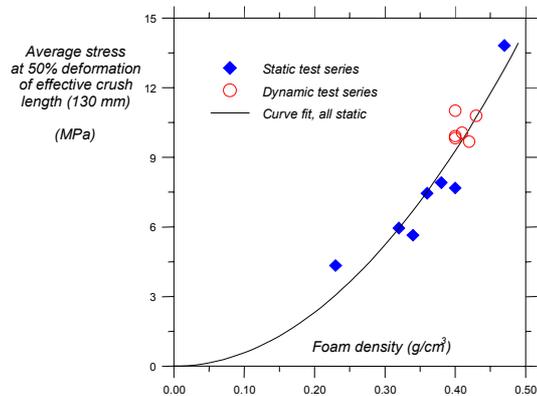


Fig. 9: Statische und dynamische Festigkeit<sup>1</sup>

## Ermüdungsverhalten

Ermüdung unter Zug-Druck-Wechselbelastung mit einem Lastverhältnis von -1 wurden für die Matrixlegierung AlMg1SiCu bestimmt. In Abb. 10 sind dichtebezogene Spannungsniveaus über den zugehörigen Lastwechselzahlen aufgetragen.

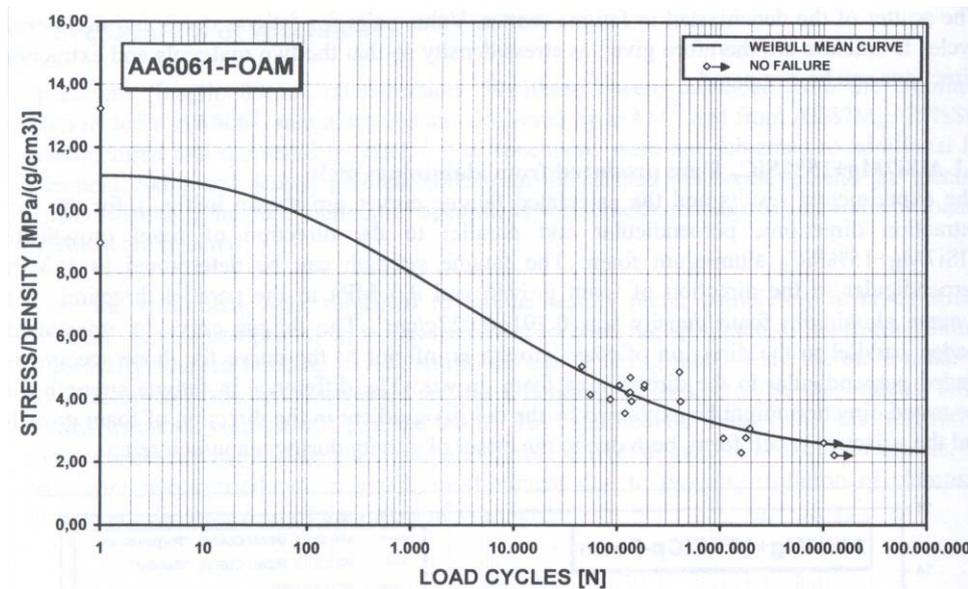
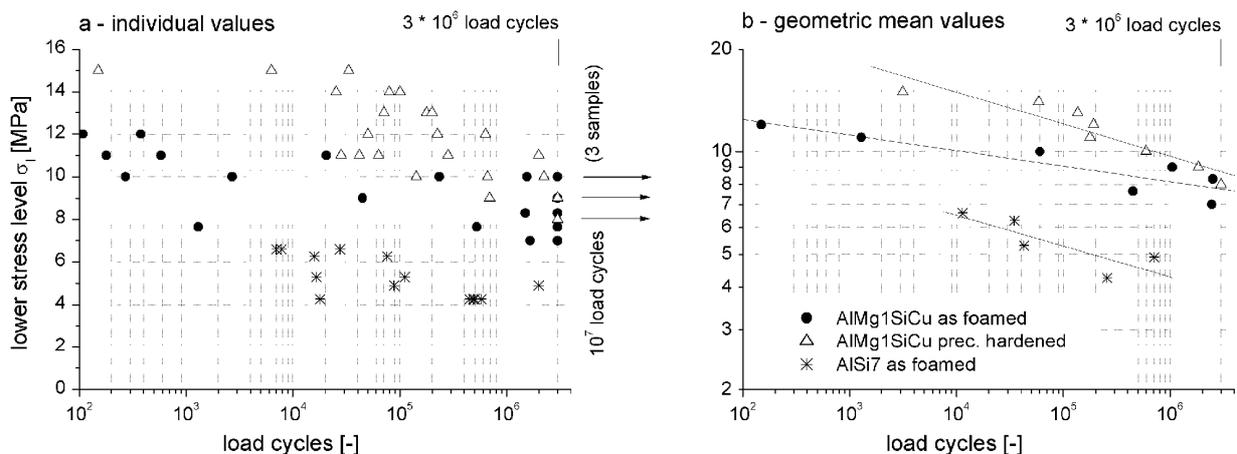


Abb. 10: Zug-Druck-Wechselbelastungsversuche an AlMg1SiCu-Schaum<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Versuche durchgeführt von Dept. Of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

<sup>2</sup> „Fatigue behaviour, strength and failure of aluminium foams“  
Schultz et al. in „Metal Foams and Porous Metal Structures“ MIT 1999

Für Druckschwellbelastung wurden Spannungs-Lastwechsel (S-N)-Kurven ebenfalls für AlMg1SiCu- sowie für AlSi7-Schäume aufgenommen. Im Fall der Matrixlegierung AlMg1SiCu wurde dabei zwischen dem unbehandelten („wie geschäumten“) und einem ausgehärteten Werkstoffzustand unterschieden. Die individuellen Messergebnisse sind in Abb. 11a wiedergegeben, geometrische Mittelwerte und die zugehörigen Ausgleichsgeraden finden sich in Abb. 11b. Die Pfeile im linken Diagramm bezeichnen 3 Proben (Durchläufer - eine ausgehärtete Probe auf Lastniveau 10 MPa sowie je eine unbehandelte auf den Lastniveau 10 MPa und 10 MPa), für die der Versuch über die Grenzlastspielzahl von  $3 \times 10^6$  hinaus bis zu  $10^7$  Lastspielen fortgesetzt wurde, ohne dass ein Versagen auftrat.



**Abb. 11: Ermüdung unter Druckschwellbelastung für unbehandelte und ausgehärtete AlMg1SiCu und unbehandelte AlSi7-Schäume<sup>3</sup>**

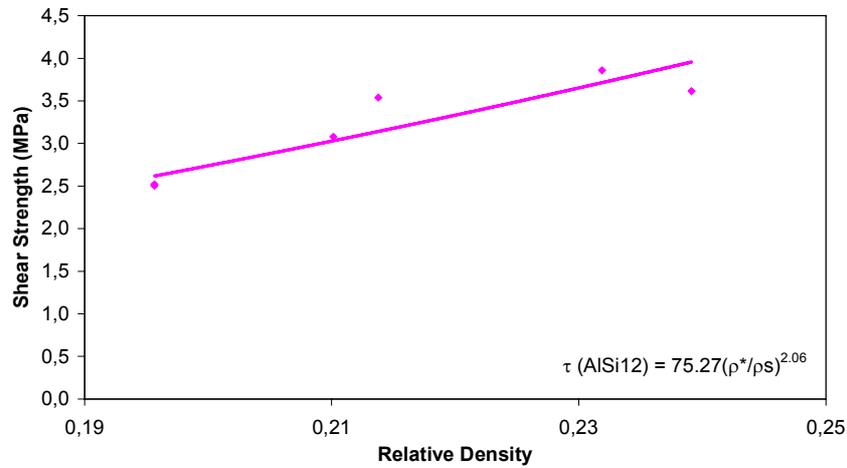
## Schubfestigkeit

Eine allgemeine Näherungsformel folgt dem von Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit her bekannten Muster:

$$\tau_{\text{Schaum}} = \text{Konstante}_{\text{Schub}} * \left( \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{solid}}} \right)^n \quad 1.7 \leq n \leq 2.3$$

In Abb. 12 ist die entsprechende Abschätzung einschließlich den zugehörigen Parametern für AlSi12 dargestellt. Zusätzlich sind in Tabelle 5 individuelle Messergebnisse für AlSi12 und AlMg1SiCu angegeben.

<sup>3</sup> "Influence of heat treatment on compression fatigue of aluminium foams", D. Lehmus et al. Journal of Materials Science (2002), im Druck.



**Abb. 12: Schubfestigkeit von AISi12-Schaum in Abhängigkeit von der Dichte (Testergebnisse und Näherung mit Konstante<sub>Schub</sub> = 75,27 MPa und n = 2,06)**

Matrixlegierung	AlMg1Si (6061)	AISi12
Testrichtung	L	L
$\rho_{\text{Schaum}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,58	0,59
$\tau_{\text{max}}$ [MPa]	3,22	3,19

**Tab. 5: Schubfestigkeit von Al-Schäumen**

## Zugfestigkeit

Allgemein zeigen Metallschäume unter Zugbelastung sprödes Verhalten: Die elastische Verformung wird lediglich von einem vergleichsweise schmalen Bereich plastischer Deformation gefolgt (vgl. indiv. Messwerte in Tab. 6). Die einzelnen Poren der Schaumstruktur wirken als Kerben, die wiederum Ausgangspunkte für Risse bilden können. Dies bedeutet allerdings andererseits, dass die über diesen Effekt hinausgehende Empfindlichkeit gegen eine sich aus der Bauteilgeometrie ergebende Kerbwirkung begrenzt ist. Bei der Konstruktion mit Metallschäumen sollte dennoch versucht werden, Zug- oder Biegebelastungen zu minimieren.

Matrixwerkstoff	AlMg1SiCu (6061)	AlMg1SiCu (6061)
$\rho_{\text{Schaum}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,31	0,458
$\sigma_{\text{max}}$ [Mpa]	2,79	6,06
$\sigma_{\text{Bruch}}$ [Mpa]	2,76	5,99
$\sigma_{\text{elastisch}}$ [Mpa]	1,11	3,31
$\epsilon_{\text{max}}$ [%]	0,84	0,89
$\epsilon_{\text{Bruch}}$ [%]	0,90	0,92

**Tab. 6: Zugfestigkeit von Al-Schäumen der Matrixlegierung AlMg1SiCu**

## Akustische Eigenschaften – Verlustfaktor (Körperschall)

Im Vergleich mit dem massiven Werkstoff zeigen Metallschäume ein deutlich günstigeres Schallabsorptionsverhalten sowie verbesserte Eigenschaften bezüglich mechanischer Dämpfung. Der Verlustfaktor  $\eta$  gibt an, welcher Anteil Schwingungsenergie während einer Periode durch die innere Dämpfung des Materials verlorengeht, d.h. in Wärme umgewandelt wird. Abb. 13 zeigt den Verlustfaktor eines Aluminiumschaums in Abhängigkeit von der Dichte. Abnehmende Dichte des Schaums geht mit einer Zunahme des Verlustfaktors einher. Verglichen mit massivem Aluminium weist der Schaum deutlich höhere Verlustfaktoren auf und wird damit interessant für Strukturanwendungen, in denen Körperschall und Schwingungen ein Problem darstellen.

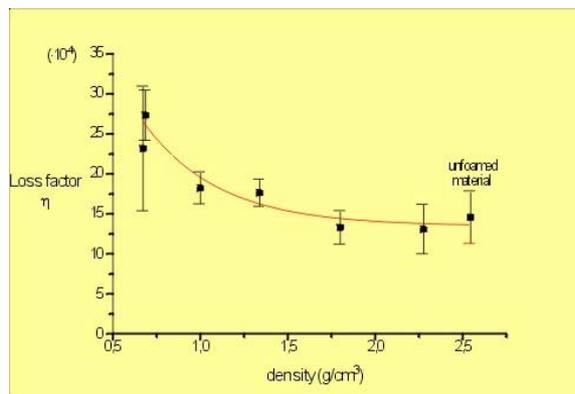


Abb. 13: Verlustfaktor für AlSi12-Schaum und Halbzeug als Funktion der Dichte<sup>4</sup>

## Thermische Eigenschaften

Thermische Eigenschaften metallischer Schäume zeigen Temperaturabhängigkeiten analog den Matrixlegierungen. Überlagert ist bei Leitungsvorgängen eine Dichteabhängigkeit, die dem bekannten Schema entspricht. Dies gilt auch für elektrische Leitungsvorgänge. Wärmekapazität und thermische Ausdehnung entsprechen den vom massiven Material her bekannten Größen.

Legierung	AlMg1SiCu (6061)	AlMg1SiCu (6061)	AlSi7	AlSi7	AlSi12
Wärmebehandlung	ausgeh.	unbeh.	unbeh.	unbeh.	unbeh.
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	0,6	0,6	0,55	0,63	0,6
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	18,4 (RT)	18,4 (RT)	6,1 (50°C) 6,9 (100°C) 7,7 (200°C)	7,8 (50°C) 8,8 (100°C) 9,8 (200°C)	16,7 (RT)
Wärmekapazität [kJ/kgK]	0,92	0,92	0,9	0,9	0,88
Wärmedehnungs-K. [ $10^{-6}/K$ ]	23,1	23,1	-	-	19,9 - 20,6

Tab. 7: Thermische Eigenschaften von Aluminiumschäumen

<sup>4</sup> „Damping properties of aluminium foams“, Banhart et al. in Mat. Sci. Eng. A 205 (1996).

## *FOAMINAL® - Eigenschaften*

---



# Aluminiumschaum-Sandwichmaterial (AFS)

## Allgemeines

Aluminiumschaum-Sandwichmaterial (Aluminium Foam Sandwich – AFS) ist ein aus drei Schichten aufgebauter Werkstoffverbund. Die Deckschichten bestehen aus konventionellen Aluminium-Knetlegierungen, mit denen die Aluminiumschaum-Kernlage, üblicherweise aus einer niedriger schmelzenden Gusslegierung, metallisch verbunden ist.

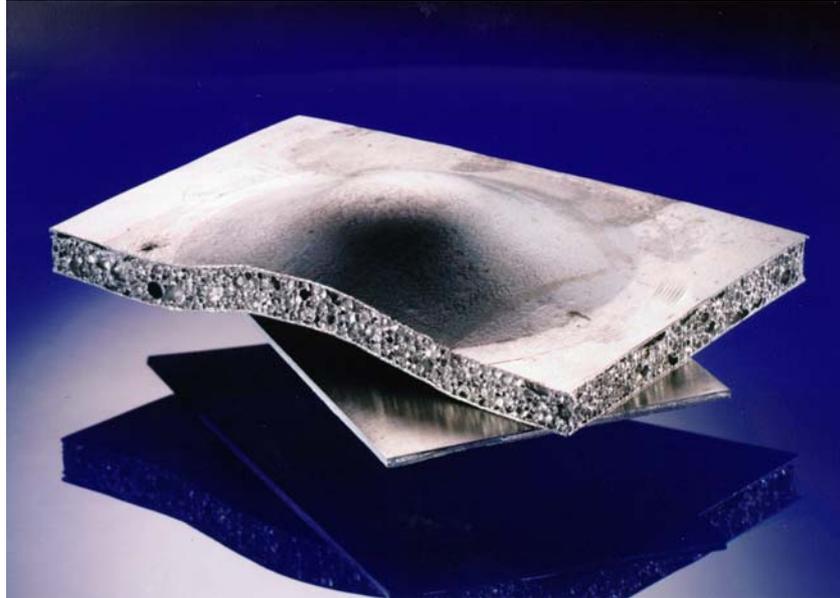


Abb. 14: Aluminiumschaum-Sandwichmaterial (vor und nach dem Schäumen)

## Herstellungsverfahren

Das Herstellungsverfahren für Aluminiumschaum-Sandwichmaterial besteht aus zwei Hauptschritten (vgl. Abb. 15). Nach dem Kompaktieren der Pulvermischung erfolgt ein Walzplattieren des Vormaterials mit den konventionellen Deckblechen. Dabei kann der Walzvorgang zur endgültigen Kompaktierung der schäumbaren Schicht genutzt werden. Vor dem Aufschäumvorgang kann dem Material durch Verfahren der Blechumformung eine dreidimensionale Gestalt gegeben werden. Diese Form bleibt während des Schäumvorgangs und der nachfolgenden Abkühlung erhalten.

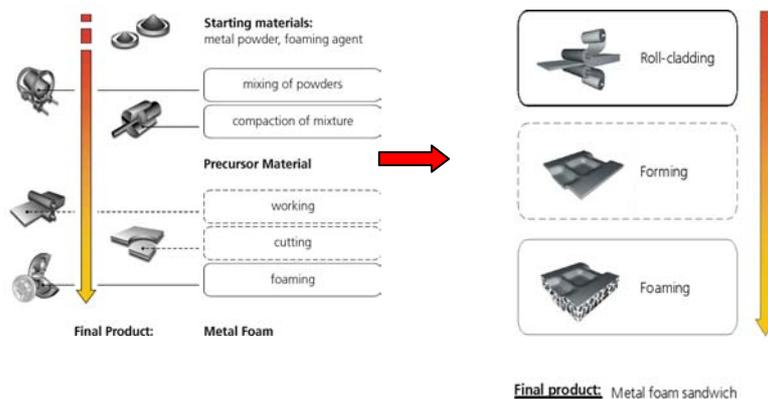


Abb. 15: Herstellungsverfahren für Aluminiumschaum-Sandwichmaterial

# Aluminiumschaum-Sandwichmaterial (AFS)

## Eigenschaften

Aluminiumschaum-Sandwichmaterial zeichnet sich durch eine hervorragende Biegesteifigkeit aus. Diese Eigenschaft ist zurückzuführen auf den Sandwichaufbau und das damit einhergehende Zusammenwirken von Deckblechen und Aluminiumschaum-Kernlage. Vor dem Schäumen weist das Material die Steifigkeit eines herkömmlichen Al-Blechtes gleicher Dicke auf, nach dem Schäumen erhält man den klassischen Sandwicheffekt, indem sich durch die Expansion deutlich erhöhte Flächenträgheitsmomente ergeben und der Schaumkern im wesentlichen Schubbelastungen aufnimmt. Die Biege- und Torsionssteifigkeit erhöht sich gegenüber dem herkömmlichen Al-Blech um ein Mehrfaches.

Die Eigenschaften von Aluminiumschaum-Sandwichmaterial hängen wesentlich von den Dickenverhältnissen zwischen Kernlage und Deckschichten ab. Grundsätzlich können unterschiedlichste Abmessungen eingestellt werden. Als eine Standardkonfiguration steht derzeit u.a. das wie folgt beschriebene Material zur Verfügung:

- Sandwichdicke 11 mm
- Dicke der Decklagen 1 mm
- Dichte der Kernlage ca. 0,3 g/cm<sup>3</sup>
- Dichte des Verbundes ca. 0,8 g/cm<sup>3</sup>
- Flachengewicht 9,23 kg/m<sup>2</sup>

Die Dicke der Decklagen wie der Kernlage sowie die Dichte der Kernlage können an Kundenwünsche angepasst werden. Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften des Standardmaterials sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Prüfrichtung	In Dickenrichtung	Parallel zur Oberfläche
Elastizitätsmodul [GPa]	2.5	15
$\sigma_{\text{Zug, max}}$ [MPa]	4	90
$\sigma_{\text{Druck, max}}$ [MPa]	8	n.a.
$\tau_{\text{max}}$ [MPa]	4	n.a.
Thermische Ausdehnung [1/K]	$23 \times 10^{-6}$	
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	12	235
Wärmekapazität (20 ... 100 °C) [J/gK]	0.9	
Max. Betriebstemperatur [°C]	430	
Schallabsorption (1 ... 10 kHz) [%]	30	
Elektrische Leitfähigkeit [m/Ωmm <sup>2</sup> ]	2.1	34

**Tab. 8: Eigenschaften von Standard-Aluminiumschaum-Sandwichmaterial**

# *Aluminiumschaum-Sandwichmaterial (AFS)*

---

## **Formgebung und Weiterverarbeitung**

Das Halbzeug mit aufschäumbarer Kernlage kann wie konventionelles Al-Blechmaterial umgeformt werden. Dabei ist zu beachten, dass durch den Walzplattiervorgang alle Schichten einer gewissen Kaltverfestigung unterliegen. Je nach Grad der Umformung kann daher eine eingeschobene Glühbehandlung erforderlich sein.

Die dreidimensionale Formgebung stellt für den Aufschäumvorgang kein prinzipielles Problem dar. Die Formgebung unterliegt jedoch insofern einer gewissen Beschränkung, als dass die Richtung des Expansionsvorganges naturgemäß normal zur Blechebene liegt. Daher muss die Umformung des Bleches in diese Richtung einen Freiheitsgrad für die aus der Expansion der Kernlage resultierende Bewegung der Deckbleche gegeneinander zur Verfügung stellen. Geschlossene oder U-Profile, die aus dem schäumbaren Vormaterial gefertigt werden, verletzen diese grundlegende Forderung.

Hinsichtlich des Schäumprozesses ähnelt die Produktion von Aluminiumschaum-Sandwichstrukturen dem von FOAMINAL®-Bauteilen her bekannten Prozess. Dies gilt insbesondere für die einzuhaltenden optimalen Zeit-Temperatur-Verläufe. Andererseits kann abhängig von den an das fertige Bauteil zu stellenden Genauigkeitsanforderungen unter Umständen auf die Verwendung einer Schäumform verzichtet werden. Bei sehr engen Toleranzen ist lediglich eine unterstützende Struktur vonnöten, die die Expansion entsprechend den Vorgaben begrenzt. Diese Vorgehensweise wird durch die Abstimmung zwischen den Schmelztemperaturen der Kern- gegenüber der Decklage möglich: Während die Kernlage im Zuge der Expansion vollständig aufschmilzt, büßt die Decklage allenfalls Festigkeit ein, verbleibt jedoch im festen Zustand und erhält die ihr aufgeprägte Form.

Nach dem Schäumen können die Aluminiumschaum-Sandwichbauteile mittels Pressen kalibriert oder lokal verdichtet werden. Hinsichtlich der verwendbaren Verbindungstechniken erweitert das Vorhandensein der massiven Decklagen das Spektrum anwendbarer Verfahren, u.a. im Bereich des Schweißens, wo etwa mittels WIG-Schweißen eine Verbindung mit hauptsächlichem Zusammenhalt über die Kernlagen realisiert werden kann.