

## Aluminiumschäume und ihre Eigenschaften

Dr.-Ing. **M. Weber**, Dipl.-Phys. **J. Baumeister** und Dr. **J. Banhart**, Bremen

### 1. Einleitung

In der klassischen Gießereitechnik stellt die Existenz von Poren im Inneren der Gußteile stets eine Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften des Bauteils dar, so daß zum Teil erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um das Auftreten von Poren zu verhindern. Bei gezielter Einstellung einer hohen Porosität im Werkstoff ergeben sich jedoch eine Reihe interessanter Eigenschaften, die für verschiedene Anwendungsgebiete von besonderem Interesse sind: Die hochporöse, zellulare Struktur der metallischen Schäume führt neben einem geringen spezifischen Gewicht auch zu einer hohen spezifischen Steifigkeit. Aluminiumschäume weisen ein besonderes Stauchungsverhalten auf, welches sie durch einen großen Verformungsbereich ohne wesentlichen Kraftanstieg für Energie-dissipationsaufgaben prädestiniert. Weiterhin sind elektrische und thermische Leitfähigkeiten erheblich reduziert. Der breite Einsatztemperaturbereich, die Nichtbrennbarkeit sowie die Recyclierbarkeit sind weitere wichtige Vorzüge des Materials. Zwei verschiedene Verfahren zur Herstellung hochporöser Aluminiumschäume werden vorgestellt und bezüglich ihrer jeweiligen Vorteile bewertet. Der Einfluß der Schaumdichte auf verschiedene Bauteileigenschaften wird diskutiert und auf grundlegende Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt. Weiterhin werden Möglichkeiten zur Gestaltung und Optimierung von Metallschäumen für Energieabsorptionsaufgaben sowie Möglichkeiten zur Herstellung endkonturnaher Bauteile und Integralbauteile beispielhaft dargestellt.

### 2. Herstellungsverfahren von hochporösen Aluminiumschäumen

In der Patentliteratur sind Verfahren zur Herstellung geschäumter Metalle schon seit geraumer Zeit erwähnt. Gründe für den bisher relativ gering gebliebenen Bekanntheitsgrad der Metallschäume sind sicherlich zum einen die teils schwierige Prozeßkontrollierbarkeit und zum anderen die hohen

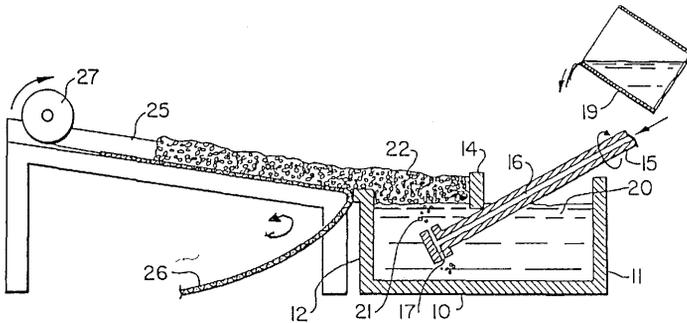
Produktionskosten einiger bislang bekannter Herstellungsverfahren. Die verschiedenen Verfahren zur Herstellung metallischer Schäumen können im wesentlichen in vier Kategorien eingeteilt werden:

- Schmelzmetallurgische Verfahren
- Pulvermetallurgische Ansätze
- Abscheidetechniken
- Sputter-Technologie

Von diesen Ansätzen zeigen insbesondere zwei in den letzten Jahren neu entwickelte Verfahren ein interessantes Potential.

**2.1 Direktes Aufschäumen der Schmelze nach [1,2]**

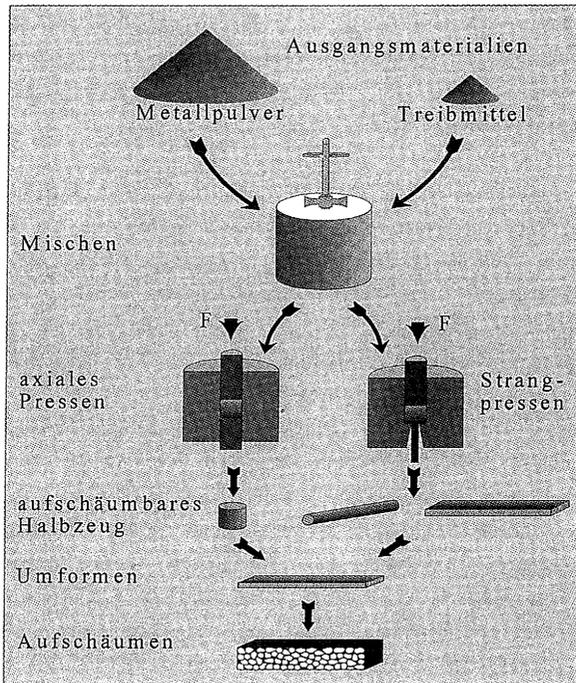
Eine Aluminiumschmelze wird gezielt durch Einbringen von keramischen Partikeln ( $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sowie durch Legierungsmaßnahmen so modifiziert, daß sie durch ein eingeblasenes Gas zum Aufschäumen gebracht werden kann. Die in der Schmelze entstehenden Blasen steigen an die Oberfläche auf und bilden dort einen Flüssigkeitsschaum, der durch geeignete Abkühlung in seiner porösen Form konserviert werden kann (siehe Abb. 1). Verschiedene Ansätze zur Modifikation der Schmelze sind unternommen worden, um eine bessere Kontrolle und Reproduzierbarkeit des Schäumvorganges sowie eine längere Stabilisierung des Schaumes zu gewährleisten. Hydro Aluminium verfügt über eine halb-kontinuierliche Pilotfertigung und kann z. Zt. Aluminiumschaum-Plattenmaterial bis zu einer Breite von 150 mm und einer Länge von 1500 mm produzieren.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung des schmelzmetallurgischen Verfahrens nach [2]

## 2.2 Pulvermetallurgische Metallschaumherstellung nach [4]

Im Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen wurde ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von geschäumten Metallen entwickelt. Nach diesem Verfahren (siehe Abb. 2) werden handelsübliche Pulver aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen mit geringen Mengen eines ebenfalls pulverförmigen Treibmittels vermischt. Auf diese Weise wird eine homogene Verteilung des gasabsplattendes Treibmittelpulvers in dem Metallpulver eingestellt. Anschließend wird diese Pulvermischung z.B. durch direktes Pulverstrangpressen zu einem dichten, aufschäumbaren Vormaterial verdichtet.



**Abb. 2:** Schematische Darstellung des pulvermetallurgischen Verfahrens nach [4]

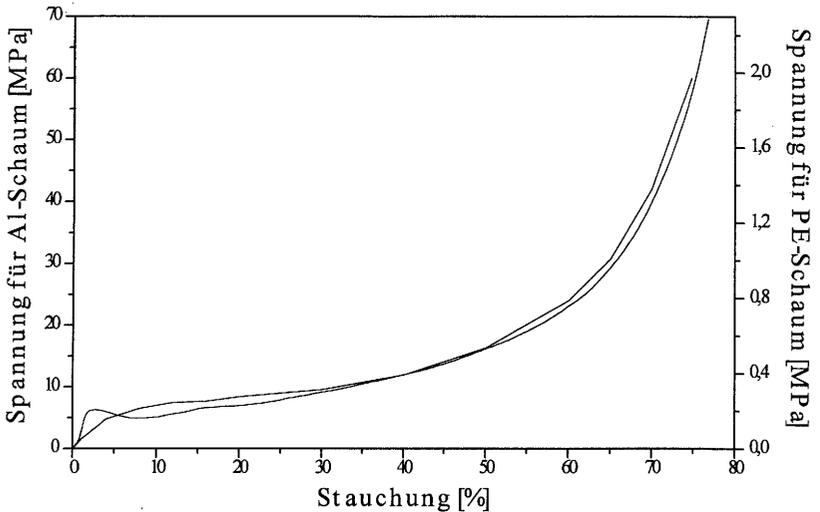
Durch eine anschließende Erwärmung des Vormaterials auf Temperaturen mindestens im Bereich des Schmelzpunktes expandiert der Werkstoff unter der Wirkung des Treibmittels und entfaltet dabei seine hochporöse, geschlossenzellige Porenstruktur. Relativ komplexe, endgeometrienaher Formteile können erzeugt werden, indem entsprechend gestaltete Hohlformen mit dem aufschäumbaren

Material gefüllt und durch gemeinsame Erwärmung ausgeschäumt werden. Weiterhin ist es möglich, Sandwichstrukturen mit einem hochporösen Metallschaumkern und Deckblechen aus massivem Stahl oder Aluminium herzustellen. Das ursprünglich für Aluminium und seine Legierungen entwickelte Schäumverfahren ist inzwischen auf verschiedene andere Metalle (Zink, Blei, Bronze etc.) übertragen worden.

### 3. Eigenschaftsspektrum metallischer Schäume

Die offensichtlichste Eigenschaft geschäumter Werkstoffe ist ihr geringes spezifisches Gewicht. Mit Hilfe des pulvermetallurgischen Verfahrens werden Aluminiumschäume üblicherweise im Dichtebereich zwischen 0,4 und 1 g/cm<sup>3</sup>, mit den schmelzmetallurgischen Verfahren typischerweise im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 g/cm<sup>3</sup> erreicht. Aufgrund ihrer überwiegend geschlossenporigen Struktur schwimmen Aluminiumschäume in Wasser.

Im Gegensatz zu inkompressiblen, dichten Festkörpern ändern poröse Werkstoffe während der plastischen Verformung ihre Dichte, wobei das plastische Verhalten poröser Werkstoffe dabei prinzipiell durch die Plastizität des Grundmetalls und durch die Porosität bestimmt wird. Die mechanischen Eigenschaften von geschäumten Werkstoffen werden in der Regel in Druckversuchen und nicht in Zugversuchen ermittelt, da Schäume generell eher für die Aufnahme von Druck- als von Zugbelastungen geeignet sind und daher dementsprechend eingesetzt werden. Die sich verformende Zellstruktur führt zu einem gänzlich anderen Kraft-Verformungs-Verhalten im Vergleich zu massiven Werkstoffen, wie es in Abb. 3 anhand der Verformungskurven für einen Aluminiumschaum und für einen Polyethylenschaum ähnlicher Porosität im Vergleich dargestellt ist. Die Kurven zeichnen sich durch einen nahezu linearen Spannungsanstieg im Anfangsbereich der Stauchung aus, der bei einigen Prozenten Stauchung in einen ausgeprägten Plateaubereich mit nur sehr flachem Spannungsanstieg übergeht. Im Bereich der Wiederverdichtung der Schaumstruktur, wo sich die eingeknickten Zellmembranen gegenseitig berühren und abstützen, kommt es wieder zu einem steilen Spannungsanstieg. Trotz wesentlicher Unterschiede im mikroskopischen Verformungsverhalten der beiden Materialien weisen beide Schäume makroskopisch ein ähnliches Verformungsverhalten auf. Aufgrund der höheren Matrixfestigkeit des Aluminiums ist jedoch das Festigkeitsniveau des Metallschaums etwa 30 mal höher als das des Polymerschaums, was in Abb. 3 durch die unterschiedliche Skalierung der beiden Ordinaten deutlich wird. Diese spezielle Form der Spannungs-Stauchungs-Kurve verdeutlicht das exzellente Energieabsorptionsvermögen von Schäumen; auf einem einstellbaren Spannungsniveau können Schäume durch Deformation viel Energie absorbieren.

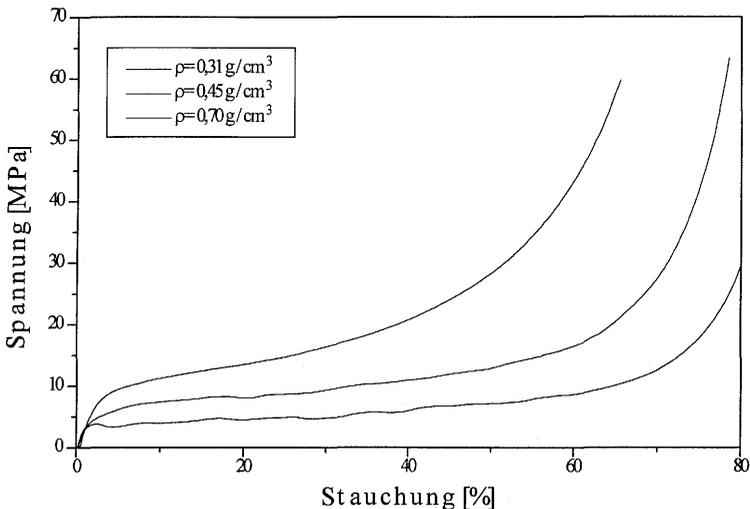


**Abb. 3:** Spannungs-Stauchungs-Kurve für einen Aluminiumschaum mit 87% Porosität (linke Ordinate, durchgezogene Linie) und für einen Polyethylenschaum mit 83% Porosität (rechte Ordinate, gebrochene Linie)

In Abb. 4 sind typische Spannungs-Stauchungs-Kurven für drei verschiedene Schaumdichten dargestellt. Man erkennt an den Kurven, daß mit zunehmender Dichte das Festigkeitsniveau der Schäume ansteigt. Gleichzeitig setzt mit höherer Metallschaumdichte der Bereich der Verdichtung und somit der Wiederanstieg der Spannung früher ein. Eine Variation der Matrixlegierung oder des Wärmebehandlungszustandes des Metallschaums erlaubt das Anheben des Kraftverformungsniveaus, ohne daß die Länge des Plateaus verkürzt wird.

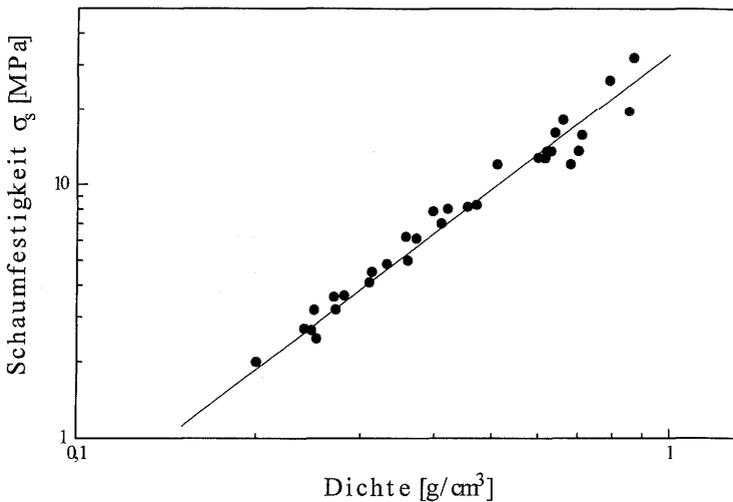
Da bei Schäumen keine genau definierte Grenze von linear elastischem zu plastischem Verhalten vorliegt, wird in der Regel als Druckfestigkeit von Schaumstoffen die auf den Anfangsquerschnitt des Probekörpers bezogene Höchstkraft verstanden, bei welcher der Zellkollaps beginnt und die Steigung der Spannungs-Stauchungs-Kurve zum ersten Mal gleich Null wird. Da die Ausprägung des ersten Peaks in der Spannungs-Stauchungs-Kurve bei Aluminiumschäumen teilweise variiert, wird im folgenden die Druckspannung nach einer Stauchung von 20% ausgewertet. Um zugrundeliegende Abhängigkeiten besser zu erkennen, ist die Abhängigkeit des Festigkeitsniveaus von der Schaumdichte am Beispiel einer eutektischen AlSi12-Legierung in Abb. 5 in einer doppelt-logarithmischen

Darstellung aufgetragen. Man stellt fest, daß die Festigkeit in dieser Darstellung etwa linear mit der Dichte ansteigt. Die durch die Meßpunkte gelegte Ausgleichsgerade weist eine Steigung von 1,78 auf, wodurch eine annähernd quadratische Abhängigkeit der Druckspannung von der Schaumdichte angezeigt wird.



**Abb. 4:** Typische Spannungs-Stauchungs-Kurven für drei verschiedene Schaumdichten

Da bei Schäumen keine genau definierte Grenze von linear elastischem zu plastischem Verhalten vorliegt, wird in der Regel als Druckfestigkeit von Schaumstoffen die auf den Anfangsquerschnitt des Probekörpers bezogene Höchstkraft verstanden, bei welcher der Zellkollaps beginnt und die Steigung der Spannungs-Stauchungs-Kurve zum ersten Mal gleich Null wird. Da die Ausprägung des ersten Peaks in der Spannungs-Stauchungs-Kurve bei Aluminiumschäumen teilweise variiert, wird im folgenden die Druckspannung nach einer Stauchung von 20% ausgewertet. Um zugrundeliegende Abhängigkeiten besser zu erkennen, ist die Abhängigkeit des Festigkeitsniveaus von der Schaumdichte am Beispiel einer eutektischen AlSi12-Legierung in Abb. 5 in einer doppelt-logarithmischen Darstellung aufgetragen. Man stellt fest, daß die Festigkeit in dieser Darstellung etwa linear mit der Dichte ansteigt. Die durch die Meßpunkte gelegte Ausgleichsgerade weist eine Steigung von 1,78 auf, wodurch eine annähernd quadratische Abhängigkeit der Druckspannung von der Schaumdichte angezeigt wird.



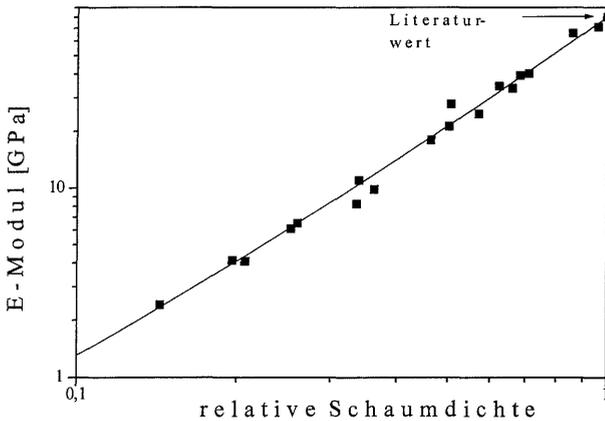
**Abb. 5:** Doppelt-logarithmische Darstellung der Schaumfestigkeit von AlSi12-Schäumen in Abhängigkeit von der Schaumdichte

Obwohl der erste Teil der Spannungs-Stauchungs-Kurve gewöhnlich als linear-elastischer Bereich bezeichnet wird, ist davon abzuraten, den Elastizitätsmodul geschäumter Metalle in der sonst üblichen Weise als Tangente im Anfangsbereich der Kurve zu bestimmen. Es stellte sich heraus, daß selbst in dieser frühen Phase des Belastungsvorgangs bereits kleinere plastische Verformungsbeiträge auftreten. Als Ursache hierfür kommen Probensetzungen, Heterogenitäten der Porenstruktur sowie andere Probendefekte in Betracht. Aus diesem Grund sind rein elastische Prüfverfahren, wie z.B. das Biegeschwingsungsverfahren oder Ultraschallmethoden, vorzuziehen. Beim Biegeschwingsungsverfahren werden stabförmige Proben mit rechteckigem Querschnitt zu Biegeschwingsungen angeregt und aus der Resonanzfrequenz der Elastizitätsmodul berechnet. Da die Meßergebnisse sich als frequenzunabhängig erweisen, können die so bestimmten Werte mit dem statischen E-Modul gleichgesetzt werden.

Wiederum zeigt sich durch die Darstellung in logarithmischer Form in Abb. 6, daß ebenfalls die Abhängigkeit des E-Modul von der Schaumdichte durch ein einfaches Potenzgesetz beschrieben werden kann (Steigung hier: 1,89).

Allgemein kann festgestellt werden, daß die Eigenschaften von geschäumten Metallen vor allem von den folgenden Parametern beeinflusst werden:

- Schaumdichte
- Matrixlegierung
- Wärmebehandlungszustand
- Porenmorphologie



**Abb. 6:** Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Schaumdichte in doppelt-logarithmischer Auftragung

Wichtigster struktureller Eigenschaftsparameter für Aluminiumschäume ist jedoch eindeutig die Schaumdichte. Die Druckfestigkeit und der Elastizitätsmodul sowie die elektrische Leitfähigkeit von Aluminiumschäumen lassen sich empirisch recht gut mit der allgemeinen Gleichung

$$\varphi_s = \varphi_m \left( \frac{\rho_s}{\rho_m} \right)^n$$

abschätzen, in der  $\varphi_s$  die Eigenschaftsgröße des Schaums und  $\varphi_m$  die Eigenschaftsgröße der Matrix darstellen sowie  $\rho_s$  die Schaumdichte und  $\rho_m$  die Matrixdichte charakterisieren. Bei der Druckfestigkeit, dem Elastizitätsmodul und der Leitfähigkeit entsprechen  $\varphi_m$  den jeweiligen Eigen-

schaftswerten der Matrix. Der Exponent  $n$  liegt bei den drei beschriebenen Eigenschaftsgrößen für die bisher untersuchten Aluminiumschäume meist in einem Bereich zwischen 1,5 und 2.

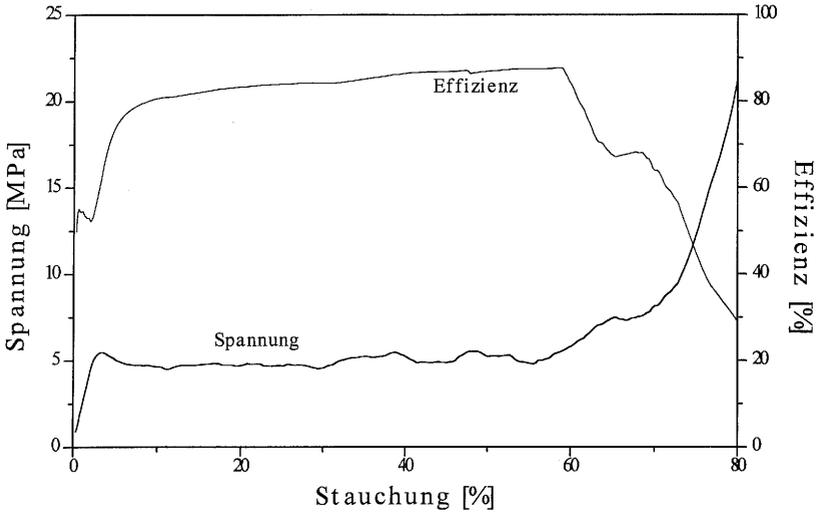
#### 4. Energieabsorption von Aluminiumschäumen

Polymere Schäume oder Wabenstrukturen finden bisher zu einem großen Teil Verwendung in energieabsorbierenden Strukturen. Die Fähigkeit, das Spannungs-Stauchungs-Verhalten durch geeignete Wahl von Matrixmaterial, Zellgeometrie und relativer Dichte zu kontrollieren, macht Schäume zu einem idealen Werkstoff für derartige Anwendungen. Entscheidend für die Qualität eines Verpackungsschutzes oder eines Crashelementes ist dabei die Eigenschaft Energie zu absorbieren, ohne daß die Höchstspannung, bzw. die höchste Beschleunigung eine Obergrenze überschreitet, bei der Schäden oder Verletzungen eintreten. Metallische Schäume können Kunststoffschäumen insbesondere dort überlegen sein, wo aufgrund eines geringeren zur Verfügung stehenden Bauraumes höhere Verformungsspannungen bei gleicher oder verbesserter Energieaufnahme erwünscht sind. Da Aluminiumschäume in einem relativ breiten Dichte- bzw. Eigenschaftsspektrum erzeugt werden können, stellt sich die Frage, welcher Schaum für eine vorgesehene Energieabsorptionsaufgabe am besten geeignet ist. Für diese Auswahl können analytische Methoden eingesetzt werden, welche die Anforderungen und entscheidenden Schaumparameter miteinander kombinieren.

Um das Energieabsorptionsverhalten von Schaumwerkstoffen näher zu charakterisieren, ist es aufschlußreich, den Effizienzwert  $\eta$  zu bestimmen. Bei einer gegebenen Stauchung ist dieser Wert definiert als das Verhältnis der tatsächlich absorbierten Energie zu dem Energiebetrag, den ein idealer Absorber erreichen könnte. Während ein idealer Absorber einen rechteckigen Verlauf der Spannungs-Stauchungs-Kurve aufweisen würde, kann dieses Verhalten von realen Materialien nur angenähert werden. Aus diesem Grund liegt der Effizienzwert stets unter 1, d.h. unter 100 %.

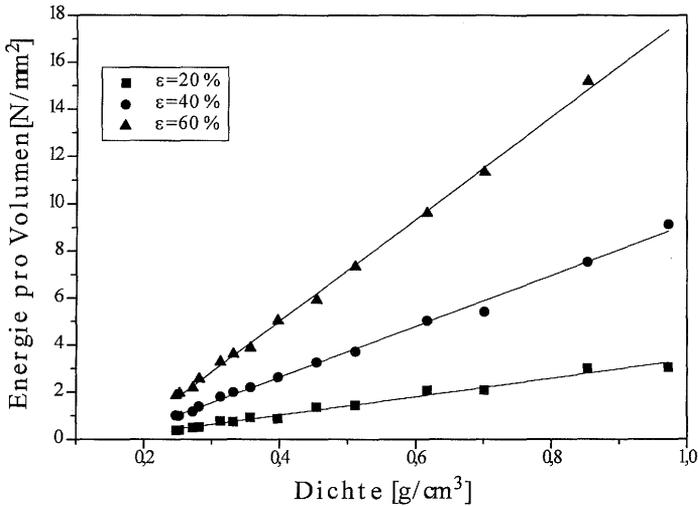
Bei allen realen Werkstoffen verändert sich die Druckspannung während der Stauchung, so daß sich die berechnete Effizienz ebenfalls über den Verformungsweg ändert und stark mit dem jeweiligen Verlauf der Kraft-Weg-Kurve variiert. Die Aluminiumschäume erreichen je nach Dichte und Legierung im Anfangsbereich der Verformung Effizienzwerte von bis zu 90 %. Die Länge des Plateaus im Kraftverlauf wird entscheidend von der relativen Dichte, der genauen Zellmorphologie, der Schaumhomogenität sowie von Dichtegradienten beeinflusst. Im Bereich der Wiederverdichtung des Schaumes sinkt mit ansteigender Spannung die Effizienz stark ab. Abb. 7 zeigt die Spannungs-Stauchungs-Kurve eines AlSi12 Schaumes mit dem numerisch ermittelten Verlauf der Effizienz (rechte Skala im Diagramm).

Die Bestimmung der Effizienz der Energieabsorption eignet sich als recht detaillierte Darstellung für die direkte Bewertung eines bestimmten Probekörpers bezüglich seiner Energieabsorptionseigenschaften und läßt schnelle Rückschlüsse von Schaummorphologie auf das Deformationsverhalten zu.



**Abb. 7:** Verlauf der Spannung und der numerisch ermittelten Effizienz der Energieabsorption für einen AlSi12-Schaumes der Dichte  $0,36 \text{ g/cm}^3$

Insbesondere für die Konstruktion im Bereich des Transportwesens ist der Raum- und Gewichtsbedarf von zusätzlich unterzubringenden Baugruppen von besonderer Bedeutung. Die auf das Ausgangsvolumen des Energieabsorbers bezogene absorbierte Stoßenergie ist daher von Interesse und in Abb. 8 gegenüber der relativen Dichte verschiedener Schäume aufgetragen. Die drei Kurven stellen die bei Stauchungsgraden von 20 %, 40 % und 60 % jeweils umgewandelten Verformungsenergien dar und sind aus den Daten der Druckversuche berechnet.

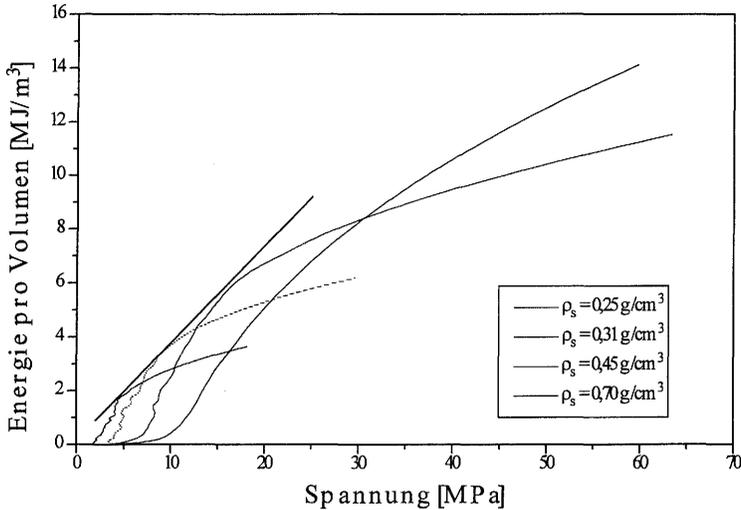


**Abb. 8:** Darstellung der auf das Ausgangsvolumen bezogenen Energieaufnahme von Schäumen verschiedener Dichten nach einer Stauchung  $\epsilon$  von jeweils 20 %, 40 % und 60 %

Es zeigt sich die erwartete starke Zunahme der auf das Ausgangsvolumen bezogenen Stoßenergie mit ansteigender Dichte. Entscheidend für die Verwendung eines Energieabsorbers ist jedoch vor allem auch die maximale Spannung, die bis zur Dissipation der Energie erreicht wird. Ein idealer Schaum absorbiert demnach eine vorgegebene Energie bei einer minimalen Höchstspannung und wird somit ideal eingesetzt, wenn er bis zum Ende des Plateaus im Spannungs-Stauchungs-Diagramm belastet wird. Für jede gewünschte Energieabsorption ergibt sich somit ein Schaum einer ganz bestimmten Dichte, der diese Verformung bei einer minimalen Maximalspannung durchführt.

Um für den jeweils vorliegenden Belastungsfall die günstigste Schaumdichte zu bestimmen, bietet sich auch die in Abb. 9 gewählte Auftragung an. Es wird dort ausgehend von einer Schar von Spannungs-Dehnungs-Kurven die aktuell absorbierte Energie durch Integration von Spannung und Stauchung (entsprechend der Fläche unter den jeweiligen Kurven) bestimmt. Die von den verschiedenen Schäumen pro Volumeneinheit des Ausgangsvolumens absorbierte Energie ist dann in Abb. 9 gegenüber der bis dahin maximal aufgetretenen Spannung aufgetragen. Mit der Einhüllenden durch die verschiedenen Kurven bestimmt man die jeweils günstigsten Schaumdichten für die vorliegenden Belastungsfälle: Bei einer maximal tolerierbaren Spannung von beispielsweise 17 MPa

erhält man für die dargestellte AlSi12-Legierung eine optimale Schaumdichte  $\rho_s$  von  $0,45 \text{ cm}^3$ . Mit diesem Schaum kann bis zum Spannungsniveau von 17 MPa eine Stoßenergie von  $6 \text{ MJ/m}^3$  absorbiert werden. Das dargestellte Diagramm gestattet somit die Auswahl der jeweils optimalen Energieabsorber für gegebene Energieabsorptionaufgaben.



**Abb. 9:** Diagramm zur Auswahl des optimalen Energieabsorbers  
Darstellung der auf das Ausgangsvolumen bezogenen absorbierten Energie gegenüber der bisherigen maximalen Deformationsspannung

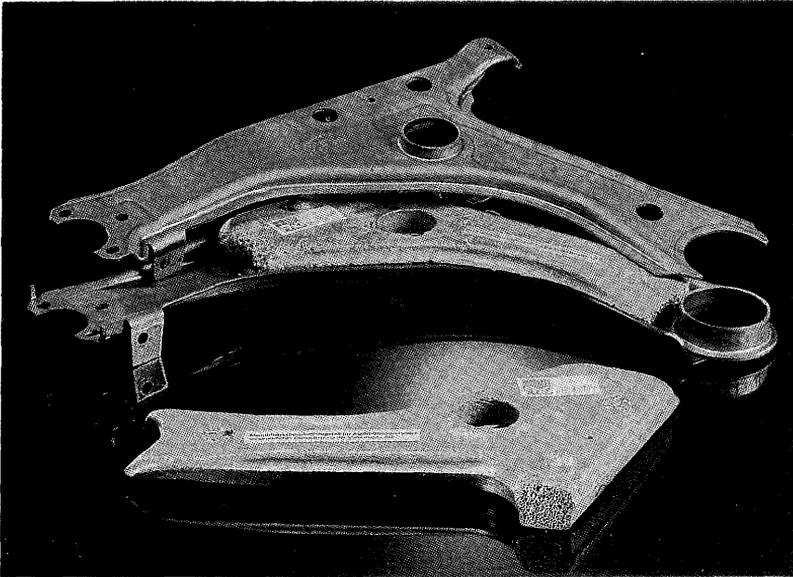
## 5. Herstellung dreidimensionaler Bauteile

Für die Herstellung von Bauteilen aus geschäumtem Aluminium bieten sich mehrere Möglichkeiten an, die von dem verfahrenstechnischen Vorteil des pulvermetallurgischen Verfahrens ausgehen, daß nach der Pulverkompaktierung zunächst ein aufschäumbares Vormaterial vorliegt. Die herstellbaren Bauteile sind prinzipiell nach Formteilen und Verbundbauteilen zu unterscheiden.

### 5.1 Formteile

Mit Hilfe des aufschäumbaren Vormaterials können endgeometrienaher Formteile elegant durch Ausschäumen entsprechender Hohlformen erzeugt werden. Dazu wird das Vormaterial in die Form eingelegt und anschließend in geeigneter Weise erwärmt. Nach Erreichen des Schmelzpunktes beginnt

das Material zu expandieren und füllt dadurch die Form aus. Hinsichtlich der Wahl des Formmaterials ergibt sich hieraus unmittelbar die Forderung nach einer ausreichend hohen Thermoschock-Beständigkeit im Temperaturbereich bis zu ca. 800°C. Obwohl quantitative Aussagen über den Expansionsdruck des Aluminiumschaums noch nicht vorliegen, ist davon auszugehen, daß die Anforderungen an die Festigkeit des Formmaterials gering sind, da die Expansion im schmelzflüssigen Zustand und in einer Auslaßöffnung nach Art eines Steigers versehene Form erfolgt.



**Abb. 10:** Formteil aus Aluminiumschaum der Dichte  $0,5 \text{ g/cm}^3$  als Einlege­teil für eine Stahlblech-Hohlkonstruktion (mit freundlicher Genehmigung der Volkswagen AG)

Gute Erfahrungen wurden bisher mit Stahl und keramischen Werkstoffen als Formmaterial gemacht. Dabei zeigte sich, daß dünnwandige Formen aus tiefgezogenen Stahlblechen vorteilhaft sind, aber auch dickwandigere Formen bei entsprechender Prozeßkontrolle zu guten Ergebnissen führen. Abb. 10 zeigt als Beispiel einer ausgeschäumten Automobil-Hohlstruktur einen Querlenker als Einlege­teil.

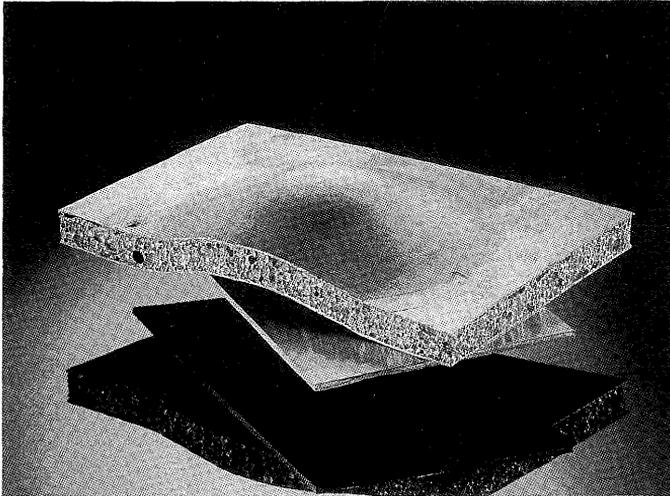
Abschließend sei auch auf die Möglichkeit hingewiesen, Formteile durch zerspanende Bearbeitung herzustellen. Hier müssen jedoch Kompromisse gemacht werden, da durch die Zerspanung die äußere Schäumhaut abgetragen wird und die Poren im Inneren des Werkstoffs angeschnitten werden.

## 5.2 Verbundbauteile

Im Bereich der Verbundbauteile kann zwischen artgleichen und artfremden Verbundpartnern unterschieden werden. So kann der Aluminiumschaum für sandwichartige Verbunde zum einen mit Deckblechen aus konventionellem Aluminium, zum anderen auch mit Stahlblechen kombiniert werden. Solche Verbunde sind einfach aus schmelzmetallurgischem und aus pulvermetallurgischem Metallschaum durch eine Klebverbindung herstellbar.

Das pulvermetallurgische Verfahren eröffnet auch die Möglichkeit, derartige Verbundbauteile mit metallischer Bindung der Deckbleche zum Schaumkern und somit höherer Temperaturbeständigkeit und Schälfestigkeit zu realisieren. Dazu wird das aufschäumbare massive Aluminium-Halbzeug durch einen Walzplattiervorgang mit Stahl- oder Aluminiumdeckblechen verbunden. Dieser Verbund kann falls gewünscht noch durch Tief- oder Streckziehen verformt werden. Erst in der nachgeschalteten Wärmebehandlung wird der Aluminiumkern zum Aufschäumen gebracht und es entsteht ein rein metallisches, steifes Sandwich. Abb. 11 zeigt als Beispiel eine gewölbte Sandwichstruktur aus Stahldeckblechen und einem Aluminiumschaumkern.

Zum Themenkreis der Verbundbauteile mit metallischer Bindung zum Schaumkern gehören im weitesten Sinne auch die Integralschäume, da hier die beiden Verbundpartner zwar eine identische chemische Zusammensetzung, aber eine stark unterschiedliche Dichte aufweisen. Solche Struktur- oder Integralschäume können z.B. durch eine gezielte, inhomogene Temperaturführung des Schäumvorgangs hergestellt werden.



**Abb. 11:** Gewölbte Sandwichstruktur aus Stahldeckblechen und Aluminiumschaumkernlage auf dem unverformten, ungeschäumten Ausgangsmaterial (Ergebnis eines von der Studiengesellschaft Stahlanwendung e. V. finanzierten Verbundprojektes mit der RWTH Aachen)

## 6. Literaturverweise

- [1] Ruch, W.; Kirkevåg, B.: *A Process of Manufacturing Particle Reinforced Metal Foam and Product Thereof*. Patent Norsk Hydro a.s: WO 91/ 01387
- [2] Jin, I., Kenny, L.; Sang, H.: *Lightweight foamed metal and its production*. Patent ALCAN: WO 91/ 03578
- [3] Produktdatenblätter „Aluminium Foam“ Hydro Aluminium
- [4] Baumeister, J.: *Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper*. Patent IFAM: DE 40 18 360.2, 1990
- [5] Weber, M.: *Herstellung von Metallschäumen und Beschreibung der Werkstoffeigenschaften*, Dissertation TU Clausthal 1995
- [6] Banhart, J. Baumeister, J.; Weber, M.: *Metallschaum-ein Werkstoff mit Perspektiven*. Aluminium. Heft 3/4, 1994, 209 - 213
- [7] Baumeister, J.; Banhart, J.; Weber, M.: *Effiziente Herstellungsmöglichkeiten für Bauteile aus geschäumten Metallen*. In: VDI Berichte 1151, 223 - 230