

## Metallschaum – ein Werkstoff für die Wärmetechnik

Offenporige Strukturen steigern die Effizienz von Wärmeübertragern und Kühlelementen



*Metallschäume entwickeln sich immer mehr zu Werkstoffen mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Während sich Metallschäume mit geschlossenen Poren als steife und feste Leichtbaumaterialien bereits etabliert haben, eignet sich die offenzellige Variante für wärmetechnische Anwendungen. Bisher findet sich der Werkstoff selten in Wärmeübertragern oder Kühlern, denn die Herstellung ist teuer und die Anwendung wenig erprobt. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden wollen dies ändern. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickeln sie die Produktionsverfahren weiter, charakterisieren unterschiedliche Metallschäume und testen sie in der Praxis.*

Das Material bietet ideale Voraussetzungen für den Bau von Wärmeübertragern, Kühlern oder Konvektoren. Sie lassen sich bei einer Porosität von bis zu 95 Prozent gut von Gasen oder Flüssigkeiten durchströmen. Dabei ermöglicht die große Oberfläche des Schaums zusammen mit der guten Leitfähigkeit des Metalls die Übertragung großer Wärmemengen. Offenzellige Metallschäume können mit Zellenweiten zwischen 0,3 und 5 mm hergestellt werden. Das thermische und strömungstechnische Verhalten der unterschiedlichen Metallschäume war aber nicht ausreichend erforscht. Dies war, zusammen mit den hohen Herstellungskosten, die größte Hürde für den Einsatz des Werkstoffs in der Energietechnik. Die m.Pore GmbH ist eines der wenigen Unternehmen, die offenporige Metallschäume in einem Feingussverfahren herstellen kann: Als Modell für den Guss dienen offenzellige Polyurethanschäume, die in unterschiedlichen Porengrößen

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



verfügbar sind. Die Größe der Poren und die Dicke der Stege zwischen den Poren geben die späteren Eigenschaften des Metallschaumes vor. In einem ersten Schritt stabilisieren die Techniker die dünnen Stege mit Wachs und bringen sie dadurch auf die gewünschte Dicke. Anschließend umgießen sie den Kunststoff mit einer dünnflüssigen Keramiksuspension. Diese kann aufgrund eines hohen Wasseranteils in die feinen Poren eindringen und diese ausfüllen. Bei einer Temperatur von 120 °C trocknet und erstarrt sie. Eine weitere Temperaturerhöhung auf 600 °C zersetzt den formgebenden Kunststoff und härtet die so entstandene feuerfeste Form. Jetzt kann die noch heiße Gussform mit einer beliebigen gussfähigen Metalllegierung befüllt werden. Für die meisten Anwendungen wird eine Aluminiumlegierung verwendet. Nach dem Abkühlen zerfällt die Spezialkeramik und lässt sich auswaschen.

Für einen neuen Unternehmensstandort optimierten die Wissenschaftler jeden einzelnen Verfahrensschritt. Durch eine Teilautomatisierung konnten sie den Ofendurchsatz mehr als verdoppeln und den spezifischen Energieverbrauch senken. Künftig sollen sowohl das Wasser als auch die Keramik aufbereitet und wiederverwendet werden. Mit dem Fertigungsverfahren werden Schaummetallplatten in der Größe 450 mal 250 mal 40 Millimeter hergestellt. Deren innere Oberfläche entspricht in etwa der Fläche eines Fußballfeldes.

### Pulvermetallurgisches Verfahren

Wenn Metallschäume mit sehr kleinen Zelldurchmessern benötigt werden, stößt das Feingussverfahren an seine Grenzen. Bei Porendurchmessern unter etwa einem Millimeter fließt das Metall nicht mehr vollständig in die Hohlräume. Solche filigranen Strukturen können Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM in Dresden mit einer bereits vor Jahren entwickelten pulvermetallurgischen Fertigungstechnologie erzeugen. Auch sie nutzen wachstabilisierten PU-Schaum als formgebendes Modell. Diesen beschichten sie mit einer Metallpulver-Binder-Suspension. Anschließend zersetzen sie den Kunststoff und den Binder durch hohe Temperaturen. Übrig bleibt ein Metallpulver-Skelett, das bei ca. 80 % der Schmelztemperatur der verwendeten Metalllegierung zu einem festen Gefüge gesintert wird. Die Kunst dabei ist, Rissbildung und Porendefekte zu vermeiden. Mit neuen Pulvern und Bindern haben die Forscher das Verfahren verbessert. Insbesondere gelingt es ihnen neuerdings, kleinzellige Kupferschäume herzustellen.

### Metallschäume systematisch vermessen

Porengröße, Stegdicke und -form und die Wahl der Metalllegierung legen die thermischen und strömungstechnischen Eigenschaften der Metallschäume im Wesentlichen fest. Es gelingt aber noch nicht, diese präzise mit mathematischen Modellen vorherzusagen. Deshalb entwickelten die Wissenschaftler verschiedene Teststände, um die effektive Wärmeleitfähigkeit der Metallschäume und Metallfaserproben, den Wärmeübergang an eine Gasströmung und den durch die Metallstrukturen erzeugten Druckverlust systematisch zu messen. Die Messergebnisse fassten sie in einer Datenbank zusammen. Diese dient auch als Basis, um Metallschäume besser mathematisch zu modellieren.

Können Metallschäume und Metallfasern ihre physikalischen Vorteile gegenüber konventionellen Kühlern, Wärmeübertragern oder Konvektoren auch in der Praxis

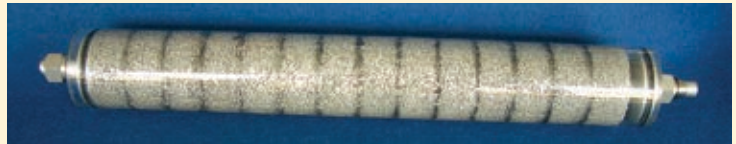


Abb. 1 Latentwärmespeichereinheit mit Aluminiumschaum-Paraffin-Verbundwerkstoff



Abb. 2 Für Wärmeübergangsmessungen wurden neben Metallschäumen auch ausgewählte Faserstrukturen als Sandwichprobe gefertigt.

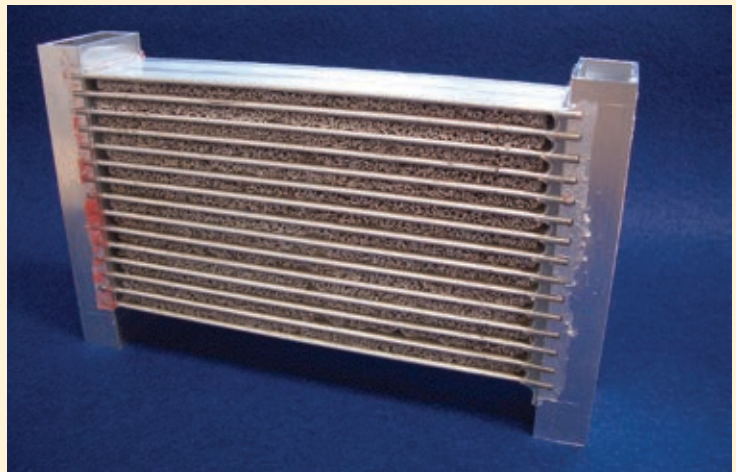


Abb. 3 In einem Modellkühler ersetzt Metallschaum die Lamellenstruktur.

ausspielen? Diese Frage sollten experimentelle Untersuchungen an verschiedenen technischen Systemen beantworten.

### Leistung von Latentwärmespeichern erhöhen

Latentwärmespeicher nutzen die hohe Schmelzwärme von Paraffinen, Salzhidraten, Salzen oder auch von Wasser. Bei der Wärmeentnahme erstarrt die Speichermasse und bildet dabei eine Isolierschicht, die den weiteren Wärmeentzug behindert. Die effektive Wärmeleitfähigkeit lässt sich deutlich steigern, wenn das Speichermaterial in eine wärmeleitende Metallschaummatrix eingebettet ist. Dies erprobten die Forscher am Beispiel eines Paraffinspeichers mit einer Schmelztemperatur von 42 °C. Sie montierten Aluminiumschaumscheiben in den zylindrischen Latentwärmespeicher, die über Klebeverbindungen mit dem Wärmeübertragerrohr in der Zylinderachse verbunden sind. Der Aluminium-Schaum erreicht mit 10 Poren pro Inch (ppi) eine Porosität von 89,5 % und reduziert die effektive Speichermasse lediglich um etwa 10 %. Bei einer Länge von 40 cm und einem Durchmesser von 12 cm nimmt der Zylinder 550 g Paraffin auf.



## Metallische Faserstrukturen

Zu Formkörpern gesinterte Metallfasern sind den Metallschäumen in manchen Einsatzgebieten überlegen. Das Fraunhofer IFAM Dresden stellt Kurzfasern von 5 bis 50 mm Länge und 50 bis 250 µm Dicke durch Schmelzextraktion her. Dabei rotiert in einem Schmelzbad eine wassergekühlte Kupferwalze. Sie zieht fadenförmig anhaftende Schmelze mit sich. Durch Schrumpfung und Fliehkräfte lösen sich die Fasern von der Walze. Nahezu alle Metalllegierungen lassen sich derart zu Fasern verarbeiten. Durch einen Schüttprozess in Form gebracht und versintert entstehen maßgeschneidert Scheiben, Ringe oder Platten. Die hochporösen Formkörper vertragen hohe Temperaturen, wie sie in Autokatalysatoren, Schall- und Wärmeisolierungen von Maschinen oder Abgasfiltern der Industrie auftreten. Während bei Metallschäumen Wärmeleitung und Strömungsdruckverlust unabhängig von der Richtung sind, werden diese bei Faserstrukturen von der Lage der Fasern bestimmt. Diese Anisotropie kann gezielt eingesetzt werden.

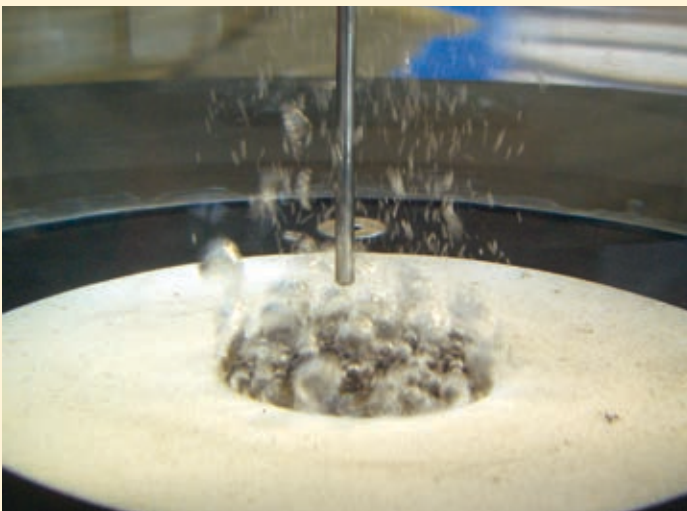


Abb. 4 Untersuchungen zum Hochleistungsverdampfer:  
oben: Blasensieden, unten: unterkühltes Sieden

Dies entspricht einer latenten Speicherkapazität von etwa 96 kJ. Das Modul kann zu beliebigen Rohrbündeln kombiniert werden, sodass sich die Messergebnisse auch auf größere Speicher übertragen lassen. Durch die gute Leitfähigkeit des Aluminiums erreicht der Speicher eine mittlere Entladeleistung von 140 W und eine Ladeleistung von 175 W. Die Wissenschaftler sind überzeugt, dass sie die Wärmeleistung mit Metallfaserstrukturen nochmals steigern können. Das Material besitzt bei gleicher Porosität eine höhere Wärmeleitfähigkeit in Faserrichtung und eine deutlich größere Kontaktfläche zu Wärmeträgerkanälen. Zudem ist der Werkstoff mechanisch stabiler und kann präziser bearbeitet werden.

### Autokühler – Wärmeleistung versus Druckverlust

Trotz kompakter Bauform führen Autokühler die Motorabwärme mit hoher Leistung an die Außenluft ab. Möglich wird dies durch eine Lamellenstruktur, die von der Kühlluft durchströmt wird. Sie hat sich als guter Kompromiss zwischen den Zielen hoher Wärmeübergang und geringem Druckverlust bewährt. Laborversuche sollten zeigen, ob sich die thermische Leistung

nochmals steigern lässt, wenn Metallschäume statt der Lamellen eingesetzt werden. Ein Testkühler mit einer 30 ppi Aluminium-Schaumstruktur konnte diese Frage noch nicht eindeutig beantworten. Er erreichte zwar eine höhere Wärmeleistung als ein Lamellenkühler, jedoch stiegen auch die Druckverluste. Folglich müsste auch eine höhere Lüfterleistung in Kauf genommen werden.

Noch stärker sind beide Effekte, wenn Faserstrukturen in der konventionellen Kühlergeometrie eingesetzt werden. Der intensive Wärmeübergang erwärmt die Luft schon nach kurzer Wegstrecke. Die restliche Lauflänge trägt kaum noch zur Wärmeabfuhr bei, sie erhöht aber den Druckverlust. Hier sehen die Forscher erhebliches Optimierungspotenzial auch durch die Abstimmung von Faser-, Strömungs- und Wärmestromrichtung.

### Hochleistungsverdampfer

Hochleistungsverdampfer lösen Kühlprobleme, wenn einfache Kühlkörper an ihre Leistungsgrenze stoßen. Sie bringen Kühlflüssigkeit zum Sieden und führen so Wärme über den Dampf ab. Wie effizient sie arbeiten, hängt entscheidend von der Verdampferoberfläche ab. Eine große Oberfläche lässt sich mit Aluminium-Schaum erzeugen. Ein weiterer Vorteil sind die scharfkantigen Schaumstege, die als Blasenkeime fungieren. In mehreren Messreihen zeigten die Forscher, dass der Siedeprozess mit Metallschaum-Siedeflächen gegenüber einer unstrukturierten Oberfläche bei deutlich geringeren Übertemperaturen der Verdampferfläche abläuft und somit deutlich höhere Verdampferleistungen möglich sind. Die Optimierung von Porengröße, Stegdicke und Schaumhöhe verhindert, dass sich in der Schaumschicht ein Dampfpolster ausbildet, das die Dampfabfuhr behindert. Da Verdampfungsprozesse in der Kraftwerks-, der Kälte- und der Verfahrenstechnik eine große Bedeutung besitzen, setzen die Forscher diese Untersuchungen in Folgeprojekten fort.





## Leichter und sicherer

Wenn im Maschinen- und Fahrzeugbau eine hohe Materialsteifigkeit verlangt wird, es gleichzeitig aber auf jedes Gramm ankommt, bieten sich Aluminiumschäume mit geschlossenen Poren an. Eine Möglichkeit, sie herzustellen ist es, Gas in die Metallschmelze zu blasen und den erzeugten Schaum abzuschöpfen. Weiter verbreitet ist der pulvermetallurgische Prozess. Hierbei vermischen die Hersteller Metallpulver mit einem Treibmittel. In Form gepresst und über den Schmelzpunkt erhitzt, geht die Metallschmelze wie ein Hefeteig auf. Das bietet die Möglichkeit, Hohlkörper auszuschaümen und dadurch auch komplexe Formen herzustellen.

Metallschäume wiegen je nach Porosität nur ein Fünftel des massiven Materials. Mit einer Dichte von 0,3 bis 0,8 Gramm pro Kubikzentimeter schwimmen sie sogar auf Wasser. Dennoch sind sie steif und formstabil. Die Porenstruktur reduziert die Leitfähigkeit für Wärme und elektrischen Strom. Schwingungen und Geräusche werden stark gedämpft. Als Crashelemente oder Stoßfänger eingesetzt, verformt sich der Schaum bei Gewalteinwirkung gleichmäßiger als massive Metalle und absorbiert dabei Energie. Das Material lässt sich gut mechanisch bearbeiten und ist nicht brennbar. Bei der Elektromobilität können Leichtbaukomponenten helfen, die Reichweite zu erhöhen und den Energiebedarf zu senken. Die Fraunhofer-Institute IWU, IFAM und WKI entwickeln und erproben die gesamte Prozesskette für Leichtbaustrukturen. Im Projekt „FunTrog“ entwickeln sie beispielsweise einen multifunktionalen Batterietrog für Elektrofahrzeuge. Dieser ist zwanzig Prozent leichter als die Referenzbaugruppe aus Stahl und sorgt für eine steifere Struktur.

Die Unterschale des Troges in Sandwichbauweise besteht aus einem Aluminiumschaumkern ummantelt von einem Deckblech aus Metall und einem Bodenblech aus Glasfasergewebe verstärktem Thermoplast.

### Netzwerk Zellulare Metallische Werkstoffe

Wissenschaftliche Einrichtungen und Hersteller haben sich im Netzwerk Zellulare Metallische Werkstoffe zusammengeschlossen, um die Kompetenzen der Mitglieder zu bündeln. Geleitet wird das Netzwerk vom Fraunhofer – IWU in Chemnitz. Das Netzwerk will insbesondere Forschungsvorhaben initiieren und durchführen, bei denen die Werkstoffe weiterentwickelt und für bestehende und neue Anwendungen eingesetzt werden.

## Projektbeteiligte

- » **Systematische Charakterisierung offenzelliger Metallstrukturen, Projektleitung:** Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Institutsteil Dresden, Prof. Dr.-Ing. Jens Meinert, jens.meinert@ifam-dd.fraunhofer.de
- » **Entwicklung prototypischer Komponenten für Wärmetransport und Wärmespeicherung:** WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH, Volker Schubert
- » **Gießtechnischer Herstellung offenzelliger Metallschäume:** m.pore GmbH, Mike Bücheler

## Links und Literatur

- » [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de) » [www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)
- » Synowzik, S.; Meinert, J.; Andersen, O. u. a.: Charakterisierung offenzelliger Metalle für energieeffiziente Technologien COMET. Teilvorhaben A-C. Schlussbericht. FKZ 03ET1023A-C. Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Dresden (Hrsg.). Juli 2015. 96 S.

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Hauer, A.; Hiebler, S.; Reuß, M.: Wärmespeicher. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2013. 152 S., ISBN 978-3-8167-8366-4, 29,80Euro (Print), 23,80 Euro (E-Book), BINE-Fachbuch
- » Metallschäume in der Wärmetechnik. BINE-Projektinfo 12/2005
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_09\\_2016](http://www.bine.info/Projektinfo_09_2016)

*BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)*

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Steffen Linsmayer  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
03ET1023A-C

**ISSN**  
0937-8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Dr. Franz Meyer

**Urheberrecht**  
Alle Abbildungen:  
Fraunhofer IFAM Dresden  
Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages