

Effiziente Herstellungsmöglichkeiten für Bauteile aus geschäumten Metallen

J. Baumeister, J. Banhart und M. Weber, Bremen

Einleitung

In der klassischen werkstoffkundlichen Sichtweise bedeutet die Existenz von Poren im Innern von Festkörpern stets eine Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften des jeweiligen Materials, so daß zum Teil erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um das Auftreten der Poren zu vermeiden. Wählt man jedoch bewußt das andere Extrem, d.h. eine sehr hohe Porosität, so ergibt sich die Klasse der geschäumten Werkstoffe, welche für ganz neue Anwendungsgebiete von großem Interesse sind.

Es ist z.B. seit langem bekannt, daß hochporöse Materialien mit einer zellularen Struktur neben dem geringen spezifischen Gewicht auch eine hohe Steifigkeit aufweisen. Aus diesem Grund werden zelluläre Materialien auch von der Natur als Konstruktionswerkstoffe verwendet; als häufig zitierte Beispiele dienen hier Holz und Knochen [1]. Auch geschäumte Kunststoffe sind weit verbreitet und tragen zur Lösung technischer Probleme bei.

Weit weniger bekannt ist jedoch die Tatsache, daß auch Metalle und Legierungen mit zellulärer Struktur hergestellt werden können. Sofern diese Werkstoffe Porositäten von über 50% aufweisen, werden sie üblicherweise unter den Begriffen geschäumte Metalle oder Metallschäume zusammengefaßt.

Herstellungsverfahren

Im Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen wurde ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von geschäumten Metallen entwickelt [2-4]. Nach diesem Verfahren werden handelsübliche Pulver aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen mit Hilfe konventioneller Methoden - beispielsweise in einem Taumelmischer - mit geringen Mengen des ebenfalls pulverförmigen Treibmittels vermischt. Auf diese Weise wird eine sehr homogene Verteilung des gasabspaltenden Pulvers in dem Pulvergemisch eingestellt. Anschließend wird diese Pulvermischung zu einem festen, wenig porösen Vormaterial verdichtet. Hierzu können je nach Anwendungsfall verschiedene Kompaktierungsverfahren eingesetzt werden. In der Regel bietet sich das direkte Pulverstrang-

pressen an, während für Versuchsreihen in Labormaßstab das uniaxiale Heißpressen häufig angewendet wird. Andere Verfahren wie das Pulverwalzen oder heißisostatische Pressen haben sich in Stichversuchen als ebenfalls praktikabel erwiesen, sind jedoch aufwendiger und daher nur für spezielle Anwendungen sinnvoll.

Bei Berücksichtigung der richtigen Verfahrensparameter ist das Resultat des Verdichtungsvorgangs ein aufschäumbares Vormaterial oder Halbzeug, welches durch eine abschließende Erwärmung auf Temperaturen mindestens im Bereich des Schmelzpunktes der jeweiligen Legierung expandiert und dabei seine hochporöse, geschlossenzellige Porenstruktur entfaltet. Dies impliziert, daß im aufschäumbaren Vormaterial jedes Treibmittelteilchen in eine gasdichte metallische Matrix eingebettet sein muß. Anderenfalls könnte das Treibgas bei Beginn der Expansion durch noch bestehende offene Porenkanäle entweichen und würde so nicht mehr zur Porenbildung und zum Porenwachstum zur Verfügung stehen.

Das aufschäumbare Halbzeug kann durch konventionelle Verfahren wie Walzen, Schmieden oder Strangpressen weiterverarbeitet werden, so daß auch Bleche, Stäbe, (Hohl-)Profile etc. darstellbar sind. Erst durch eine einfache Erwärmung dieses Materials auf Temperaturen im Bereich des Schmelzpunktes des Materials wird die Expansion eingeleitet, so daß es auch möglich ist, relativ komplexe Formteile zu erzeugen. Hierzu werden entsprechend gestaltete Hohlformen mit dem aufschäumbaren Material gefüllt und durch Erwärmung ausgeschäumt.

Möglichkeiten zur Bauteilherstellung

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

Formteile

Mit Hilfe des aufschäumbaren Vormaterials können endgeometrienaher Formteile effizient 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 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 erfolgt.

Gute Erfahrungen wurden bisher mit Stahl und keramischen Werkstoffen gemacht. Dabei zeigte sich, daß dünnwandige Formen aus z.B. tiefgezogenen Stahlblechen vorteilhaft sind. Aufgrund der geringen thermischen Trägheit solcher Schäumformen wird eine gute Temperatursteuerung des Schäumvorgangs ermöglicht.

Dagegen bietet sich bei der Verwendung von keramischen Formen vorzugsweise eine induktive Erwärmung des aufschäumbaren Vormaterials an. Ein großer Vorteil keramischer Formmassen besteht weiterhin darin, daß Formteile durch Abformen geeigneter Modelle hergestellt werden können.

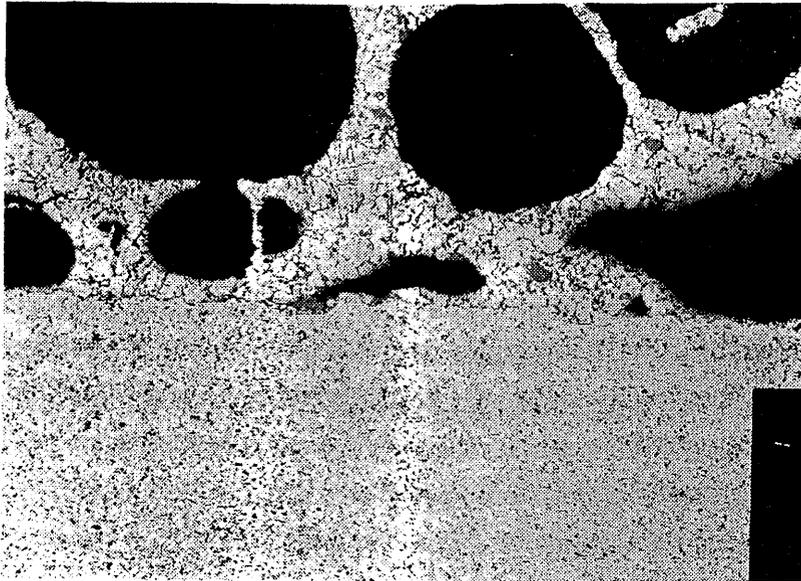
Neben dem oben beschriebenen Ausschäumen von Formen werden zukünftig auch die Möglichkeiten zur spanlosen Formgebung der Metallschäume untersucht werden. Insbesondere sind die werkstofftechnischen Grenzen hinsichtlich der Warm- bzw. Kaltformgebung durch Pressen zu ermitteln.

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

Verbundbauteile

Im Bereich der Verbundbauteile ist generell zu unterscheiden zwischen artgleichen und artfremden Verbundpartnern. So kann der Aluminiumschaum für sandwichartige Verbunde zum einen mit Deckblechen aus konventionellem Aluminium, zum anderen jedoch auch mit Stahlblechen kombiniert werden. Solche Verbunde sind sowohl mit polymerer Bindung, als auch mit metallischer Bindung der Deckbleche zum Schaumkern realisierbar. Dies gilt analog auch für schaumgefüllte Profile, bei denen der Schaumkern entweder nachträglich eingeklebt wird, oder im Verlauf eines Ausschäumvorgangs direkt eine metallische Bindung mit dem Profilwerkstoff eingeht.

Als Beispiel für den letztgenannten Fall ist in Bild 1 die Verbindungszone zwischen Aluminiumschaum und einem konventionellen Aluminiumwerkstoff wiedergegeben. Dieser Verbund wurde durch Ausschäumen eines Aluminium-Hohlprofils mit rechteckigem Querschnitt hergestellt und läßt eine gute metallische Bindung der Verbundpartner erkennen.



↔
100µm

Bild 1: Verbindungszone eines mit Aluminiumschaum ausgeschäumten Hohlprofils aus AlMgSi0,5

Zum Themenkreis der Verbundbauteile mit metallischer Bindung zum Schaumkern gehören im weitesten Sinne auch die Integralschäume, da hier die beiden Verbundpartner zwar in der Regel 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.

Eigenschaften von Aluminiumschaum-Verbunden

Die offensichtlichste Eigenschaft geschäumter Werkstoffe ist ihr geringes spezifisches Gewicht. Mit Hilfe des pulvermetallurgischen Verfahrens werden bei Aluminiumschäumen üblicherweise Dichtewerte im Bereich zwischen 0,4 und 1 g/cm³ erreicht, obwohl auch Werte bis hinab zu 0,2 g/cm³ erzielt wurden. Aufgrund ihrer geschlossenporigen Struktur schwimmen Aluminiumschäume in Wasser.

Die mechanischen Eigenschaften von geschäumten Werkstoffen werden in der Regel in Druckversuchen ermittelt. In Bild 2 sind die Spannungs-Stauchungs-Kurven für Aluminiumschäume verschiedener Dichten (Legierung AlSi6Cu4) dargestellt.

Die Kurven zeigen einen Verlauf, welcher typisch für hochporöse, zelluläre Werkstoffe ist: An einen anfänglichen Bereich mit näherungsweise linearem Anstieg schließt sich eine

Region mit nur geringem Spannungsanstieg (Plateau) an. Erst wenn bei hohen Stauchungswerten die Schaumstruktur wieder weitgehend verdichtet wird, erfolgt ein abschließender steiler Spannungszuwachs. Aufgrund dieser speziellen Form der Spannungs-Stauchungs-Kurve besitzen geschäumte Werkstoffe generell ein großes Energieabsorptionsvermögen.

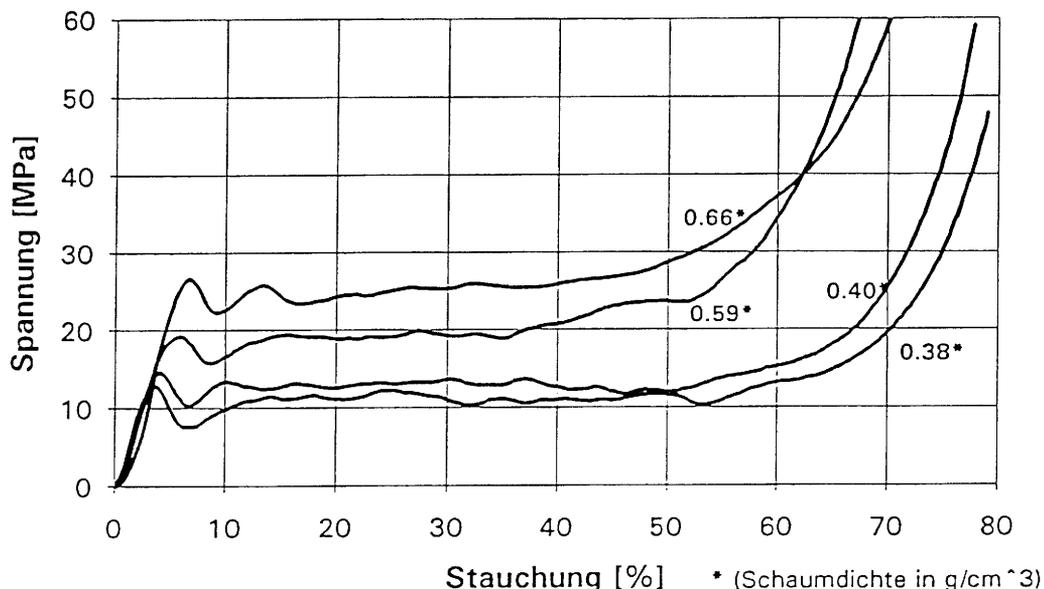


Bild 2: Spannungs-Stauchungs-Kurven von Aluminiumschäumen verschiedener Dichte

Die Festigkeit von geschäumten Metallen kann vor allem durch das spezifische Gewicht, die Legierungswahl, den Wärmebehandlungszustand und die Porenmorphologie beeinflusst werden.

Um das Verhalten von Verbundbauteilen aus Aluminiumschaum näher zu untersuchen, wurden 300 mm lange Edelstahlrohre (1.4301) mit einer Aluminiumlegierung ausgeschäumt und in 3-Punkt-Biegeversuchen geprüft. Ein typisches Ergebnis ist in Bild 3 dargestellt, wobei zum Vergleich auch das Biegeverhalten eines nicht-ausgeschäumten, aber in identischer Weise wärmebehandelten Stahlrohrs gezeigt ist. Es ist zu erkennen, daß die gesamte Verformung des schaumgefüllten Rohrs auf einem wesentlich höheren Kraftniveau stattfindet. Weiterhin nimmt bei den ausgeschäumten Profilen die Kraft im Verlauf der Verformung monoton zu, während sie bei den nicht-ausgeschäumten Profilen nach einer Biegung von ca. 15 mm wieder abnimmt. Dieses Verformungsverhalten im Biegeversuch ist von besonderem Interesse bei der Konzeption von neuen Seitenaufprallschutz-Elementen im Automobilbereich.

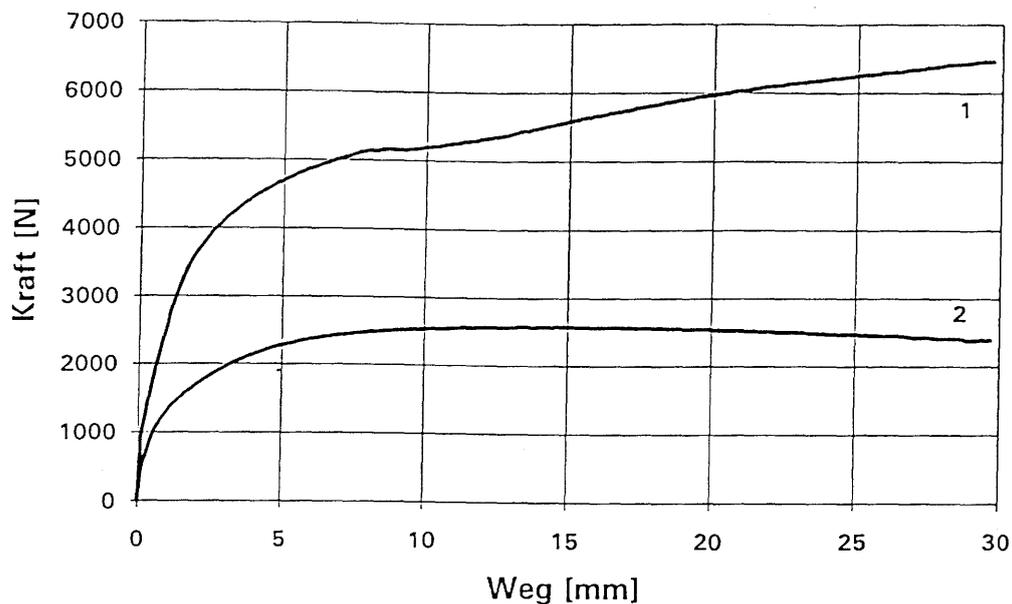


Bild 3: Biegeversuche an Stahlrohren ($\varnothing 30 \times 1$ mm, 1.4301), 1: ausgeschäumtes Profil (Schaumdichte $0,64 \text{ g/cm}^3$), 2: nicht-ausgeschäumtes Profil

Neben dem Verhalten von Verbundbauteilen bei Biegebeanspruchung wurde auch das Verformungsverhalten von ausgeschäumten Hohlprofilen bei axialer Stauchung untersucht. Das Versuchsmaterial wurde durch Koextrusion hergestellt, d.h. ein Rohr aus

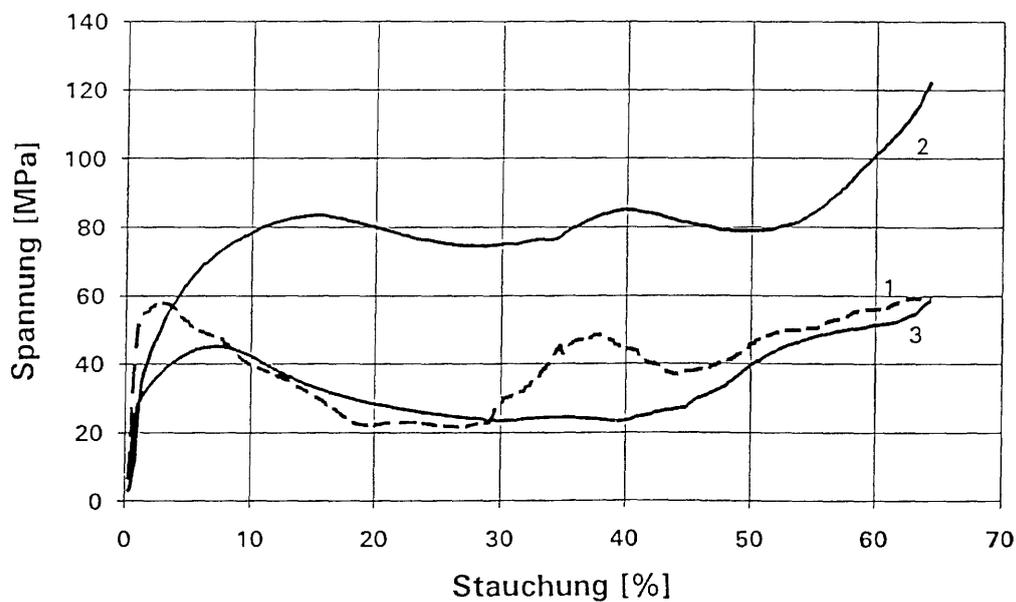


Bild 4: Stauchversuche an Aluminium-Rohren: 1: Verbundrohr vor dem Schäumen; 2: wie 1, nach dem Schäumen; 3: wie 2, Schaumfüllung jedoch entfernt

AlMgSi0,5 wurde innen mit einer aufschäumbaren Legierung beschichtet und anschließend ausgeschäumt.

Die Ergebnisse der axialen Druckversuche sind in Bild 4 dargestellt. Die Kurven zeigen im einzelnen das Verhalten des koextrudierten Verbundrohres ($\varnothing 30$ mm) vor dem Schäumen (Kurve 1), nach dem Schäumen (Kurve 2) und das Verhalten eines nicht plattierten AlMgSi0,5-Rohres gleicher Wandstärke (Kurve 3). Der stabilisierende Einfluß der Schaumfüllung ist offensichtlich und führt etwa zu einer Verdopplung des Festigkeitsniveaus im gesamten Verlauf des Stauchversuchs.

Anwendungen von Metallschäumen

Aus den oben beschriebenen Eigenschaften und verfahrenstechnischen Möglichkeiten können eine Reihe von Anwendungen abgeleitet werden.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet liegt offensichtlich im Bereich der Energieabsorption [5,6]. Durch den Einsatz von energieverzehrenden Elementen aus Aluminiumschaum ist es möglich, z.B. das Verformungsverhalten von Knautschzonen in Automobilen in Richtung auf eine maximale Energieumwandlung zu optimieren. Dasselbe gilt in analoger Weise auch für den Seitenaufprallschutz. So weisen mit Aluminiumschaum ausgefüllte Hohlprofile ein deutlich besseres Deformationsverhalten auf. Darüber hinaus ist es möglich, Karosserie- oder Fahrwerksteile mit Aluminiumschaum zu verstärken und so neben einer besseren Energieaufnahme auch eine höhere Steifigkeit der Komponenten zu erreichen.

Aufgrund der hohen Steifigkeit sind Aluminiumschäume generell für Anwendungen im Bereich des Leichtbaus geeignet. Zum Beispiel würde eine Substitution von Honigwaben-Strukturen durch Platten aus Aluminiumschaum zu besseren Isotropie-Eigenschaften führen. Daneben ist speziell bei Luftfahrtanwendungen die Nichtbrennbarkeit der Metallschäume von besonderer Bedeutung.

Da der Elastizitätsmodul der geschäumten Werkstoffe über die Wahl der Dichte in weiten Bereichen variiert werden kann, ergibt sich so die Möglichkeit, die Resonanzfrequenz von Bauteilen zu beeinflussen. Auf diese Weise lassen sich unerwünschte Schwingungen vermeiden.

Für die Kapselung heißer oder schallemittierender Komponenten bieten sich Formteile aus Schaumaluminium an. In diesen Fällen kommt vor allem die im Vergleich zu Kunststoffschäumen höhere Temperaturbelastbarkeit zum Tragen.

Aufgrund der Nichtbrennbarkeit bieten Metallschäume auch ein Potential im Brandschutz. Wegen der Eigenschaft, unter Wärmeeinwirkung zu expandieren, könnte in diesem Bereich auch das aufschäumbare Vormaterial Anwendungen finden.

Im Bereich der Schwimmeranwendungen ist zu erwarten, daß sich in Kombination mit geschäumten Metallen insbesondere bei höherer Druck- oder Temperaturbeanspruchung vorteilhafte Lösungsansätze ergeben.

Einige Anwendungen ergeben sich auch aus den physikalischen Eigenschaften der Metallschäume. Für Abschirmungen gegen elektromagnetische Strahlungen ist z.B. die elektrische Leitfähigkeit eine Voraussetzung, während bei Impedanzwandlern für die Ultraschall-Meßtechnik die akustische Impedanz der Aluminiumschäume eine wichtige Rolle spielt.

Bei der Herstellung der Aluminiumschäume werden neben sehr geringen Mengen des Treibmittels Titanhydrid (typisch sind z.B. 0,4 Gew.% TiH_2) keinerlei artfremde Zuschlagstoffe verwendet, so daß die Schaumprodukte wiederverwertet werden können. Darüber hinaus treten bei der Herstellung keine umweltbelastenden Stoffe, wie z.B. FCKW, auf.

Neben der anwendungsorientierten Weiterentwicklung der Schäumtechnologie soll im Rahmen der weiteren Arbeiten das Schäumverfahren auch auf andere Metalle ausgedehnt werden. So wurde inzwischen nachgewiesen, daß auch Blei-, Zinn- und Zinkbasis-Werkstoffe geschäumt werden können. Dagegen müssen für die Herstellung von Stahl- und Titanschäumen sicherlich andere Treibmittel erprobt werden. Darüber hinaus muß hier zur Vermeidung von Oxidation der Schäumvorgang unter Vakuum oder unter Schutzgasatmosphäre stattfinden.

Literatur

- [1] L.J. Gibson, M.F. Ashby: Cellular solids, Pergamon Press (1988)
- [2] J. Baumeister: Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper
DE 40 18 360 (1990)
- [3] J. Baumeister, J. Banhart, M. Weber: Geschäumte Metalle als neue Leichtbauwerkstoffe
VDI-Berichte 1021 (1993), 277-284
- [4] H.-D. Kunze, J. Baumeister, J. Banhart, M. Weber:
P/M Technology for the production of metal foams, pmi 25 No. 4 (1993), 182-185
- [5] P.H. Thornton, C.L. Magee: The deformation of aluminum foams
Met. Trans. 6A (1975), 1253-1263
- [6] G.J. Davies, Shu Zhen: Metallic foams: their production, properties and applications
J. Mat. Sci. 18 (1983), 1899-1911

88

VDI BERICHTE 1151

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

VDI-GESELLSCHAFT WERKSTOFFTECHNIK

EFFIZIENZSTEIGERUNG DURCH INNOVATIVE WERKSTOFFTECHNIK

VDI VERLAG