

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Januar 2005 (06.01.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/000502 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B22F 3/11, 7/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/006684

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2004 (21.06.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 28 047.2 23. Juni 2003 (23.06.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27 c,
80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

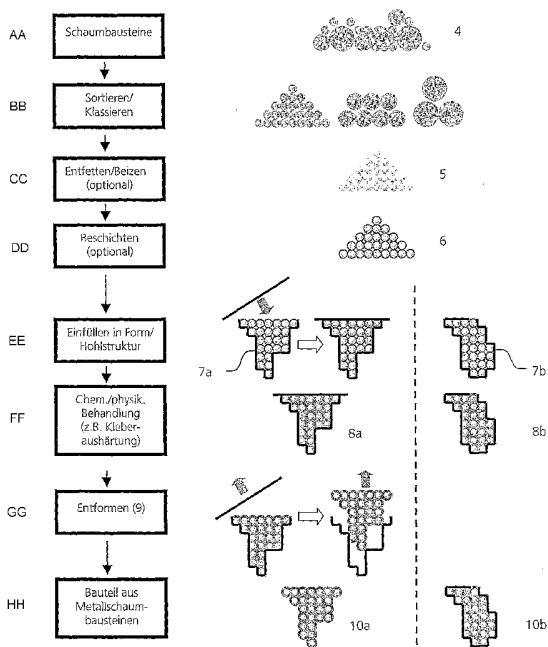
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STÖBENER, Karsten
[DE/DE]; H.H.-Meier-Allee 19, 28213 Bremen (DE).
BAUMEISTER, Joachim [DE/DE]; Cranzer Str. 37,
28777 Bremen (DE). LEHMUS, Dirk [DE/DE]; Euck-
enstrasse 17, 28201 Bremen (DE). ZIMMER, Norbert
[DE/DE]; Schaphuser Str.7, 28307 Bremen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMPONENT MADE OF METAL FOAM COMPONENTS AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: AUS METALLSCHAUMBAUSTEINEN AUFGEBAUTES BAUTEIL UND VERFAHREN ZU SEINER HER-
STELLUNG



AA... FOAM COMPONENTS
BB... SORTING/CLASSIFICATION
CC... DEFATTING/DESCALING (OPTIONAL)
DD... COATING (OPTIONAL)
EE... FILL IN SHAPE/HOLLOW STRUCTURE
FF... CHEM./PHYS. POST-TREATMENT (E.G. ADHESIVE HARDENING)
GG... DEMOULDING
HH... COMPONENT MADE OF METAL FOAM COMPONENTS

(57) Abstract: The invention relates to a component made of metal foam and a method for the production thereof, wherein several metal foam components are arranged in a three-dimensional manner. Either a structure, which forms the outer covering of the component made of metal foam, is at least partially filled with the metal foam components or the metal foam components are arranged such that a body is formed whereby the geometry thereof corresponds to the geometry of the component which is to be produced. Also, the thus arranged metal foam components are subjected to at one least physical and/or chemical post-treatment, such that the respectively, adjacent metal foam components are connected to each other in a positive fit, in a material fit and/or in an adhesive manner.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Bauteil aus Metallschaum und ein Verfahren zu seiner Herstellung, bei dem mehrere Metallschaumbausteine dreidimensional angeordnet werden, wobei entweder ein Gebilde, das die äußere Hülle des Bauteils aus Metallschaum bildet, mit den Metallschaumbausteinen zumindest teilweise befüllt wird oder die Metallschaumbausteine zu einem Körper, mit einer Geometrie, die der des herzustellenden Bauteils entspricht, angeordnet werden, und die so angeordneten Metallschaumbausteine mindestens einer physikalischen und/oder chemischen Nachbehandlung unterworfen werden, so dass jeweils benachbarte Metallschaumbausteine formschlüssig, stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbunden sind.

WO 2005/000502 A1



KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Patentanmeldung:

**Aus Metallschaumbausteinen aufgebautes Bauteil und Verfahren zu seiner
Herstellung**

5

Anmelderin:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27 c, 80686 München**

10

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Bauteil aus Metallschaum und ein Verfahren zu seiner Herstellung unter Verwendung von Metallschaumbausteinen, die ggf. eine Beschichtung tragen.

Stand der Technik

15 Zur Herstellung von Bauteilen aus Metallschaum stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Bedeutung erlangt haben die schmelzmetallurgischen und die pulvermetallurgischen Verfahren.

Bei den pulvermetallurgischen Treibmittelverfahren wird zunächst mindestens ein Metallpulver mit mindestens einem Treibmittel vermischt und daraus ein aufschäumbares
20 Vormaterial hergestellt. Ein derartiges Verfahren ist z. B. in der US 3,087,807, der DE 4018360 und der DE 4101630 beschrieben. Die mit diesen Verfahren hergestellten, aufschäumbaren Vormaterialien können als Block, Profil, Granulat etc. hergestellt werden.

- Die Herstellung eines Metallschaumbauteils aus diesen aufschäumbaren Vormaterialien erfolgt durch Erwärmung des Vormaterials auf eine Temperatur oberhalb der Solidustemperatur des Metalls, aus dem das Vormaterial besteht. Tritt dieses Metall in einen teilflüssigen oder flüssigen Zustand ein, so wird durch aus dem Treibmittel freigesetztes
- 5 Treibgas unter Expansion ein Metallschaum erhalten. Der Schaumexpansionsvorgang erfolgt zweckmäßigerweise in einem Hohlkörper (z. B. einer Schäumform oder einem Hohlstrukturbauteil), der vom expandierenden Schaum ausgefüllt wird. Der Metallschaum bildet dann die Innenkontur des Hohlkörpers ab, so dass bei entsprechender Gestaltung des Hohlkörpers das Metallschaumbauteil endformnah hergestellt werden kann. Um
- 10 Metallschäume mit einer möglichst gleichmäßigen Porenverteilung zu erhalten, muss der noch teilflüssige Metallschaum in möglichst kurzer Zeit auf eine Temperatur unterhalb der Solidustemperatur des Metalls abgekühlt werden; der Schaum wird sozusagen eingefroren. Anschließend kann der endformnahe Schaumkörper aus dem Hohlkörper entnommen werden.
- 15 Der Hauptnachteil dieser Verfahren ist, dass zur Herstellung von Metallschäumen in einem Hohlkörper der ganze Hohlkörper (insbesondere eine etwaige Schäumform) mit erwärmt werden muss; es ist also ein sehr hoher Energieeintrag nötig.
- Die US 2,974,034 sowie Stanzick et. al. in "Process controll in aluminium foam production using real-time x-ray radioscopy" (AEM 2002, 4, Vol. 10) beschreiben die Herstellung von
- 20 Metallschaumbauteilen unter Verwendung von aufschäumbarem Granulat in einer Schäumform. Hierbei wird aus einer Vielzahl kleinvolumiger Granulatpartikel ein großvolumiger Schaumkörper hergestellt. Die Verwendung von kleinvolumigen Granulatpartikeln erlaubt eine einfache Portionierung der benötigten Halbzeugmenge.
- Auch hierbei wird aber der Nachteil des hohen Energieeintrags zum Schäumen in Formen
- 25 nicht behoben.

Weiterhin ist bekannt, den teilflüssigen oder flüssigen Metallschaum in einen Hohlkörper (Form oder Kavität) hinein zu pressen (CYMAT 3d) oder einexpandieren (Metcomb) zu lassen. Ein derartiges Verfahren offenbart beispielsweise die WO 03/015960 A2.

Mit diesen Verfahren können aber nur relativ einfache Bauteilgeometrien realisiert werden.

- 5 Außerdem wird die Schaumstruktur beim Einpressen in den Hohlkörper deformiert. Es wird also keine homogene Schaumstruktur erhalten. Ferner können in keinem Fall die aus dem Aluminiumdruckguss bekannten kurzen Taktzeiten erreicht werden, da der Schaum nur mit geringen Drücken in den Hohlkörper eingepresst werden kann, damit die Schaumstruktur nicht zu stark deformiert bzw. zerstört wird. Schließlich bieten diese Verfahren nicht die von
10 den pulvermetallurgischen Verfahren bekannte Freiheit der Wahl der Legierung und sind daher nur begrenzt einsetzbar.

Die DE 19928997 offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen, bei denen ein aufschäumbares Granulat mittels eines Laserstrahls bzw. eines Elektronenstrahls aufgeschäumt wird. Durch individuelles Platzieren der Halbzeugpartikel kann in einer Form
15 die Herstellung eines Metallschaumkörpers gezielt beeinflusst werden. Der Metallschaumkörper wird hierbei durch Aneinanderschäumen von kleinen Schaumvolumina erzeugt. Zunächst wird ein Halbzeuggranulatpartikel zum Schaum expandiert. Sofort nach Abschluss dieses Vorgangs wird der Energiestrahle auf das nächstliegende Halbzeuggranulatteilchen gelenkt und expandiert dieses ebenfalls zu einem Schaum.

- 20 Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass die Herstellung der Metallschaumkörper langwierig ist, da jedes Granulatpartikel nacheinander aufgeschäumt werden muss, das Halbzeuggranulat schichtweise angeordnet werden muss und einen erhöhten verfahrenstechnischen Aufwand (insbesondere einen erheblichen Geräteaufwand und lange Prozesszeiten) benötigt. Weiterhin hat dieses Verfahren den Nachteil, dass dabei ein
25 Gesamtbauteil entsteht, in dem der Zusammenhalt benachbarter Schaumbereiche eine undefinierte und schwankende Intensität aufweist.

Beschreibung

Der vorliegenden Erfindung liegt daher das technische Problem zu Grunde, Bauteile aus Metallschaum herzustellen, ohne dass ein hoher gerätetechnischer Aufwand und ein hoher Energieverbrauch nötig sind, die aber dennoch über das gesamte Bauteilvolumen

5 kontrollierbare Eigenschaften aufweisen.

Dieses technische Problem wird durch ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Metallschaum nach Anspruch 1 gelöst, wobei Metallschaumbausteine, die ggf. nach Anspruch 12 ausgebildet sind, verwendet werden. Dabei werden Bauteile nach Anspruch 19 oder 21 erhalten. Unteransprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen an. Anspruch 29

10 lehrt eine vorteilhafte Verwendung der erfindungsgemäßen Bauteile aus Metallschaum.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Metallschaum besteht darin, dass Metallschaumbausteine dreidimensional angeordnet werden, wobei entweder ein Gebilde, das die äußere Hülle des Bauteils aus Metallschaum bildet, mit den Metallschaumbausteinen zumindest teilweise befüllt wird, oder die Metallschaumbausteine

15 zu einem Körper mit einer Geometrie, die der des herzustellenden Bauteils entspricht, angeordnet werden. Die so angeordneten Metallschaumbausteine werden gleichzeitig oder später mindestens einer physikalischen und/oder chemischen Nachbehandlung unterworfen, so dass jeweils benachbarte Metallschaumbausteine formschlüssig, stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbunden sind.

20 Metallschaumbausteine im Sinne dieser Erfindung sind Metallschäume, die mittels Energiezufuhr durch zumindest teilweises Aufschäumen von Granulatteilchen, die mindestens ein Metallpulver und mindestens ein Treibmittelpulver enthalten, erhältlich sind. Durch Einwirkung von Energie, vorzugsweise Wärmeenergie, werden diese Granulartpartikel aufgeschäumt, so dass Granulartpartikel mit einer inneren Porosität entstehen. Die

25 Porenstruktur kann dabei offenporig, geschlossenporig oder gemischtzellig ausgebildet sein.

Unter Metallschaumbausteinen sind erfindungsgemäß insbesondere Metallschaumpartikel zu verstehen, die eine Geometrie aufweisen, die in Serienfertigung herstellbar ist, und die einzeln weiterverarbeitbar sind.

Wird das aufschäumbare Granulat nach pulvermetallurgischen Treibmittelverfahren (z. B. gemäß der DE 4018360 oder der DE 4101630) hergestellt, so ist die Porenausbildung mit einer Expansion des Granulatpartikels verbunden; jedes Granulatteilchen vergrößert also bei der Entstehung des Metallschaumbausteins sein Volumen. Die geometrische Ausgangsform der Granulatpartikel hat dabei in der Regel nur geringen Einfluss auf die entstehende Gestalt des Metallschaumbausteins. Das Granulat kann durch Zerkleinern von größeren Stücken aus aufschäumbarem Material hergestellt werden oder das aufschäumbare Material direkt in Granulatform erzeugt werden.

Vorzugsweise wird das schäumbare Granulat in Form von kreisrunden Tabletten hergestellt. Dazu wird die Metall/Treibmittelmischung durch uniaxiales Pressen in einem Prozessschritt verdichtet. Die kreisrunde Form des Granulatpartikels unterstützt beim Aufschäumvorgang die Ausbildung von kugelförmigen Metallschaumbausteinen. Die Kugelform wird hierbei hauptsächlich in Dickenrichtung durch die Expansion des flüssigen Schaums ausgebildet. Die kugelförmigen Metallschaumbausteine bilden sich bei dem Aufschäumen derartiger Granulatabletten, da offensichtlich die Oberflächenspannung des flüssigen Schaums (möglicherweise günstig beeinflusst durch an der Oberfläche entstehende Reaktionsprodukte) die Ausbildung der Kugelform begünstigt. Das Aufschäumen derartiger Halbzeugtabletten ist ohne großen Energieeintrag und großen prozesstechnischen Aufwand sowie ohne die Verwendung von Hohlkörpern, insbesondere Schäumformen, möglich.

Die uniaxiale Verdichtung kleiner Mengen einer Metallpulver-/Treibmittelmischung kann innerhalb von sehr kurzer Zeit (z. B. < 1 Sek.) erfolgen. Wird das Verfahren nach der DE 4018360 oder DE 4101630 verwendet, so kann (z.B. zur Herstellung von Granulatabletten) die Metallpulvertreibmittelmischung vor bzw. während des Verdichtungs Vorgangs von der Raumtemperatur bis maximal wenige Grad Celsius unterhalb des Metallpulverschmelzpunkts erwärmt werden. Auf Grund des schnellen Verdichtungs Vorgangs werden selbst bei

Kompaktierungstemperaturen, die derart knapp unter der Solidus- bzw. Schmelztemperatur des Metallpulvers liegen, lediglich vernachlässigbare Mengen an Treibgas aus dem Treibmittel freigesetzt, so dass das spätere Aufschäumverhalten der Halbzeugtablette nicht signifikant durch deren Herstellungsprozess beeinflusst wird.

- 5 Dem Metallpulver-/Treibmittelgemisch zur Herstellung des Granulats können zur Unterstützung bzw. Verbesserung des Verdichtungsvorgangs Schmier- und Pressmittel (vorzugsweise organische Binder) vor dem Verdichtungsvorgang beigemischt werden. Diese entbindern während des Schäumvorgangs oder können in einem dem Verdichtungsvorgang nachfolgendem Prozessschritt entfernt werden (vorzugsweise chemisch durch
- 10 Lösungsmittel oder thermisch durch Ausbrennen bei Temperaturen, die unter der Zersetzungstemperatur des Treibmittels liegen).

Um nach uniaxialen Verdichtungsvorgängen zu gewährleisten, dass eine ausreichende Verdichtung des aufschäumbaren Granulats vorliegt, kann dem Verdichtungsvorgang ein Sintervorgang zur Dichteerhöhung nachgeschaltet werden.

- 15 Erfindungsgemäß kann das aufschäumbare Granulat auch nach der Lehre der DE 10206722 hergestellt werden. Insbesondere ist hierbei das Sintern von Metallpulvern oder Metallpulvergemischen in wasserstoffhaltiger Atmosphäre geeignet, bei der ein aufschäumbares Granulat entsteht, ohne dass Treibgas verloren geht. Weiterhin können nach diesem Verfahren auch Metallschaumbausteine, die keine Oxidschicht auf der
- 20 Oberfläche aufweisen, direkt hergestellt werden, d. h., ohne dass eine Abkühlung des aufschäumbaren Granulatpartikels erfolgt. Bei der Herstellung nach der DE 10206722 kann auch ein Sinterhilfsmittel (z. B. Magnesium zur Herstellung von aufschäumbarem Aluminiumgranulat) zur Unterstützung des Sintervorgangs vor dem Verdichtungsvorgang zugesetzt werden.

- 25 Generell können aber auch die anderen, bekannten Verfahren zur Aufschäumung des Granulatpartikels unter Ausschluss von Luftsauerstoff erfolgen, so dass ebenfalls Metallschaumbausteine ohne störende Oxidschicht an der Oberfläche hergestellt werden können.

Auch bei der Verwendung von organischen Bindern als Schmier- oder Presshilfsmitteln und

der nötigen späteren Entbinderung kann diese Entbinderung unter wasserstoffhaltiger Atmosphäre, wie in der DE 10206722 beschrieben, durchgeführt werden. Auch hier geht kein Treibgas aus dem aufschäumbaren Granulat verloren.

Die Verwendung der erfindungsgemäßen aufschäumbaren Granulate (sofern diese durch
5 direktes Pressen in Granulatform und nicht durch Zerkleinern größerer Halbzeugstücke erhalten wurden) hat gegenüber der Herstellung größerer aufschäumbarer Halbzeuge mehrere Vorteile. Üblicherweise kann die Metalltreibmittelmischung ohne signifikante Materialverluste in einem oder maximal zwei Prozessschritten zum schäumbaren Halbzeug verarbeitet werden. Durch diese Reduktion der Prozessschritte und die Vermeidung von
10 Materialverlusten (wie z. B. Pressresten beim Strangpressen) werden die Kosten zur Herstellung des schäumbaren Halbzeugs erheblich reduziert.

Das Aufschäumen der kleinen Granulatpartikel zu Metallschaumbausteinen erfolgt erfindungsgemäß durch Aufheizen und definierte Expansion, wobei (insbesondere, wenn keine Schäumform verwendet wird) keine Temperaturgradienten im Halbzeug bzw. dem
15 flüssigen Schaum vorliegen. Ebenso schnell und ohne signifikante Temperaturgradienten kann die Energie wieder abgeführt werden, so dass der definiert expandierte Schaum direkt eingefroren wird. Ein unter derart idealen Bedingungen hergestellter Schaum, bei dem also Überalterung (Koaleszenz, Drainage, etc.) sicher vermieden werden kann, weist eine sehr homogene Porenstruktur auf. Selbst im schlechtesten Fall, in dem der Metallschaumbau-
20 stein eine Riesenpore enthält, kann das Volumen dieser größten Pore nicht größer als das Gesamtvolumen des Schaumpartikels sein. Üblicherweise sind die homogen über den Metallschaumbau- stein verteilten Poren aber kleiner. Über die Größenverteilung der Metallschaumbausteine kann damit auch die Homogenität der Porenverteilung in dem aus den Metallschaumbausteinen hergestellten Bauteil gesteuert werden. Weiterhin können vor
25 der dreidimensionalen Anordnung der Metallschaumbausteine Bausteine mit schlechter Qualität (z. B. zu geringer Dichte oder zu hoher Dichte oder unvorteilhafter Geometrie) ausgesondert werden; die hergestellten Metallschaumbauteile können aber vor der

Weiterverarbeitung auch generell nach bestimmten Kriterien wie Dichte, Form und Größe vorsortiert werden.

Die dreidimensionale Anordnung der Metallschaumbausteine kann entweder durch Befüllen einer Form bzw. eines Körpers, der der Geometrie des herzustellenden Bauteils entspricht, und nachfolgender Entnahme des Bauteils aus der Form bzw. Entfernung der Form
5 erfolgen. Alternativ können die Metallschaumbausteine auch zu einem Bauteil, in dem ein Verbund aus Metallschaumbausteinen und äußerer Hülle vorliegt, angeordnet werden. Die Metallschaumbausteine können hierbei auch gleichzeitig einer chemischen und/oder physikalischen Nachbehandlung unterworfen werden.

10 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass bei einer Trennung von Schaumexpansion und Bauteilformgebung ein erheblich einfacheres Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Metallschaum möglich ist. Die erfinderische Leistung besteht insbesondere also auch darin, dass erkannt wurde, dass ein Metallschaumbauteil auch aus einer Vielzahl von kleinen Metallschaumbausteinen gefertigt werden kann, die so physikalisch oder chemisch
15 behandelt werden bzw. wurden, dass innerhalb von einem oder mehreren Prozessschritten ein Gesamtbauteil mit stoffschlüssigen Verbindungen zwischen den Metallschaumbausteinen erhalten wird.

Der besondere Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das aufschäumbare Vormaterial nicht in einem Hohlkörper erwärmt werden muss. Es ist also kein energie- und zeitaufwendiges
20 Erwärmen des Hohlkörpers nötig, sondern die gesamte eingesetzte Energie (insbesondere Wärme) geht direkt in das aufschäumbare Vormaterial über. Insbesondere zur Herstellung von Bauteilen mit komplizierten Geometrien ist es nun nicht mehr nötig, eine Form aufzuwärmen; auch der ungleichmäßige Wärmeübergang von der Form in das aufschäumbare Vormaterial bereitet keine Probleme mehr. Erfindungsgemäß können daher
25 erstmals Bauteile hergestellt werden, die eine gleichmäßige Porenverteilung bei gleichmäßigen Porengrößen und eine komplizierte Geometrie aufweisen; das Problem des Erreichens der Schäumtemperatur in unterschiedlichen Bauteilbereichen zu

unterschiedlichen Zeiten spielt keine Rolle mehr. Eine inhomogene Schaumexpansion während des Energieeintrags in den aufzuschäumenden Körper tritt daher nicht auf. Auch bei der Abkühlung des fertigen Metallschaums treten keine inhomogenen Wärmeübergangsbedingungen auf. Mit den vorbekannten Verfahren sind nur solche

5 Bauteile mit komplizierten Geometrien erhältlich; die eine Vielzahl von Schaumbereichen aufweisen, die in unterschiedlichen Stadien des Schaumprozesses eingefroren wurden.

Das Verfahren hat weiterhin den Vorteil, dass etwaige Oxidschichten auf der Oberfläche des Metallschaumbausteins keine Rolle mehr spielen. Sie können durch chemische oder physikalische Verfahren vor Herstellung des Metallschaumbauteils entfernt oder chemisch

10 umgewandelt werden. Weiterhin ist, selbst wenn sie nicht entfernt oder umgewandelt werden, eine genaue Vorhersage ihrer Lage im Metallschaumbauteil möglich. Dies ist bei der Aufschäumung von Granulatschüttungen, wie z. B. in der US 2,974,034 beschrieben ist, oder dem Aufschäumen mittels Laser- oder Elektronenstrahlen, wie in der DE 19928997 offenbart, nicht möglich. Weiterhin kann das erfindungsgemäßen Verfahren so

15 durchgeführt werden, dass nur an bestimmten Stellen des Metallschaumbausteins, insbesondere den Bereichen, über die eine stoffschlüssige und/oder adhäsive Verbindung zu benachbarten Metallschaumbausteinen vorgesehen ist, die Oxidschicht entfernt oder verändert wird. Bei einer chemischen Nachbehandlung kann aber eine Oxidschicht, z. B. eine Aluminiumoxidschicht, auch erwünscht sein, weil derartige Oxidschichten eine bessere

20 Klebstoffhaftung, d. h., das Aufbringen einer Funktionsschicht aus Klebstoff auf dem Metallschaumbaustein, unterstützen. Erfindungsgemäß stellen Oxidschichten also keine Schwachstellen mehr dar, vielmehr ist durch die chemische Veränderung oder Beschichtung dieser Oxidschichten eine breite Palette von Möglichkeiten vorhanden, derartige beschichtete Metallschaumbausteine besonders fest miteinander zu einem

25 Metallschaumbauteil zu verbinden.

Ferner hat das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil, dass durch die Verwendung verschiedener Metallschaumbausteine neuartige Schaumkörper (z. B. mit Dichtegradienten in einem bestimmten, frei wählbaren Teilbereich des Schaumkörpers) möglich sind. Dies

war in den vorbekannten Verfahren nur in sehr geringem Ausmaß erreichbar; die Homogenität der Schaumstruktur war dabei sehr begrenzt. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet auch den Vorteil, dass Metallschaumbausteine aus verschiedenen Materialien eingesetzt werden können. So können z. B. Bauteile aus Metallschaum
5 hergestellt werden, die eine Kombination verschiedener Matrixwerkstoffe (z. B. Stahl und Zink) enthalten; diese Matrixwerkstoffe können entweder statistisch verteilt oder auch in Form von Gradienten oder anderen geometrischen Verteilungen im Metallschaumbauteil vorliegen.

Die Trennung von Schaumexpansion und Bauteilformgebung bietet gegenüber Verfahren
10 wie dem der DE 19928997 den Vorteil, dass auch kleine Granulatpartikel oder Granulattabletten homogen erwärmbar sind. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist nämlich keine lokale Erwärmung durch einen (in der Regel fokussierten) Energiestrahл erforderlich. Damit kann gewährleistet werden, dass die Volumenzunahme während des Aufschäumprozesses vollkommen homogen erfolgt, und nicht durch die lokale Erwärmung
15 mittels des Energiestrahls eine undefinierte, nicht lineare Veränderung der Oberflächengestalt und -struktur auftritt. Weiterhin treten keine Schwankungen des Wärmeeintrags auf. Diese erfolgen stets bei Verwendung eines Energiestrahls z.B. aus der Änderung des Einfallswinkels des Energiestrahls, der Fokussierebene, des Reflexionskoeffizienten der Oberfläche etc.. Auch können sämtliche Seiten des
20 aufzuschäumenden Granulatpartikels homogen erwärmt werden, während bei der Erwärmung mittels Energiestrahlen die dem Strahl abgewandte Seite nicht direkt erwärmt werden kann. Erfindungsgemäß werden daher Metallschaumbausteine mit einer homogenen und zugleich definierten Porenstruktur im Schaumkörper erhalten.

Die Trennung von Formgebung und Schaumexpansion bietet gegenüber der DE 19928997
25 weiterhin den Vorteil, dass bei Bauteilen, die aus mehreren Schichten von Schaumkörpern bzw. Metallschaumbausteinen aufgebaut werden, eine Schicht aus Metallschaumbausteinen so angeordnet werden kann, dass eine ebene bzw. eine regelmäßige Oberfläche gebildet wird. Dies ist bei der Aufschäumung mittels Laserstrahlen

oder Elektronenstrahlen nicht möglich, eine gezielte Platzierung auf der unebenen Oberfläche der ersten Schaumlage kann dabei nicht gewährleistet werden. Auch die Aufschäumung mittels Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen führt dazu, dass die Halbzeuggranulatteilchen der oberen Schichten nicht optimal erhitzt werden können und
5 kein optimal expandiertes Schaumvolumen entsteht.

Durch die Trennung von Aufschäumen und Formgebung wird auch erreicht, dass bereits vorhandene Schichten von Metallschaumteilchen bzw. Metallschaumbausteinen beim Auftragen einer weiteren Schaumlage nicht mit erhitzt werden; hierdurch würde nämlich eine Verschlechterung der Schaumstruktur eintreten. Während im erfindungsgemäßen
10 Verfahren eine feste mechanische Verklammerung der Lagen von Metallschaumbausteinen untereinander möglich ist, da eine chemische oder physikalische Nachbehandlung stattfindet, ist dies insbesondere bei dem Verfahren nach der DE 19928997 nicht erreichbar.

Erfindungsgemäß wird die Größe der Metallschaumbausteine bevorzugt so gewählt, dass
15 das Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Volumen eines Metallschaumbausteins und dem Volumen des Bauteils aus Metallschaum kleiner als 1:10, besonders bevorzugt kleiner als 1:100 ist. Bei der Verwendung von Metallschaumbausteinen mit stark unterschiedlichen Abmessungen ist hierbei nicht das durchschnittliche Volumen der Metallschaumbausteine, sondern das Volumen des größten verwendeten Metallschaumbausteins maßgeblich.

Bevorzugt weisen die erfindungsgemäßen Metallschaumbausteine ein Volumen auf, das
20 kleiner als 125 cm^3 ist. Besonders bevorzugt sind Metallschaumbausteine mit einem Volumen von $0,05 \text{ cm}^3$ bis $2,5 \text{ cm}^3$. Kugelförmige Metallschaumbausteine besitzen demnach besonders bevorzugt einen Durchmesser von 0,45 cm bis 1,7 cm.

Metallschaumbausteine in dieser Größenordnung können ebenso wie das dafür nötige
25 Metallschaumgranulat bzgl. des Verfahrensaufwandes und der benötigten Energie besonders effizient hergestellt werden; außerdem ist die bei der Herstellung von Bauteilen aus diesen Metallschaumbausteinen die zu behandelnde Gesamtoberfläche aller hierzu verwendeten Metallschaumbausteine klein genug um die Nachbehandlung der

Metallschaumbausteine kostengünstig durchführen zu können.

Bevorzugt wird die Größe der Schaumpartikel so gewählt, dass die gewünschte Bauteilform durch die dreidimensional angeordneten Metallschaumbausteine ausreichend abgebildet wird; insbesondere bei Verwendung kugelförmiger Metallschaumbausteine muss hierbei
5 eine Mischung von Metallschaumbausteinen verwendet werden, die einen angemessen kleinen Durchmesser aufweisen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt mit Metallschaumbausteinen durchgeführt, die im Wesentlichen die Form einer Kugel oder einer in einer Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Kugel aufweisen. Hierunter sind auch sämtliche
10 vorstellbaren Formen von Ellipsoiden, wie beispielsweise Rotationsellipsoide, zu verstehen. Insbesondere fallen hierunter auch Körper, die ihre Form durch die Schwerkraftwirkung während des teilflüssigen Zustands des Metallschaums angenommen haben - die also auf Grund des Eigengewichts des Metallschaumbausteins an der Unterseite eher abgeplattet sind und von der Kugelform abweichen.

Derartige Metallschaumbausteine können dreidimensional beispielsweise so angeordnet werden, dass eine dichteste Kugelpackung oder kubisch innenzentrierte Kugelpackung gebildet wird. Hierdurch kann das Gewicht des Metallschaumbauteils gegenüber
15 herkömmlichen Metallschaumbauteilen weiter reduziert werden, da zusätzlich zu den durch die Treibmittel gebildeten Poren noch die zwischen den Kugeln auftretenden Lücken ins Gewicht fallen. Das Gewicht des Metallschaumbauteils kann hierbei verglichen mit einem
20 vollständig aus Metallschaum bestehenden Bauteil auf einen Prozentwert gesenkt werden, der der Packungsdichte bzw. der Raumerfüllung der Metallschaumbausteine im gesamten Bauteilvolumen entspricht.

Besonders homogen in den physikalischen Eigenschaften sind Metallschaumbauteile, in
25 denen das Volumen der Hohlräume zwischen den kugelförmigen Metallschaumbausteinen in etwa dem Volumen der durchschnittlichen, durch das Treibmittel gebildeten Poren in den Metallschaumbausteinen entspricht. Unter dem Volumen dieser Hohlräume ist hierbei das

durchschnittliche Volumen der Tetraederlücken und/oder Oktaederlücken und/oder entsprechender anderer Lücken zu verstehen.

- In einer Variante können die beim erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Metallschaumbausteine im Wesentlichen die Form eines Polyeders oder eines in einer
- 5 Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Polyeders aufweisen. Hierunter fallen insbesondere Metallschaumbausteine in Form eines Würfels, Quaders oder eines anderen Vielflächners (Tetraeder, Dodekaeder, Ikosaeder) sowie archimedische Körper (z. B. Kuboktaeder) geeignet. Auch Zwischenformen zwischen Körpern mit den vorstehend
- 10 genannten Geometrien und Körpern mit kugelartigen Geometrien können eingesetzt werden. Solche geometrischen Formen von Metallschaumbausteinen können z.B. erzeugt werden, indem Schaumpartikel bzw. aufschäumbare Granulatpartikel in teilweise offenen (z.B. oben offenen) Schäumformen erzeugt werden. Dabei wird beispielsweise der
- Unterseite eine definierte Geometrie aufgeprägt, während die Oberseite sich frei entwickeln und etwa die Form einer Halbkugel oder eines Halbellipsoids annehmen kann. Es können
- 15 aber auch fertige Metallschaumbausteine (z.B. Kugeln) in einem Zustand (bzw. bei einer Temperatur), in dem (bzw. bei der) eine Verformung leicht möglich ist, bevorzugt im teilflüssigen Zustand, entsprechend mechanisch behandelt (z.B. abgeplattet) werden. Die mechanische Behandlung hat hierbei bevorzugt so zu erfolgen, dass keine oder keine wesentliche Veränderung der Schaumstruktur eintritt.
- 20 Polyedrische Metallschaumbausteine können aber auch erhalten werden, indem - zur Verwertung von Metallschaumschrott - größere, nicht mehr benötigte Metallschaumkörper so zerkleinert werden, dass entsprechende Bereiche aus dem Metallschaumkörper herausgesägt werden; der Schrott kann also einer Wiederverwertung zugeführt werden. Diese Recyclingvariante ist insbesondere dann geeignet, wenn die Oberflächenschicht des
- 25 Metallschaumbausteins (z. B. eines Würfels oder Polyeders) nicht benötigt wird bzw. stört und ohnehin durch chemische und/oder physikalische Nachbehandlung entfernt werden müsste.

In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Metallschaumbausteine durch zumindest teilweises Aufschäumen in einer Schäumform erhalten. Eine Schäumform bedeutet in der Regel einen höheren Aufwand, daher ist eine Herstellung ohne Schäumform, also durch freies Aufschäumen, bevorzugt. Insbesondere zur Herstellung von

5 kugelförmigen Schaumpartikeln wird keine Schäumform benötigt. Zur Herstellung von Schaumpartikeln in Form von Quadern, Würfeln, Zylindern, Pyramiden, Vielflächnern, Rotationskörpern oder beliebigen anderen Freiformen kann aber die Verwendung einer Schäumform vorteilhaft sein; es können dabei während des Aufschäumprozesses auch Formen verwendet werden, die nur in einer oder zwei Raumrichtungen

10 Begrenzungsbarrieren darstellen. Je geringer der Raumbereich ist, der von einer Schäumform begrenzt wird, desto schneller können die Granulatpartikel aufgeheizt und definiert expandiert werden, ohne dass Temperaturgradienten auftreten. Bevorzugt wird also ein möglichst geringer Raumbereich von einer Schäumform begrenzt. Auch die Energieabführung kann dann umso schneller und ohne das Auftreten von signifikanten

15 Temperaturgradienten stattfinden. Auch die nach dieser Variante (mit entsprechend langsamerer Aufheizung und Abkühlung) hergestellten Metallschaumbausteine stellen dann einen unter idealen Bedingungen hergestellten Schaum dar, der eine überaus homogene Porenstruktur aufweist.

In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die dreidimensionale

20 Anordnung der Metallschaumbausteine zumindest teilweise mit teilflüssigen Metallschaumbausteinen. Hiermit kann insbesondere bei Metallschaumbauteilen mit komplizierten Geometrien erreicht werden, dass schwierig zugängliche Bereiche mit einer möglichst optimalen Schaumstruktur gefüllt sind.

Um eine besonders gute Verbindung der Metallschaumbausteine untereinander zu

25 erreichen sowie die Anbindung der Metallschaumbausteine an weitere Bestandteile eines Gesamtbauteils zu erleichtern, können die Metallschaumbausteine vor der dreidimensionalen Anordnung einer chemischen und/oder physikalischen Oberflächenbehandlung unterworfen werden. Hierbei kann z. B. die Aktivierung der

- Oberfläche des Metallschaumbausteins durch Reinigung der Oberfläche und Reduktion der Oxidhaut erreicht werden. Als physikalische Oberflächenbehandlungsschritte kommen vor allem mechanische Behandlungen, insbesondere Sputtern, Bürsten und Schleifen, in Betracht. Als chemische Oberflächenbehandlung ist z.B. eine Behandlung mit
- 5 Lösungsmitteln (insbesondere zum Entfetten), Beizen, Ätzen (z.B. mit Säuren, Laugen und/oder Elektrolyten) sowie Glühen an reduzierenden Oberflächen geeignet. Weiterhin kann eine Oberflächenbehandlung dergestalt stattfinden, dass eine Beschichtung auf dem Metallschaumbaustein aufgebracht wird. In der Regel ist eine Beschichtung geeignet, deren
- 10 Dicke im Verhältnis zum Durchmesser bzw. der Minimal- und Maximalausdehnung des Metallschaumbausteins klein ist. Als Beschichtung kommen insbesondere metallische Beschichtungen, oxidische Beschichtungen, keramische Beschichtungen, organische Beschichtungen und Beschichtungen aus der Gasphase oder der flüssigen Phase in Betracht. Derartige Beschichtungen der Metallschaumbausteine erlauben ein späteres Verkleben, Verlöten, Versintern, Schweißen und/oder Pressen der Metallschaumbausteine zu einem
- 15 Bauteil. Bevorzugt ist die Beschichtung so ausgebildet, dass auf dem Metallschaumbaustein zumindest teilweise mindestens eine feste Funktionsschicht aufgebracht wird, die aus einem Material besteht, das mittels einer chemischen und/oder physikalischen Behandlung fließfähig, plastisch und/oder elastisch verformbar wird.
- Die Funktionsschicht kann ein Polymer (z.B. Polyurethan) enthalten, das zu einem
- 20 Polymerschaum aufschäumbar ist.

- Das Verfahren zur Nachbehandlung der dreidimensional angeordneten Metallschaumbausteine kann ohne die Verwendung von Hilfsstoffen beispielsweise mittels Verkleben, Verlöten, Versintern (z.B. können etwaige Oxidhäute benachbarter Metallschaumbausteine zusammengebacken werden), Schweißen und/oder Pressen
- 25 erfolgen. Auch das Anlegen von hochfrequenten Wechsellasten im noch teilflüssigen Zustand (wodurch die Oxidhäute der noch teilflüssigen Metallschaumbausteine aufgerissen werden) ist möglich. Den vorstehenden Nachbehandlungsverfahren können zur Verbesserung der Bindungen zwischen den Metallschaumbausteinen noch weitere

Sinterschritte nachgeschaltet werden.

Es kann aber auch eine Nachbehandlung erfolgen, bei der Hilfsstoffe eingesetzt werden.

Hier kommt beispielsweise Kleben in Betracht. So können etwa einzelne

Metallschaumbausteine durch Auftragen einer Beschichtung zumindest in den Bereichen, in
5 denen ein Kontakt mit den benachbarten Metallschaumbausteinen vorgesehen ist, verklebt
werden. Es ist aber auch das Infiltrieren einer Schüttung von Metallschaumbausteinen mit
einem flüssigen Matrixwerkstoff (z. B. einem Harz, einer Metallschmelze o. ä.), das
Einmischen von Metallschaumbausteinen in einen flüssigen Matrixwerkstoff, der
nachfolgend in die feste Phase überführt wird, möglich.

10 Weiterhin ist das Mischen der Metallschaumbausteine mit einem expansionsfähigen
Granulat (ggf. sind hier auch dünne Granulatplatten verwendbar) möglich, anschließend
wird das expansionsfähige Granulat expandiert, so dass ein Verbundkörper aus gesondert
geschäumten Schaumpartikeln in dem expandierten Granulat entsteht. Beispielsweise sind
hierbei Aluminiummetallschaumbausteine in einem Polymerschaum vorstellbar, es kann
15 aber auch ein Aluminiummetallschaumbaustein in einem Metallschaum aus einem anderen
Material, insbesondere einem Material mit anderen Verformungseigenschaften vorliegen.
Derartige Metallschaumkörper können vorteilhaft als zweistufige Energieabsorber
verwendet werden. Wird eine Mischung von Metallschaumbausteinen mit einem zunächst
flüssigen Matrixwerkstoff vergossen, so entsteht im Extremfall ein Bauteil, das einen
20 Verbund aus einem Matrixwerkstoff und darin dispergierten Metallschaumbausteinen
aufweist.

Erfindungsgemäß kann das Verfahren zur Herstellung der Metallschaumbauteile mit

Metallschaumbausteinen mit oder ohne Beschichtung erfolgen. Werden

Metallschaumbausteine mit Beschichtung verwendet, so sind zur späteren Nachbehandlung

25 insbesondere solche Bausteine geeignet, auf denen zumindest teilweise mindestens eine
feste Funktionsschicht ausgebildet ist, die aus einem Material besteht, das mittels einer
chemischen und/oder physikalischen Behandlung fließfähig, plastisch und/oder elastisch
verformbar wird. Dadurch können benachbarte Metallschaumbausteine adhäsiv und/oder

stoffschlüssig miteinander fixiert werden. Die Beschichtung kann aus einem Metall, einer Metalllegierung, einem Metalloxid oder einer Keramik bestehen. Geeignete Metalle sind beispielsweise Eisen, Nickel, Kupfer sowie Leichtmetalle, z. B. Titan, Aluminium oder hochschmelzende Schwermetalle, wie beispielsweise Wolfram oder Molybdän und deren
5 Legierungen.

Die physikalische und/oder chemische Behandlung und die Materialauswahl sollten so erfolgen, dass die Schaumstruktur des Metallschaumbausteins nicht verändert oder instabil wird.

Es können auch mehrere Funktionsschichten zwiebelschalenartig übereinander ausgebildet
10 werden, wobei die jeweilige Materialauswahl verschiedene Anwendungen abdecken kann.

Ein beschichteter Metallschaumbaustein mit einer zusätzlichen festen Funktionsschicht, die zusätzlich, z. B. durch Auftragen einer Suspension auf die Oberfläche, aufgebracht und getrocknet bzw. ausgehärtet worden ist, stellt ein besser und leichter verarbeitbares Vorprodukt als unbeschichtete Metallschaumbausteine dar und erspart dem Endabnehmer
15 der Metallschaumbausteine die Durchführung komplizierter technologischer Verfahrensschritte.

Die erfindungsgemäße Funktionsschicht sollte eine Dicke aufweisen, die nach der physikalischen bzw. chemischen Behandlung der Metallschaumbausteine die jeweilige funktionelle Wirkung, beispielsweise einen Korrosionsschutz oder eine
20 Adhäsionsverbindung benachbarter Metallschaumbausteine gewährleistet. Die Dicke ist vorteilhaft jedoch mindestens so groß zu wählen, dass bei der plastischen und/oder elastischen Verformung eine formschlüssige Fixierung benachbarter Metallschaumbausteine erreicht werden kann.

Die beschichteten Metallschaumbausteine sind bevorzugt rieselfähig und nicht
25 aneinanderklebend, so dass die nach Lagerung und Transport problemlos verarbeitet werden können.

Auf der Funktionsschicht kann eine zusätzlich Siegelschicht, insbesondere zum temporären Schutz während des Transports und der Lagerung, aufgebracht werden, um sehr glatte, nicht klebende Oberflächen zu bilden. Hierfür können z. B. schnell trocknende, bevorzugt wasserlösliche Lacke oder andere mehr oder weniger Viskoseflüssigkeiten aufgesprüht
5 werden. Geeignete Beispiele sind Zellulose- oder Pektinlösungen bzw. Polyvinylalkohol.

Die Funktionsschichten können aus einem homogenen Material, aber auch aus Kompositen gebildet werden. So können in die Funktionsschicht für bestimmte Anwendungen (z. B. zu Detektionszwecken) ferro- und/oder permanentmagnetische Partikel eingebettet sein. Die Funktionsschicht kann aber auch mit katalytisch wirkenden Elementen oder Verbindungen
10 dotiert oder gebildet sein. So können beispielsweise Platin und/oder Rhodium und/oder Verbindungen dieser Metalle auf dem Metallschaumbaustein oder einer Funktionsschicht abgeschieden werden.

Werden organische Materialien oder Komponenten für die Funktionsschicht eingesetzt, so sind solche Polymere besonders geeignet, die ausgewählt sind aus Ethylenvinylacetat-
15 copolymeren, Polyamiden oder Polyestern, aber auch Phenolharz, Kresolharz, Furanharz oder Epoxidharz bzw. Bindemittel auf Latex- oder Kautschukbasis. Die organischen Materialien können in flüssiger Phase mit nachfolgender Trocknung auf die Metallschaumbausteine aufgebracht werden; eine Aktivierung kann beispielsweise später mittels Erwärmung erfolgen. Es können aber auch an sich bekannte Pulverlacke als
20 Funktionsschichtmaterial eingesetzt werden. Diese können pulverförmig auf die erwärmten Metallschaumbausteine aufgebracht werden, wobei Temperaturen eingehalten werden sollten, bei denen das Pulver auf den Metallschaumbausteinen haftet, jedoch kein zum Verlaufen führendes Schmelzen des Pulverlackpulvers auftritt. Dabei können die einzelnen Pulverpartikel mehr oder weniger gleichmäßig auf der Metallschaumbausteinoberfläche
25 verteilt haften und nach Abkühlung die Metallschaumbausteine ohne weiteres transportiert und gelagert werden, ohne dass sie miteinander verkleben. Erst bei der Herstellung von Bauteilen aus Metallschaumbausteinen wird die Temperatur wieder erhöht, bis das Pulver

erweicht oder schmilzt. Beim Schmelzen kann ein gleichmäßiger Lacküberzug über die gesamte Oberfläche ausgebildet werden.

Die Funktionsschicht kann auch aus einem organischen oder anorganischen Bindemittel gebildet sein, von dem Partikel, bevorzugt Metalle oder Polymere, adhäsiv gehalten werden.

- 5 Diese Partikel können sich bei einer thermischen Endverarbeitung verformen.

- Vorteilhaft kann die Funktionsschicht auch aus einem Metall bestehen oder ein solches Metall enthalten, das mit dem Metall des Metallschaumbausteins eine intermetallische Phase bilden kann. Dies ist je nach Matrixlegierung des Metallschaumbausteins beispielsweise mit Zinn und Kupfer möglich. Auch verschiedene Aluminide können so
10 gebildet werden.

Es können auch verschiedene Additive in der Funktionsschicht enthalten sein. Beispiele sind Lote, Flussmittel, Sinterhilfsmittel, Treib- oder auch Quellmittel.

- Zur Herstellung von Bauteilen aus den erfindungsgemäßen beschichteten Metallschaumbausteinen erfolgt nach der dreidimensionalen Anordnung der
15 Metallschaumbausteine in mindestens einem weiteren Verfahrensschritt eine physikalische und/oder chemische Behandlung, bei der das Funktionsschichtmaterial zumindest so weit erweicht wird, dass es plastisch und/oder elastisch verformbar ist. Die physikalische Behandlung kann eine durch Energieeintrag bewirkte Erwärmung des Funktionsschichtmaterials sein, wobei die Erweichungstemperatur und ggf. auch die
20 Schmelztemperatur dieses Materials kleiner als die des Materials, aus dem der Metallschaumkörper gebildet ist, sein sollte. Das erwärmte fließfähige Material passt sich der Oberflächenform der Metallschaumbausteine an. Nach dem Erkalten, bei dem das Funktionsschichtmaterial auch wieder erstarren kann, werden benachbarte Metallschaumbausteine zumindest formschlüssig fixiert, wobei eine feste Klebverbindung
25 nicht zwingend erforderlich ist. Durch das Fließen des Funktionsschichtmaterials können zwischen den Metallschaumbausteinen verbleibende Hohlräume zumindest teilweise mit

diesem Material gefüllt werden. Dadurch können auf die Metallschaumbausteine wirkende Kräfte beeinflusst und unerwünschte Spannungen in den Metallschaumbausteinen vermieden werden.

5 Eine chemische Behandlung der Metallschaumbausteine mit Funktionsschicht kann bevorzugt mit einem für das Funktionsschichtmaterial geeigneten Lösungsmittel durchgeführt werden, das flüssig oder dampfförmig mit den dreidimensional angeordneten Metallschaumbausteinen in Kontakt gebracht wird. Mit einem solchen Lösungsmittel wird eine Erweichung des Funktionsschichtmaterials erreicht, so dass dieses wieder temporär plastisch verformbar wird. Nach dem Abziehen bzw. Abdampfen des Lösungsmittels kann
10 das Funktionsschichtmaterial wieder erstarren und die eingenommene Form beibehalten.

Enthält die Funktionsschicht ein Metall oder eine Legierung, so kann die Wärmebehandlung so durchgeführt werden, dass ein Schmelzen des Metalls erfolgt und die Metallschaumbausteine miteinander verlötet werden. In diesem Fall kann die Funktionsschicht vorteilhaft auch mindestens ein Lot und ggf. ein geeignetes Flussmittel
15 enthalten bzw. können diese darin eingebettet sein. Eine solche Funktionsschicht kann dabei z. B. aus reinem Zinn bzw. gebundenem Zinnpulver bestehen.

Insbesondere bei Metallschaumbausteinen, die aus besonders reaktionsfreudigen Materialien bestehen, wie z. B. Eisen oder Aluminium, wirken sich Funktionsschichten als Oxidationsschicht vorteilhaft aus. Sie bilden auch bei aus derartigen
20 Metallschaumbausteinen hergestellten Bauteilen einen Korrosionsschutz.

Die erfindungsgemäßen Bauteile aus Metallschaum bestehen aus einem Verbund aus formschlüssig, stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbundenen Metallschaumbausteinen oder enthalten einen derartigen Verbund. Bevorzugt sind Bauteile, die aus einem Verbund stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbundener
25 Metallschaumbausteinen bestehen oder einen derartigen Verbund enthalten.

Die erfindungsgemäßen Bauteile aus Metallschaum sind dadurch gekennzeichnet, dass das

maximale Porenvolumen nicht größer sein kann als das Volumen des größten verwendeten Schaumpartikels. Zusätzlich ist der Charakter und die Größe des Anteils offener Porosität durch die Wahl und/oder die Geometrien der Metallschaumbausteine und ggf. auch durch Kombination geschlossenporiger und offenporiger Metallschaumbausteine gezielt

- 5 beeinflussbar. Somit hat das Metallschaumbauteil eine definierte Porenmorphologie mit garantierter maximaler Porengröße, sofern andere Fehlerquellen, wie z. B. Schüttfehler, ausgeschlossen werden.

- Die erfindungsgemäßen Bauteile aus Metallschaumbausteinen weisen insbesondere den Vorteil genau vorhersagbarer und einstellbarer Eigenschaften auf. Sie besitzen in allen
- 10 Raumrichtungen eine geordnete Struktur und können daher auch in Serienfertigung hergestellt werden, ohne dass Schwankungen in den mechanischen und/oder physikalischen Eigenschaften der Bauteile auftreten.

- Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Metallschaumbauteile können Metallschaumbausteine verschiedener Größe und/oder Dichte und Metallschaumbausteine aus unterschiedli-
- 15 chen Werkstoffen eingesetzt werden (darunter fallen sowohl Metallschaumbausteine, die selbst aus unterschiedlichen Werkstoffen besteht, als auch zwei oder mehrere Klassen von Metallschaumbausteinen, die jeweils aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen). Auch Metallschaumbausteine mit einer oder mehreren verschiedenen Funktionsschichten sowie zwei oder mehrere Klassen von Metallschaumbausteinen, die jeweils verschiedene
- 20 Funktionsschicht(en) tragen, können eingesetzt werden. Durch diese Freiheit der Wahlmöglichkeiten können Gesamtbauteile mit breit variierbaren und auch lokal variierbaren, jedoch definiert einstellbaren Eigenschaften erzeugt werden. Beispiele sind Bauteile aus Metallschaumbausteinen mit monomodalen oder multimodalen Durchmesser- und/oder Dichteverteilungen, Bauteile mit an hoch belastbaren Stellen lokal gezielt
- 25 erhöhten mechanischen Eigenschaften, Verbunde, bestehend aus Metallschaumbausteinen unterschiedlicher Werkstoffe, Schichtverbunde mit Metallschaumbausteinlagen und Armierungen jeder Art (z.B. Stahlblecheinleger) sowie Einsätze wie z.B. Gewindehülsen oder Gewindestäbe). Dabei kann die Tatsache vorteilhaft genutzt werden, dass sich die

Metallschaumbausteine mittels in der industriellen Praxis etablierter und kostengünstiger Verfahren nach Größe und/oder Gewicht und in Kombination der beiden Kriterien somit auch nach Schaumdichte einfach, schnell, sicher und vollständig automatisierbar klassieren lassen.

- 5 Die Metallschaumbausteine können erfindungsgemäß auch so angeordnet werden, dass ein Hohlbauteil erhalten wird, das vollständig oder teilweise mit Metallschaumbausteinen gefüllt ist, wobei die einzelnen Metallschaumbausteine nicht mit dem Hohlbauteil selbst stoffschlüssig und/oder adhäsiv verbunden sein müssen; selbst die Metallschaumbausteine untereinander müssen nicht oder können auch nur teilweise untereinander stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbunden sein. Derartige, mit Metallschaumbausteinen gefüllte Hohlstrukturen lassen sich, insbesondere bei nur teilweiser Füllung, als doppelte Energieabsorber (z.B. Crashabsorber) verwenden. Bevorzugt ist allerdings ein Bauteil, bei dem die Metallschaumbausteine so untereinander adhäsiv und/oder stoffschlüssig verbunden sind, dass keine Teilbereiche vorliegen, die mit einem anderen Teilbereich nicht adhäsiv und/oder stoffschlüssig verbunden sind.

- Ein erfindungsgemäßes Metallschaumbauteil kann auch aus einer mehrlagigen Verbundstruktur bestehen, die eine oder mehrere Lagen aus Metallschaumbausteinen beinhaltet. Hierbei können die Metallschaumbausteine untereinander oder auch nur mit den anderen Lagen stoffschlüssig und/oder adhäsiv verbunden sein. Auch eine stoffschlüssige und/oder adhäsive Verbindung sowohl untereinander als auch mit den übrigen Lagen ist denkbar. Auch hierbei ist ein Bauteil herstellbar, bei dem die Metallschaumbausteine so untereinander adhäsiv und/oder formschlüssig verbunden sind, dass keine Teilbereiche von Metallschaumbausteinen vorliegen, die mit einem anderen Teilbereich von Metallschaumbausteinen nicht adhäsiv und/oder formschlüssig verbunden sind (wobei diese Verbindung auch indirekt über die nicht aus Metallschaumbausteinen bestehenden Lagen erfolgen kann).

Die erfindungsgemäßen Bauteile sind besonders geeignet zur Herstellung von Crashabsorbern. Zur Verwendung der erfindungsgemäßen Metallschaumbauteile als zweistufiger Crashabsorber ist insbesondere ein Metallschaumbauteil geeignet, bei dem Metallschaumbausteine in eine diese umgebende Matrix aus Polymerschaum eingebettet
5 sind. Derartige Bauteile können z.B. auch einen Abstand zwischen benachbarten Metallschaumbausteinen aufweisen, der größer als der mittlere Durchmesser der verwendeten Metallschaumbausteine ist.

Anwendungsbeispiele

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird das erfindungsgemäße Verfahren, die
10 erfindungsgemäßen Metallschaumbausteine und die erfindungsgemäßen Metallschaumbauteile aus Metallschaumbausteinen nachfolgend anhand von Abbildungen näher erläutert.

Figur 1 zeigt Querschnittsflächen durch Metallschaumbausteine mit unterschiedlichen Größen und unterschiedlichen Geometrien.

15 Die beiden linken Beispiele sind Querschnitte durch Metallschaumkugeln (Durchmesser ca. 0,6 cm bzw. 1 cm), rechts ist ein Querschnitt durch einen Metallschaumquader gezeigt. Auffällig ist die einheitliche Porenverteilung.

Figur 2 zeigt die Herstellung eines kugelförmigen Metallschaumbausteins 4 aus einer aufschäumbaren Halbzeugtablette 1.

20 Die Halbzeugtablette 1 wird in den heißen Ofen 2 eingebracht und unter Wärmeeinwirkung (dargestellt durch Pfeile) tritt Expansion ein (3). Anschließend wird der fertig aufgeschäumte Metallschaumbaustein 4 dem Ofen 2 entnommen.

Figur 3 zeigt die Herstellung eines Bauteils aus Metallschaumbausteinen.

25 Metallschaumbausteine 4 unterschiedlicher Größen werden (sofern nötig) zunächst sortiert und klassifiziert. Optional erfolgt anschließend eine physikalische Oberflächenbehandlung wie z.B. Entfetten oder Beizen dieser Metallschaumbausteine wobei die

- oberflächenbehandelten Metallschaumbausteine 5 erhalten werden. Diese werden (wiederum optional) einem physikalischen oder chemischen Beschichtungsverfahren unterworfen, wobei Metallschaumbausteine mit Funktionsschicht 6 erhalten werden. Die Metallschaumbausteine 4 bzw. die oberflächenbehandelten Metallschaumbausteine 5 bzw. die Metallschaumbausteine mit Funktionsschicht 6 werden in eine Form 7a (in der Abbildung wird das Verschließen der Form mit einem Deckel gezeigt) bzw. eine Hohlstruktur 7b gefüllt (in der Abbildung beispielhaft für Metallschaumbausteine mit Funktionsschicht 6 gezeigt) und einer chemischen bzw. physikalischen Behandlung unterworfen, so dass ein Bauteil 8a bzw 8b mit einem formschlüssigen, stoffschlüssigen und/oder adhäsiven Verbund benachbarter Metallschaumbausteine entsteht. Wurde eine Form (7a) verwendet, so kann das fertige Bauteil in einem Entformungsschritt 9 aus der Form entnommen werden. Man erhält somit ein Bauteil aus Metallschaumbausteinen 10, in je nach Herstellungsverfahren ein Verbund von Metallschaumbausteinen (10a) bzw. ein Verbund von Metallschaumbausteinen und Hohlstruktur bzw. Hülle (10b = 8b) vorliegt.
- Figur 4a-4l zeigt verschiedene Varianten von Bauteilen aus Metallschaumbausteinen 10. Figur 4a zeigt ein dreidimensional geformtes Bauteil, hergestellt aus kleinen Metallschaumbausteinen (vgl. 10a). Figur 4b zeigt ein Hohlbauteil, das teilweise mit einem Schaumbauteil gefüllt ist, das aus Metallschaumbausteinen hergestellt wurde.
- Figur 4c zeigt ein Bauteil aus Metallschaumbausteinen 10c, das durch Verpressen (dargestellt durch Pfeile) kleiner Metallschaumbausteine erhalten wurde. Figur 4d zeigt einen Schichtverbund aus Schaumbauteillagen und anderen Werkstoffen (z.B. CFK).
- Figuren 4e und 4f zeigen Bauteile aus Metallschaumbausteinen unterschiedlicher Größe/Volumen, bei denen ein Verbund von Metallschaumbausteinen (10a) bzw. ein Verbund von Metallschaumbausteinen und Hülle (10b) vorliegt.
- Figuren 4g und 4h zeigen Bauteile aus Metallschaumbausteinen unterschiedlicher Geometrie, bei denen ein Verbund von Metallschaumbausteinen (10a) bzw. ein Verbund

von Metallschaumbausteinen und Hülle (10b) vorliegt.

Figur 4i zeigt ein zeigt ein Bauteil, hergestellt aus Schaumbausteinen unterschiedlicher Matrixwerkstoffe.

Figur 4k zeigt ein Bauteil, hergestellt aus Schaumbausteinen, das mit einem zweitem
5 Werkstoff (z.B. Polymerharz oder Polymerschaum) infiltriert wurde.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Metallschaum, bei dem mehrere Metallschaumbausteine, die mittels Energiezufuhr durch zumindest teilweises Aufschäumen von Granulatteilchen, die mindestens ein Metallpulver und mindestens ein Treibmittelpulver enthalten, erhältlich sind, dreidimensional angeordnet werden, wobei
entweder ein Gebilde, das die äußere Hülle des Bauteils aus Metallschaum bildet, mit den Metallschaumbausteinen zumindest teilweise befüllt wird
oder die Metallschaumbauteile zu einem Körper, mit einer Geometrie, die der des herzustellenden Bauteils entspricht, angeordnet werden,
und die so angeordneten Metallschaumbausteine mindestens einer physikalischen und/oder chemischen Nachbehandlung unterworfen werden, so dass jeweils benachbarte Metallschaumbausteine formschlüssig, stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbunden sind,
wobei die Größe der Metallschaumbausteine so gewählt wird, dass das Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Volumen eines Metallschaumbausteins und dem Volumen des Bauteils kleiner als 1:10 ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Metallschaumbausteine so gewählt wird, dass das Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Volumen eines Metallschaumbausteins und dem Volumen des Bauteils kleiner als 1:100 ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Metallschaumbausteine eingesetzt werden, die in einer Schäumform aufgeschäumt wurden.

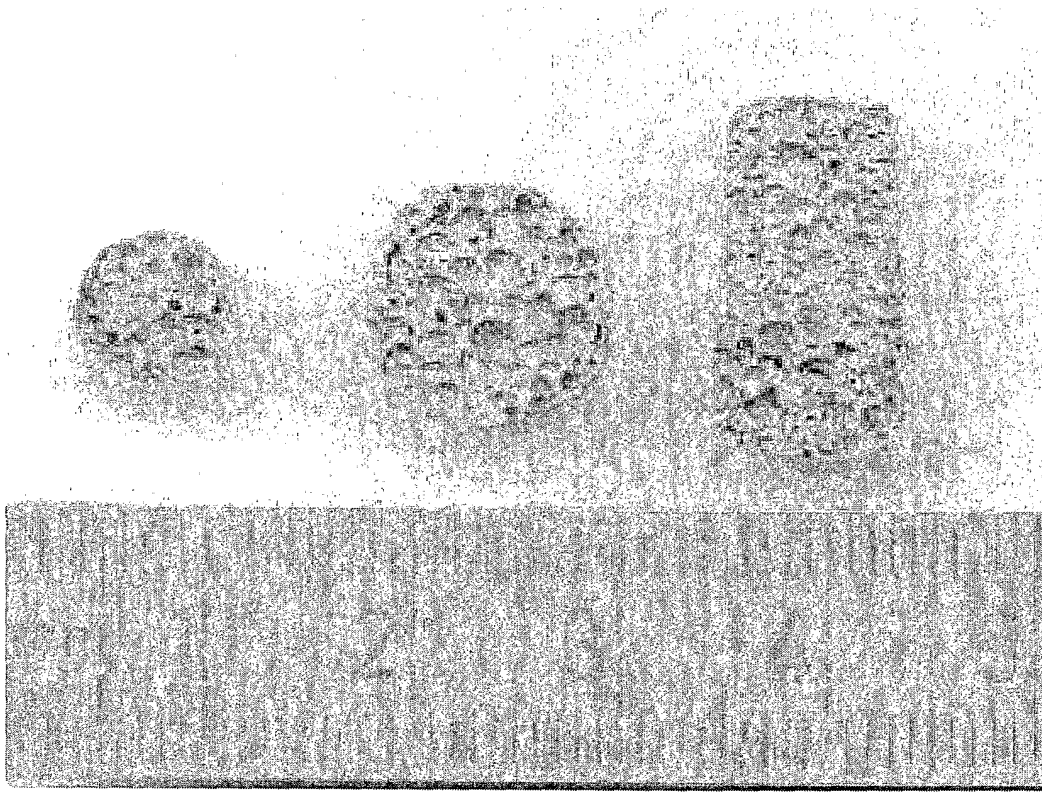
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
Metallschaumbausteine verwendet werden, die im Wesentlichen die Form einer Kugel
oder einer in einer Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Kugel haben.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
5 Metallschaumbausteine verwendet werden, die im Wesentlichen die Form eines
Polyeders oder eines in einer Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Polyeders
haben.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die dreidimensionale Anordnung der Metallschaumbausteine zumindest teilweise mit
10 teilflüssigen Metallschaumbausteinen erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Metallschaumbausteine vor der dreidimensionalen Anordnung einer chemischen
und/oder physikalischen Oberflächenbehandlung unterworfen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
15 auf den Metallschaumbausteinen zumindest teilweise mindestens eine feste
Funktionsschicht aufgebracht wird, die aus einem Material besteht, das mittels einer
chemischen und/oder physikalischen Behandlung fließfähig, plastisch und/oder elastisch
verformbar wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass
20 die Funktionsschicht aus einem Polymer besteht oder ein Polymer enthält, das zu einem
Polymerschaum aufschäumbar ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Nachbehandlung mittels Verkleben, Verlöten, Versintern, Schweißen und/oder
Pressen erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass
die Metallschaumbausteine mit einem expansionsfähigen Granulat gemischt werden,
das anschließend zu einem Schaum expandiert wird.
12. Metallschaumbaustein, der mittels Energiezufuhr durch zumindest teilweises
5 Aufschäumen eines Granulatteilchen, das mindestens ein Metallpulver und mindestens
ein Treibmittelpulver enthält, erhältlich ist, dadurch gekennzeichnet, dass
auf dem Metallschaumbaustein zumindest teilweise mindestens eine feste
Funktionsschicht ausgebildet ist, die aus einem Material besteht, das mittels einer
chemischen und/oder physikalischen Behandlung fließfähig, plastisch und/oder elastisch
10 verformbar wird.
13. Metallschaumbaustein nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass
die Funktionsschicht aus einem organischen Polymer gebildet ist oder ein solches
Polymer enthält.
14. Metallschaumbaustein nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Funktionsschicht aus einem Bindemittel gebildet ist und Partikel mit dem Bindemittel
adhäsiv gehalten werden.
15. Metallschaumbaustein nach den Ansprüchen 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass
die Funktionsschicht ein Metall, ein Metalloxid und/oder eine Keramik enthält oder
daraus gebildet ist.
- 20 16. Metallschaumbaustein nach den Ansprüchen 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass
auf der Funktionsschicht eine Siegelschicht ausgebildet ist.
17. Metallschaumbaustein nach den Ansprüchen 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass
die Metallschaumbausteine im Wesentlichen die Form einer Kugel oder einer in einer
Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Kugel haben.

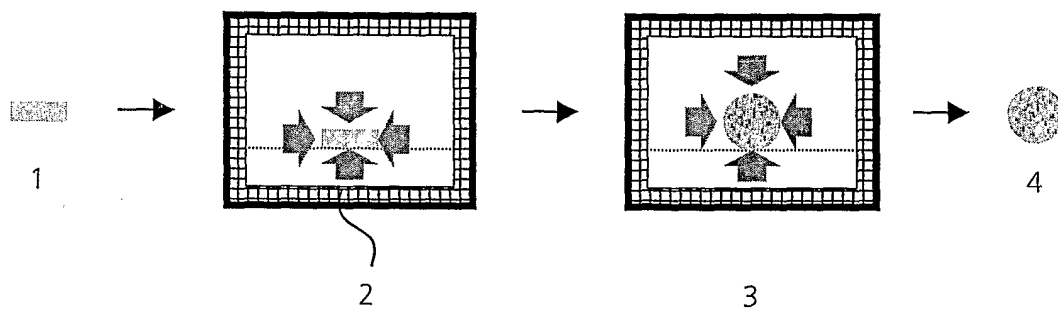
18. Metallschaumbaustein nach den Ansprüchen 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass Metallschaumbausteine verwendet werden, die im Wesentlichen die Form eines Polyeders oder eines in einer Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Polyeders haben.
- 5 19. Bauteil aus Metallschaum das aus einem Verbund formschlüssig, stoffschlüssig und/oder adhäsiv miteinander verbundener Metallschaumbausteine, die mittels Energiezufuhr durch zumindest teilweises Aufschäumen von Granulatteilchen, die mindestens ein Metallpulver und mindestens ein Treibmittelpulver enthalten, erhältlich sind, besteht
- 10 oder einen derartigen Verbund enthält, wobei das Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Volumen eines Metallschaumbausteins und dem Volumen des Bauteils kleiner als 1:10 ist.
20. Bauteil nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallschaumbausteine ein Gebilde das die äußere Hülle des Bauteils bildet zumindest teilweise ausfüllen und gegebenenfalls stoffschlüssig und/oder adhäsiv mit
- 15 diesem verbunden sind.
21. Bauteil aus Metallschaum in dem Metallschaumbausteine, die mittels Energiezufuhr durch zumindest teilweises Aufschäumen von Granulatteilchen, die mindestens ein Metallpulver und mindestens ein Treibmittelpulver enthalten, erhältlich sind, ein Gebilde, das die äußere Hülle des Bauteils bildet, zumindest teilweise ausfüllen.
- 20 22. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallschaumbausteine zumindest teilweise Metallschaumbausteine nach den Ansprüchen 12 bis 18 sind.
23. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallschaumbausteine im Wesentlichen die Form einer Kugel oder einer in einer
- 25 Raumrichtung gestauchten und/oder gestreckten Kugel haben und dass zwischen den

Metallschaumbausteinen konkav-sphärische miteinander kommunizierende, gegebenenfalls gefüllte Hohlräume vorliegen.

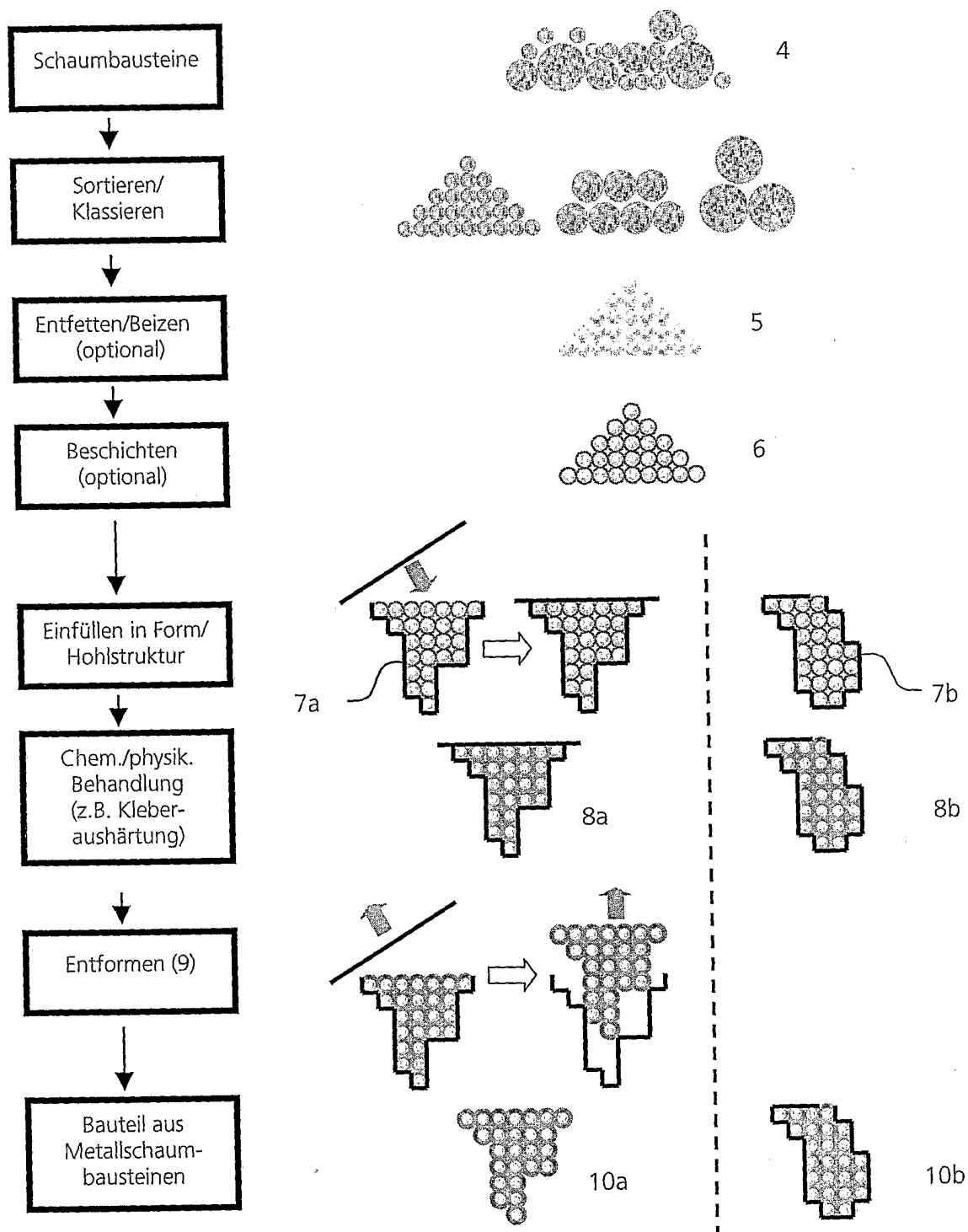
24. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass
das Verhältnis des durchschnittlichen Volumens der Metallschaumbausteine und des
5 Volumens des Bauteils kleiner als 1:100 ist.
25. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass
die Metallschaumbausteine unterschiedliche Größen und/oder unterschiedliche
Geometrien und/oder eine unterschiedliche Dichte aufweisen.
26. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass
10 Metallschaumbausteine aus verschiedenen Materialien vorliegen.
27. Bauteil nach den Ansprüchen 19 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass
der Verbund der Metallschaumbausteine über einen Schaum erfolgt, der durch
Expansion eines expansionsfähigen Granulats und/oder das Aufschäumen einer auf den
Metallschaumbausteinen zumindest teilweise aufgetragenen aufschäumbaren
15 Funktionsschicht erhältlich ist.
28. Bauteil nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaum ein
Polymerschaum ist.
29. Verwendung eines Bauteils nach den Ansprüchen 19 bis 28 als Energieabsorber oder
zur Herstellung eines Energieabsorbers.



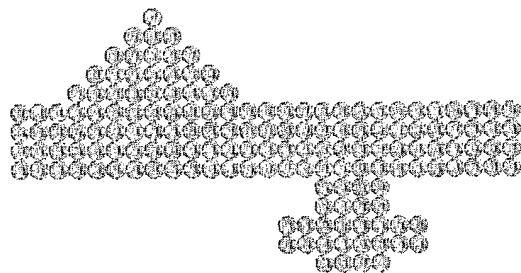
Figur 1



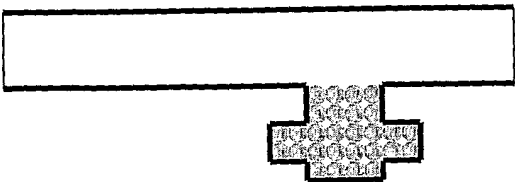
Figur 2



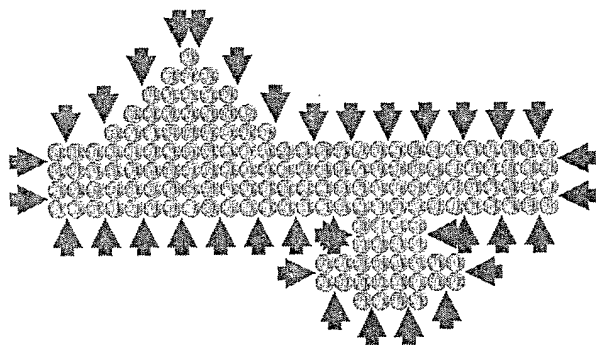
Figur 3



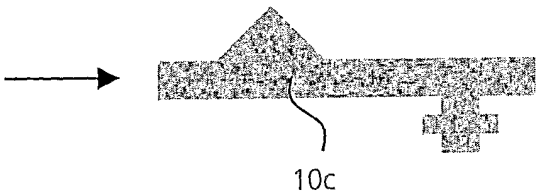
Figur 4a



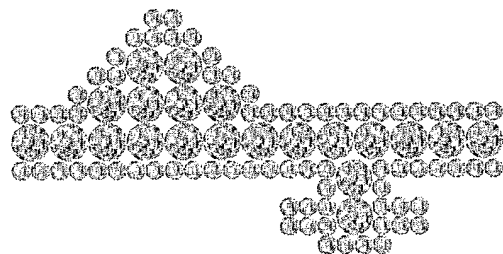
Figur 4b



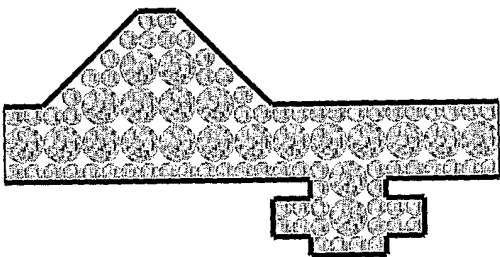
Figur 4c



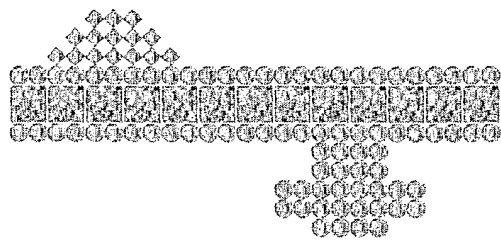
Figur 4d



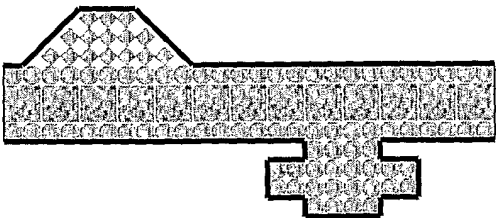
Figur 4e



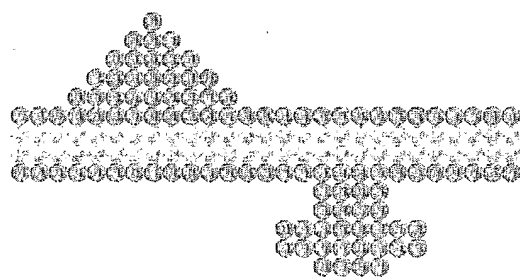
Figur 4f



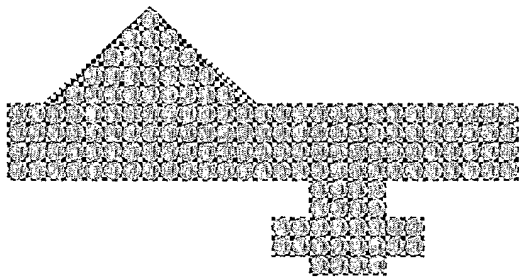
Figur 4g



Figur 4h



Figur 4i



Figur 4k

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

/EP2004/006684

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B22F3/11 B22F7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B22F C22C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 196 50 613 A (DAIMLER BENZ AEROSPACE AG ; DAIMLER BENZ AG (DE)) 10 June 1998 (1998-06-10) columns 1,2	12,15
X	EP 0 209 859 A (HERBERTS & CO GMBH) 28 January 1987 (1987-01-28) column 7, line 23 - line 26 the whole document	12,13,16
X	US 3 839 080 A (NIEBYLSKI L ET AL) 1 October 1974 (1974-10-01) the whole document	12,13,16
A	DE 198 51 250 A (IP & P INNOVATIVE PRODUKTE & P) 18 May 2000 (2000-05-18) the whole document	1-29
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 September 2004

Date of mailing of the international search report

06/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Brown, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

/EP2004/006684

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2003/104147 A1 (BRETSCHNEIDER FRANK ET AL) 5 June 2003 (2003-06-05) the whole document	1-28
A	DE 100 03 175 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG ; GLATT SYSTEMTECHNIK DRESDEN GM (DE)) 9 August 2001 (2001-08-09) the whole document	1-29
A	BANHART J: "MANUFACTURING ROUTES FOR METALLIC FOAMS" JOM, MINERALS, METALS AND MATERIALS SOCIETY, WARRENDALE, US, vol. 52, no. 12, December 2000 (2000-12), pages 22-27, XP009012096 ISSN: 1047-4838 the whole document	1-29
A	BAXTER N E ET AL: "METALLIC FOAMS FROM ALLOY HOLLOW SPHERES" SYNTHESIS/PROCESSING OF LIGHTWEIGHT METALLIC MATERIALS. PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM, XX, XX, 1997, pages 417-430, XP000979979 the whole document	1-29
A	US 3 087 807 A (MOTE MORRIS W ET AL) 30 April 1963 (1963-04-30) cited in the application the whole document	1-29
A	DE 40 18 360 C (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG) 29 May 1991 (1991-05-29) cited in the application the whole document	1-29
A	DE 102 36 047 A (GEESTHACHT GKSS FORSCHUNG) 8 May 2003 (2003-05-08) the whole document	1-29

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

.../EP2004/006684

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19650613	A	10-06-1998	DE 19650613 A1	10-06-1998
EP 0209859	A	28-01-1987	DE 3526270 A1	05-02-1987
			CN 86105150 A	04-02-1987
			EP 0209859 A2	28-01-1987
			ES 2000126 A6	16-12-1987
			JP 62022879 A	31-01-1987
US 3839080	A	01-10-1974	US 3707401 A	26-12-1972
DE 19851250	A	18-05-2000	DE 19851250 A1	18-05-2000
US 2003104147	A1	05-06-2003	DE 10003175 A1	09-08-2001
			DE 10011764 A1	20-09-2001
			DE 10046174 A1	27-09-2001
			AU 4044401 A	07-08-2001
			CA 2397770 A1	02-08-2001
			CZ 20022421 A3	15-01-2003
			WO 0154846 A2	02-08-2001
			EP 1251985 A2	30-10-2002
			JP 2003520905 T	08-07-2003
			PL 356560 A1	28-06-2004
			DE 10048412 A1	20-09-2001
DE 10003175	A	09-08-2001	DE 10003175 A1	09-08-2001
			AU 4044401 A	07-08-2001
			CA 2397770 A1	02-08-2001
			CZ 20022421 A3	15-01-2003
			WO 0154846 A2	02-08-2001
			DE 10046174 A1	27-09-2001
			EP 1251985 A2	30-10-2002
			JP 2003520905 T	08-07-2003
			PL 356560 A1	28-06-2004
			US 2003104147 A1	05-06-2003
US 3087807	A	30-04-1963	NONE	
DE 4018360	C	29-05-1991	DE 4018360 C1	29-05-1991
			AT 142135 T	15-09-1996
			CA 2044120 A1	09-12-1991
			DE 4101630 A1	12-12-1991
			DE 59108133 D1	10-10-1996
			EP 0460392 A1	11-12-1991
			JP 2898437 B2	02-06-1999
			JP 4231403 A	20-08-1992
			US 5151246 A	29-09-1992
DE 10236047	A	08-05-2003	DE 10236047 A1	08-05-2003
			WO 03015964 A1	27-02-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

/EP2004/006684

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B22F3/11 B22F7/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B22F C22C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 196 50 613 A (DAIMLER BENZ AEROSPACE AG ; DAIMLER BENZ AG (DE)) 10. Juni 1998 (1998-06-10) Spalten 1,2	12,15
X	EP 0 209 859 A (HERBERTS & CO GMBH) 28. Januar 1987 (1987-01-28) Spalte 7, Zeile 23 - Zeile 26 das ganze Dokument	12,13,16
X	US 3 839 080 A (NIEBYLSKI L ET AL) 1. Oktober 1974 (1974-10-01) das ganze Dokument	12,13,16
A	DE 198 51 250 A (IP & P INNOVATIVE PRODUKTE & P) 18. Mai 2000 (2000-05-18) das ganze Dokument	1-29
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. September 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

06/10/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Brown, A

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2003/104147 A1 (BRETSCHNEIDER FRANK ET AL) 5. Juni 2003 (2003-06-05) das ganze Dokument	1-28
A	DE 100 03 175 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG ; GLATT SYSTEMTECHNIK DRESDEN GM (DE)) 9. August 2001 (2001-08-09) das ganze Dokument	1-29
A	BANHART J: "MANUFACTURING ROUTES FOR METALLIC FOAMS" JOM, MINERALS, METALS AND MATERIALS SOCIETY, WARRENDALE, US, Bd. 52, Nr. 12, Dezember 2000 (2000-12), Seiten 22-27, XP009012096 ISSN: 1047-4838 das ganze Dokument	1-29
A	BAXTER N E ET AL: "METALLIC FOAMS FROM ALLOY HOLLOW SPHERES" SYNTHESIS/PROCESSING OF LIGHTWEIGHT METALLIC MATERIALS. PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM, XX, XX, 1997, Seiten 417-430, XP000979979 das ganze Dokument	1-29
A	US 3 087 807 A (MOTE MORRIS W ET AL) 30. April 1963 (1963-04-30) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-29
A	DE 40 18 360 C (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG) 29. Mai 1991 (1991-05-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-29
A	DE 102 36 047 A (GEESTHACHT GKSS FORSCHUNG) 8. Mai 2003 (2003-05-08) das ganze Dokument	1-29

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006684

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19650613	A	10-06-1998	DE 19650613 A1	10-06-1998
EP 0209859	A	28-01-1987	DE 3526270 A1	05-02-1987
			CN 86105150 A	04-02-1987
			EP 0209859 A2	28-01-1987
			ES 2000126 A6	16-12-1987
			JP 62022879 A	31-01-1987
US 3839080	A	01-10-1974	US 3707401 A	26-12-1972
DE 19851250	A	18-05-2000	DE 19851250 A1	18-05-2000
US 2003104147	A1	05-06-2003	DE 10003175 A1	09-08-2001
			DE 10011764 A1	20-09-2001
			DE 10046174 A1	27-09-2001
			AU 4044401 A	07-08-2001
			CA 2397770 A1	02-08-2001
			CZ 20022421 A3	15-01-2003
			WO 0154846 A2	02-08-2001
			EP 1251985 A2	30-10-2002
			JP 2003520905 T	08-07-2003
			PL 356560 A1	28-06-2004
			DE 10048412 A1	20-09-2001
DE 10003175	A	09-08-2001	DE 10003175 A1	09-08-2001
			AU 4044401 A	07-08-2001
			CA 2397770 A1	02-08-2001
			CZ 20022421 A3	15-01-2003
			WO 0154846 A2	02-08-2001
			DE 10046174 A1	27-09-2001
			EP 1251985 A2	30-10-2002
			JP 2003520905 T	08-07-2003
			PL 356560 A1	28-06-2004
			US 2003104147 A1	05-06-2003
US 3087807	A	30-04-1963	KEINE	
DE 4018360	C	29-05-1991	DE 4018360 C1	29-05-1991
			AT 142135 T	15-09-1996
			CA 2044120 A1	09-12-1991
			DE 4101630 A1	12-12-1991
			DE 59108133 D1	10-10-1996
			EP 0460392 A1	11-12-1991
			JP 2898437 B2	02-06-1999
			JP 4231403 A	20-08-1992
			US 5151246 A	29-09-1992
DE 10236047	A	08-05-2003	DE 10236047 A1	08-05-2003
			WO 03015964 A1	27-02-2003