



(10) **DE 10 2018 106 260 B4** 2019.12.24

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 106 260.5**
(22) Anmeldetag: **16.03.2018**
(43) Offenlegungstag: **19.09.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.12.2019**

(51) Int Cl.: **C04B 38/00 (2006.01)**
G10K 11/162 (2006.01)

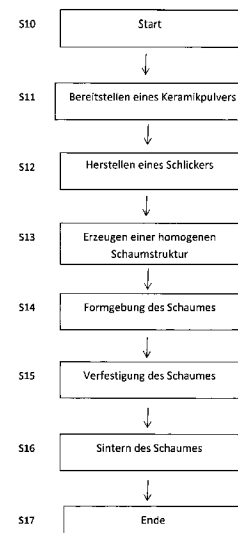
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber: Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE; Universität Bremen, 28359 Bremen, DE	47802 Krefeld, DE; Kiliani, Stefan Werner, 45133 Essen, DE; Nikasch, Christian, 45478 Mülheim, DE; Grote, Holger, 45478 Mülheim, DE; Lange, Friederike, 40885 Ratingen, DE; Krusch, Claus, 45257 Essen, DE
(74) Vertreter: ZACCO Patentanwalts- und Rechtsanwalts-gesellschaft mbH, 28195 Bremen, DE	
(72) Erfinder: Eigenbrod, Christian, 28329 Bremen, DE; Malangré, Daniel, 28209 Bremen, DE; Ries, Hans- Christoph, 28209 Bremen, DE; Grieb, Thomas,	

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2015 202 277 B3

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers, keramischer Absorber und Verwendung desselben**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers, der zur Absorption von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen geeignet ist, bei dem ein Keramikpulver bereitgestellt wird, ein Schlicker hergestellt wird, der Schlicker zur Erzeugung eines Schaumes aufgeschäumt wird und der Schaum gesintert wird, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bereitstellen des Keramikpulvers eine Kombination aus mindestens einer Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens einer Komponente aus der Klasse der Oxide verwendet wird, wobei das Keramikpulver mit einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und entsprechend einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Oxide in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent bereitgestellt wird, dass eine homogene Porenverteilung in der Schaumstruktur erzeugt wird, und dass das Sintern bei einer Temperatur in einem Bereich von 1500°C bis 1750°C und/oder über eine Zeitspanne in einem Bereich von sechzig Minuten bis hundertachtzig Minuten erfolgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers, der zur Absorption von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen geeignet ist, bei dem ein Keramikpulver bereitgestellt wird, ein Schlicker hergestellt wird, der Schlicker zur Erzeugung eines Schaumes aufgeschäumt wird und der Schaum gesintert wird. Des Weiteren betrifft die Erfindung einen keramischen Absorber, der zur Absorption von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen geeignet ist, mit einer Schaumstruktur. Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft die Verwendung eines keramischen Absorbers.

[0002] Unter Schwingungen sind im Zusammenhang mit der Erfindung Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen zu verstehen. Die Verbrennung eines gasförmigen Vorgemisches neigt bei Äquivalenzverhältnissen nahe der mageren Zündgrenze zu verbrennungs-induzierten Instabilitäten. Überschreitet die immer vorhandene akustische Anregung einer im Verbrennungssystem möglichen Instabilität die innere Dämpfung, gerät das System in Resonanz. Die die Resonanz verursachende Verbrennung wird in Folge dessen zu deren Verstärker. Hierbei können sich die damit verbundenen Schwingungen ohne weitere Leistungserhöhung resonant zu beträchtlichen Werten verstärken und die Gasturbine schädigen. Daher ergibt sich die Notwendigkeit, solche thermoakustischen Instabilitäten in Gasturbinen zu dämpfen.

[0003] Ein Absorber soll die auf diese Weise entstehenden akustischen Wellen dämpfen. Gleichzeitig muss der Absorber den Bedingungen in einer Gasturbine dauerhaft widerstehen können, da die Dämpfung in der Brennkammer der Gasturbine unter Hochtemperatur und Hochdruck erfolgen muss. Weiter steigende Verbrennungstemperaturen stellen dabei neue Herausforderungen an das Material eines Absorbers.

[0004] Ein Verfahren zur Herstellung von aufgeschäumten keramischen Werkstoffen zur Hochtemperatur-Wärmeisolation in Prozessöfen und ein keramischer Schaum, der mittels eines solchen Verfahrens hergestellt ist, ist beispielsweise aus der DE 10 2015 202 277 B3 bekannt. Hierbei wird ein Schlicker bereitgestellt, welcher beispielsweise aus Aluminiumoxid, Mullit oder einer Mischung aus Aluminiumoxid und Mullit bestehen kann. Zur Herstellung des Schlickers wird das Keramikpulver unter Zugabe eines Bindemittels und eines Dispergiermittels in ein Dispersionsmedium gegeben und der erzeugte Schlicker aufgeschäumt. Während des Aufschäumens wird ein anorganisches hydraulisches Bindemittel zugegeben. Der Schaum weist eine hochhomogene monomodale Porengröße und eine hochhomogene monomodale Porengrößenverteilung auf. Anschließend wird der Schaum einem formgeben-

dem Verfahren unterzogen und schließlich abgebunden, getrocknet und bei Temperaturen von 1400° C bis 2000 °C unter oxidierender Ofenatmosphäre gebrannt.

[0005] Ein Keramik-Schalldämpfer ist beispielsweise aus der DE 697 36 104 T2 bekannt. Der dort beschriebene Keramik-Schalldämpfer besteht aus einem Keramikmaterial auf Aluminiumoxidbasis, das Siliziumcarbid (SiC) Fadenkristalle enthält. Der Keramik-Schalldämpfer ist als poröser Keramikkörper ausgebildet. Poren in der Nähe der Vorderseite des Keramikkörpers haben einen mittleren Durchmesser im Bereich von fünfzig bis vierhundertfünfzig Mikrometern, wobei der Porendurchmesser in Richtung der Rückseite des Keramikkörpers auf einen mittleren Durchmesser im Bereich von fünfhundert bis dreitausendvierhundert Mikrometer zunimmt. Die Vorderseite des porösen Keramikkörpers ist durch eine dichtere Schicht gekennzeichnet, welche Poren in einem Bereich von zehn Mikrometern bis fünfzig Mikrometern aufweist.

[0006] Bekannte poröse Keramikstrukturen mit schallreduzierenden Eigenschaften erfüllen jedoch sowohl hinsichtlich der Dämpfung als auch hinsichtlich des zu absorbierenden Frequenzbereichs nicht die notwendigen Anforderungen für eine hinreichende Schallreduktion. Daher werden üblicherweise bekannte Helmholtz-Resonatoren eingesetzt.

[0007] Hierbei ist jedoch von Nachteil, dass die bisher bekannten metallischen Helmholtz-Resonatoren aufwendig mit Kühlluft umspült werden müssen, um eine hinreichende Kühlung des Metalls zu gewährleisten. Zur Steigerung des Wirkungsgrads ist es jedoch erforderlich, dass die Menge an Kühlluft reduziert wird. Ein weiterer Nachteil ergibt sich daraus, dass Helmholtzresonatoren nur schmalbandig absorbieren. Daher müssen viele verschiedene schmalbandige Helmholtz-Resonatoren eingesetzt werden, um alle relevanten Frequenzen zu dämpfen.

[0008] Ebenfalls ist der Einsatz von durchströmten Helmholtz-Resonatoren bekannt. Diese arbeiten breitbandiger, jedoch mit niedriger Effizienz.

[0009] Des Weiteren ist der Einsatz von geregelten Ventilen bekannt, welche einen kleinen zusätzlichen Gasmassenstrom periodisch schalten. Die Schaltfrequenz wird dabei im geschlossenen Regelkreis mit Sensoren, die die auftretende Intensität erkennen und deren Frequenz messen, der Frequenz der auftretenden Resonanz angepasst, wobei die Phasenlage zur Dämpfung der Schwingung um 180 Grad gedreht wird. Der Einsatz dieser geregelten Ventile ist jedoch ebenfalls mit einer niedrigen Effizienz verbunden.

[0010] Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangsgenannten Art zur Herstellung eines keramischen Absorbers und einen keramischen Absorber der eingangsgenannten Art derart weiterzubilden, dass das Schallabsorptionsvermögen des Absorbers definiert einstellbar ist und der Wirkungsgrad verbessert werden kann.

[0011] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers dadurch gelöst, dass zum Bereitstellen des Keramikpulvers eine Kombination aus mindestens einer Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens einer Komponente aus der Klasse der Oxide verwendet wird, wobei das Keramikpulver mit einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und entsprechend einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Oxide in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent bereitgestellt wird, dass eine homogene Porenverteilung in der Schaumstruktur erzeugt wird, und dass das Sintern bei einer Temperatur in einem Bereich von 1500°C bis 1750°C und/oder über eine Zeitspanne in einem Bereich von sechzig Minuten bis hundertachtzig Minuten erfolgt. Bei einem keramischen Absorber der eingangsgenannten Art wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe dadurch gelöst, dass die Schaumstruktur auf einem Keramikpulver basiert, das eine Kombination einer Komponente aus der Klasse der Silikate und einer Komponente aus der Klasse der Oxide aufweist, wobei der Anteil der Komponente aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent liegt und der Anteil der Komponente aus der Klasse der Oxide entsprechend in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent liegt, und wobei die Schaumstruktur eine homogene Porenverteilung hat.

[0012] Bei der Herstellung eines keramischen Absorbers kann das Keramikpulver ausschließlich aus Silikat, ausschließlich aus Oxid oder aus einer Materialkombination bestehen, die mindestens eine Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens eine Komponente aus der Klasse der Oxide enthält. Jede dieser Möglichkeiten liefert ein für den Verwendungszweck geeignetes Endprodukt, jedoch können einzelne Parameter individuell durch die angepasste Wahl des Materials bzw. des Gewichtsanteils der Komponenten in der Materialkombination angepasst werden. Insbesondere können sich bei der Verwendung von mehreren Komponenten aus der Klasse der Oxide, diese durch ihre Partikelgrößen voneinander unterscheiden. Insbesondere kann das Keramikpulver frei von Siliziumcarbid sein. Zur Erzeugung des Schlickers kann das Keramikpulver in ein Dispersionsmittel gegeben werden. Zusätzlich können als Zu-

satzstoffe Dispergiermittel, Schaumbildner und gegebenenfalls Binder in den Schlicker gegeben werden.

[0013] Die Porenstruktur des Absorbers ermöglicht, dass die sich ausbreitenden Schallwellen destruktiv interferieren und dissipieren. Porenabsorber dämpfen einen breiten Frequenzbereich und bieten somit den Vorteil einer wesentlich breitbandigeren Absorption, als die bisher eingesetzten metallischen Resonatoren, die als Helmholzresonatoren nur sehr schmalbandig absorbieren. Die Strömungsresistenz, also der Strömungswiderstand des porösen keramischen Schaums, steht in direktem Zusammenhang mit dessen Porosität. Über die anfängliche Schaumdichte kann die Strömungsresistenz gezielt eingestellt werden, sodass eine gute Absorption in vorbestimmten Frequenzbereichen erzielt wird.

[0014] Gegenüber metallischen Strukturen weisen die keramischen Absorber eine erhöhte Korrosionsresistenz und eine erhöhte thermische Stabilität auf. Zudem weisen die schallabsorbierenden Schaumkeramiken eine sehr geringe thermische Leitfähigkeit auf, wodurch sie sich auch als thermische Isolatoren gut eignen. Ein weiterer Vorteil gegenüber metallischen Strukturen besteht darin, dass keramische Materialien keine Kühlung benötigen. Somit kann eine Stabilisierung der Verbrennung ohne leistungsreduzierende Kühlung von Resonatoren erfolgen. Gleichzeitig kann der Wirkungsgrad durch Kühlluft einsparung gesteigert werden.

[0015] Das Keramikpulver wird mit einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und entsprechend einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Oxide in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent bereitgestellt. Die Verwendung einer solchen Materialzusammensetzung bedingt gepaart mit einer definierten Porenverteilung in vorteilhafter Weise eine sehr gute Thermoschickresistenz.

[0016] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens haben die Silikate und/oder die Oxide bei der Verwendung von mehr als einer Komponente unterschiedliche Partikelgrößen. Das Massenverhältnis von einer Komponente mit größeren Partikeln zu einer Komponente mit feineren Partikeln liegt bei sechzig bis achtzig Massenprozent zu entsprechend vierzig bis zwanzig Massenprozent, insbesondere bei siebzig Massenprozent zu dreißig Massenprozent. Insbesondere kann ein solches Massenverhältnis von Komponenten mit feineren Partikeln zu Komponenten mit größeren Partikeln vorliegen, wenn das Keramikpulver ausschließlich aus Oxid besteht. Insbesondere können beide Komponenten aus der Klasse der Oxide Aluminiumoxid sein und unterschiedliche Partikelgrößen haben. Insbesondere kann als grobkörnigere

Komponente Aluminiumoxid mit Partikelgrößen kleiner fünfundsiebzig Mikrometern und als feinkörnigere Komponente Aluminiumoxid mit Partikelgrößen in einem Bereich von 0,5 Mikrometern bis 0,8 Mikrometern verwendet werden.

[0017] Alternativ kann das Massenverhältnis von einer Komponente mit größeren Partikeln zu einer Komponenten mit feineren Partikeln bei fünfzig bis siebzig Massenprozent zu entsprechend fünfzig bis dreißig Massenprozent, insbesondere bei sechzig Massenprozent zu vierzig Massenprozent liegen. Insbesondere kann ein solches Massenverhältnis von Komponenten mit feineren Partikeln zu Komponenten mit größeren Partikeln vorliegen, wenn das Keramikpulver aus einer Materialkombination besteht, die eine Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens zwei Komponenten aus der Klasse der Oxide enthält. Insbesondere können beide Komponenten aus der Klasse der Oxide Aluminiumoxid sein und unterschiedliche Partikelgrößen haben. Insbesondere kann als grobkörnigere Komponente Aluminiumoxid mit Partikelgrößen kleiner fünfundsiebzig Mikrometern und als feinkörnigere Komponente Aluminiumoxid mit Partikelgrößen in einem Bereich von 0,5 Mikrometern bis 0,8 Mikrometern verwendet werden.

[0018] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird aus der Klasse der Silikate Mullit verwendet. Mullit hat eine hohe thermische Stabilität. Insbesondere kann aus der Klasse der Silikate Schmelz-Mullit verwendet werden. Vorzugsweise kann der Schmelz-Mullit Alodur WFM (white fused mullite) von dem Hersteller Treibacher verwendet werden. Besonders bevorzugt kann der Mullit Partikelgrößen von vierzig Mikrometern haben. Aus der Klasse der Oxide wird Aluminiumoxid verwendet. Aluminiumoxid hat eine hohe thermische Stabilität. Insbesondere kann grobkörniges Aluminiumoxid verwendet werden. Vorzugsweise kann das grobkörnige Aluminiumoxid Tabular Alumina T60, Li von dem Hersteller Almatris verwendet werden. Besonders bevorzugt kann das grobkörnige Aluminiumoxid Partikelgrößen kleiner fünfundsiebzig Mikrometern haben. Weiter kann feinkörniges Aluminiumoxid verwendet werden. Vorzugsweise kann das feinkörnige Aluminiumoxid CT-3000 SG von dem Hersteller Alcoa verwendet werden. Besonders bevorzugt kann das feinkörnige Aluminiumoxid Partikelgrößen in einem Bereich von 0,5 Mikrometern bis 0,8 Mikrometern und/oder sphärische Partikel haben.

[0019] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens werden das Keramikpulver, Dispergiermittel und Schaumbildner zur Herstellung des Schlickers in ein Dispersionsmittel gegeben. Gegebenenfalls, bei Verwendung eines Keramikpulvers enthaltend mindestens eine, vorzugsweise zwei oder mehr Komponenten ausschließlich aus der Klasse der Oxide, kann dem Schlicker Binder zugefügt werden. Bei einer

Weiterbildung des Verfahrens wird der Schlicker aufweisend das Keramikpulver aufweisend eine Komponente aus der Klasse der Silikate oder eine Kombination einer Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens einer Komponente aus der Klasse der Oxide, auf Basis von Silikasol hergestellt. Bei einer alternativen Weiterbildung des Verfahrens wird der Schlicker aufweisend das Keramikpulver aufweisend Komponenten, insbesondere ausschließlich aus der Klasse der Oxide, auf Wasserbasis hergestellt.

[0020] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird als Dispergiermittel ein organisches und/oder alkali-freies Mittel verwendet. Insbesondere wird als Dispergiermittel ein Mittel auf Basis von Carbonsäure verwendet. Vorzugsweise kann als Dispergiermittel das Mittel Dolapix CE 64, von dem Hersteller Zschimmer & Schwartz verwendet werden. Durch die Zugabe eines Dispergiermittels kann das Dispergieren von mindestens zwei Phasen ermöglicht oder stabilisiert werden.

[0021] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird als Schaumbildner ein anionaktives Tensid verwendet. Insbesondere wird als Schaumbildner ein Tensid auf Basis von Fettalkoholsulfat verwendet. Vorzugsweise kann als Schaumbildner das Schäumungsmittel W53, von dem Hersteller Zschimmer & Schwartz verwendet werden. Durch die Zugabe eines Schaumbildners kann der Schlicker aufgeschäumt werden. Durch die Aufschäumung auf unterschiedliche Volumina können unterschiedlich dichte Schäume erzeugt werden. Insbesondere wird der Schlicker mittels eines Rührers aufgeschäumt. Es kann vorgesehen sein, dass zusätzlich dichtere Schichten an den Außenflächen aufgebracht werden.

[0022] Die Verfestigung des Schaumes kann durch Selbstkonsolidierung erfolgen, sofern der aufgeschäumte Schlicker auf Basis von Silikasol hergestellt ist. Alternativ kann die Verfestigung des Schaumes durch einen hydratisierbaren Binder erfolgen, sofern der aufgeschäumte Schlicker auf Wasserbasis hergestellt ist.

[0023] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird dem hergestellten Keramikpulver enthaltend mindestens eine, vorzugsweise zwei oder mehr Komponenten, ausschließlich aus der Klasse der Oxide, Binder zugefügt. Der Binder dient zur Verfestigung/Konsolidierung des Schaumes, sofern der Schaum auf Wasserbasis hergestellt ist. Der Binder kann unmittelbar vor einem Aufschlagen des Schlickers in den Schlicker gegeben werden. Insbesondere wird als Binder Aluminiumoxid verwendet. Als Binder kann hydratisierbares Aluminiumoxid verwendet werden. Vorzugsweise kann als Binder das Aluminiumoxid Alphabond 300 von dem Hersteller Almatris verwendet werden. Insbesondere sind fünfzig Prozent der Par-

tikel des Aluminiumoxids Alphasond 300 von dem Hersteller Almatix kleiner als vier bis acht Mikrometer (D50: 4 µm bis 8 µm).

[0024] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird der Schaum zur Formgebung und/oder zur Verfestigung in eine vorzugsweise nichtsaugende Form, insbesondere mit glatter Oberfläche gegeben. Der auf diese Weise gebildete frische Gussling kann in der Form verbleiben, bis er eine ausreichende Festigkeit für die Entformung besitzt. Auf Grund der glatten Oberfläche kann der Gussling leicht aus der Form gelöst werden. Insbesondere kann die Verfestigung durch Selbstkonsolidierung erfolgen.

[0025] Der Schaum wird gesintert. Hierzu wird der Schaum auf eine Maximaltemperatur aufgeheizt und anschließend wieder abgekühlt. Das Sintern erfolgt bei einer Maximaltemperatur in einem Bereich von 1500° C bis 1750° C. Bei einer Weiterbildung des Verfahrens erfolgt das Sintern bei einer Maximaltemperatur in einem Bereich von 1600° C bis 1750° C. Vorzugsweise erfolgt das Sintern bei einer Maximaltemperatur von 1700° C. Bei dem Sintern kann der verfestigte Schaum auf hohe Temperaturen erhitzt werden. Diese Temperaturen liegen unterhalb der Schmelztemperatur der jeweiligen Komponenten. Auf diese Weise bleibt die Gestalt des Schaums beim Sintern erhalten. Die Wahl der maximalen Sintertemperaturen definiert die obere Grenze der späteren Anwendungstemperatur. Erfolgt ein Sintern beispielsweise bei einer Maximaltemperatur von 1700° C, so ist das auf diese Weise erzeugte Werkstück für die Anwendung in Umgebungstemperaturen bis zu 1700° C nutzbar.

[0026] Das Sintern bei der Maximaltemperatur erfolgt über eine Zeitspanne in einem Bereich von sechzig Minuten bis hundertachtzig Minuten. Bei einer Weiterbildung des Verfahrens erfolgt das Sintern bei der Maximaltemperatur über eine Zeitspanne in einem Bereich von neunzig Minuten bis hundertfünfzig Minuten. Vorzugsweise erfolgt das Sintern bei der Maximaltemperatur über eine Zeitspanne von hundertzwanzig Minuten. Insgesamt wird für das Aufheizen, das Halten bei der Maximaltemperatur und das anschließende Abkühlen eine Zeitspanne von nahezu vierundzwanzig Stunden verwendet.

[0027] Der keramische Absorber hat erfindungsgemäß eine Schaumstruktur, die auf einem Keramikpulver basiert, aufweisend eine Kombination einer Komponente aus der Klasse der Silikate und einer Komponente aus der Klasse der Oxide, wobei die Schaumstruktur eine homogene Porenverteilung hat.

[0028] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung sind das Silikat Mullit und/oder das Oxid Aluminiumoxid. Sowohl Mullit als auch Aluminiumoxid haben eine hohe thermische Stabilität. Insbesondere die Kombination

von Mullit und Aluminiumoxid kann eine Materialkombination mit hoher Thermoschockresistenz bereitstellen.

[0029] Der Anteil der Komponente aus der Klasse der Silikate liegt in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und der Anteil der Komponente aus der Klasse der Oxide entsprechend in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent. Eine solche Materialzusammensetzung, insbesondere die Kombination von Mullit und Aluminiumoxid, bedingt gepaart mit der Porenverteilung in vorteilhafter Weise eine sehr gute Thermoschockresistenz. Die Materialeigenschaften wie das E-Modul, der thermische Ausdehnungskoeffizient oder die Wärmeleitfähigkeit können dabei durch die gewählte Zusammensetzung den spezifischen Anforderungen entsprechend variiert und/oder angepasst werden kann.

[0030] Bei einer Weiterbildung ist die Schaumstruktur eine, insbesondere zu allen Außenflächen, offene porige Struktur. Durch die Art der offenen Porosität ist die Strömungsresistenz definierbar. Vorzugsweise hat die Schaumstruktur eine Porosität in einem Bereich von sechzig Prozent bis neunzig Prozent und/oder eine Flächenporosität von siebzig Prozent bis achtzig Prozent. Auf Grund der hohen Porosität der schallabsorbierenden Schaumkeramik können diese sehr einfach nachbearbeitet werden. Insbesondere kann die Porosität des keramischen Schaumes mit der Einstellung der Schaumdichte bestimmt werden, da das in den Schaum eingeführte Luftvolumen und die Porosität des gesinterten keramischen Körpers miteinander korrelieren. Die Porenverteilung kann über den gesamten keramischen Absorber homogen sein. Dichtere Schichten an den Außenflächen können vorgesehen sein.

[0031] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung sind die Poren als Kugelporen und/oder Matrixporen ausgebildet. Die Kugelporen haben vorzugsweise einen Durchmesser in einem Bereich von sechzig Mikrometern bis sechshundert Mikrometern. Insbesondere haben die Kugelporen einen Durchmesser in einem Bereich von siebzig Mikrometern bis dreihundert Mikrometern. Die Matrixporen haben vorzugsweise eine Porengröße kleiner dreißig Mikrometer. Insbesondere haben die Matrixporen eine Porengröße kleiner zehn Mikrometer. Durch die Porengeometrie und die Porengröße ist die Strömungsresistenz definierbar.

[0032] Bei einer Weiterbildung haben die Kugelporen Porenfenster. Der Durchmesser der Porenfenster liegt vorzugsweise in einem Bereich von vierzig Mikrometern bis sechzig Mikrometern. Insbesondere liegt der Durchmesser der Porenfenster bei fünfzig Mikrometern. Durch die Größe der Porenfenster ist die Strömungsresistenz definierbar.

[0033] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung hat der keramische Absorber eine Dichte in einem Bereich von $0,55 \text{ g/cm}^3$ bis $0,70 \text{ g/cm}^3$. Insbesondere kann die Dichte über die, insbesondere offeneporige Schaumstruktur eingestellt werden. Die Dichte kann vorteilhafterweise über den gesamten keramische Absorber homogen sein.

[0034] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung hat der keramische Absorber eine schallabsorbierende Wirkung in einem Frequenzbereich von zwanzig Hertz bis zwanzig Kilohertz. Dieser Frequenzbereich umfasst die Frequenzen von Verbrennungsschwingungen, beispielsweise in einer Gasturbine und kann daher zur Dämpfung solcher Verbrennungsschwingungen, vorzugsweise in Gasturbinen eingesetzt werden.

[0035] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung hat der keramische Absorber eine Strömungsresistenz in einem Bereich von 10 kPas/m^2 bis 3000 kPas/m^2 . Vorzugsweise hat der keramische Absorber eine Strömungsresistenz in einem Bereich von 50 kPas/m^2 bis 100 kPas/m^2 . Die Bestimmung der spezifischen Strömungsresistenz ermöglicht die Berechnung des Schallabsorptionsgrads. Die Strömungsresistenz kann über die anfängliche Schaumdichte gezielt eingestellt werden, sodass eine gute Absorption in bestimmten Frequenzbereichen erzielbar ist.

[0036] Ein keramischer Absorber wird in Gasturbinen verwendet. Vorzugsweise wird der vorstehend genannte keramische Absorber in Gasturbinen verwendet. Vorzugsweise ist der keramische Absorber nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren hergestellt.

[0037] Nachfolgend wird das Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers anhand der Figur erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Flussdiagramm des Ablaufs eines Verfahrens zur Herstellung eines keramischen Absorbers.

[0038] **Fig. 1** zeigt ein Flussdiagramm des Ablaufs eines Verfahrens zur Herstellung eines keramischen Absorbers. Der Verfahrensschritt **S10** kennzeichnet den Beginn des Verfahrens, der Verfahrensschritt **S17** das Ende des Verfahrens.

[0039] In Verfahrensschritt **S11** wird ein Keramikpulver bereitgestellt. Insbesondere wird das Verhältnis verschiedener Komponenten in dem Keramikpulver zueinander eingestellt, sofern das Keramikpulver aus mehr als einer Komponenten besteht.

[0040] Im Folgenden wird beispielhaft der Ablauf des Verfahrens zur Herstellung eines keramischen Absorbers beschrieben, bei dem das Keramikpulver aus einer Materialkombination besteht:

Zur Herstellung eines Keramikpulvers das aus einer Materialkombination aus Silikat und Oxid besteht, werden in Verfahrensschritt **S11** eine Komponente aus der Klasse der Silikate und zwei Komponenten aus der Klasse der Oxide zusammengegeben. In dem Ausführungsbeispiel wird als Silikat Mullit verwendet. Insbesondere wird der Schmelz-Mullit Alodur WFM (white fused mullite) von dem Hersteller Treibacher verwendet, welcher Partikelgrößen von vierzig Mikrometern hat. Aus der Klasse der Oxide wird Aluminiumoxid verwendet. Insbesondere sind beide Komponenten aus der Klasse der Oxide Aluminiumoxid. Dabei wird grobkörniges Aluminiumoxid und feinkörniges Aluminiumoxid verwendet. Als grobkörniges Aluminiumoxid wird das Aluminiumoxid Tabular Alumina T60, Li von dem Hersteller Almatix, mit Partikelgrößen kleiner fünfzig Mikrometern verwendet. Als feinkörniges Aluminiumoxid wird das Aluminiumoxid CT-3000 SG von dem Hersteller Alcoa, mit Partikelgrößen in einem Bereich von $0,5 \text{ Mikrometern}$ bis $0,8 \text{ Mikrometern}$ und sphärischen Partikeln verwendet. Das Verhältnis von Aluminiumoxid mit größeren Partikeln, zu Aluminiumoxid mit feineren Partikeln, liegt bei sechzig Massenprozent zu vierzig Massenprozent. Der Anteil von Mullit und Aluminiumoxid liegt bei dem Ausführungsbeispiel jeweils bei fünfzig Gewichtsprozent. Ein anderes Verhältnis von Mullit zu Aluminiumoxid kann vorgesehen sein. Das Keramikpulver kann einen Anteil an Mullit in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und einen Anteil an Aluminiumoxid in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent haben.

[0041] In Verfahrensschritt **S12** wird ein Schlicker hergestellt. Als Dispersionsmittel wird Silikasol verwendet. Silikasol ist eine wässrige kolloidale Suspension aus Siliziumdioxid. Bei dem Ausführungsbeispiel wird Silikasol mit dreißig Prozent Siliziumdioxid und mit einer Primärkolloidgröße von acht Nanometern verwendet. Dem Silikasol werden das Keramikpulver sowie ein Dispergiermittel zugefügt. Mittels Zugabe des Dispergiermittels erfolgt die Dispersion. Als Dispergiermittel wird bei dem Ausführungsbeispiel das Mittel Dolapix CE **64**, von dem Hersteller Zschimmer & Schwartz verwendet.

[0042] In Verfahrensschritt **S13** wird der Schlicker aufgeschäumt. Es wird eine homogene Porenverteilung in der Schaumstruktur erzeugt. Hierzu wird dem Schlicker zunächst ein Schaumbildner zugefügt. Als Schaumbildner wird bei dem Ausführungsbeispiel das Schäumungsmittel W53, von dem Hersteller Zschimmer & Schwartz verwendet. Nach der Zugabe des Schaumbildners wird der Schlicker mit einem Rührer aufgeschäumt. Die Aufschäumung auf unterschiedliche Volumina ermöglicht es, unterschiedlich

dichte Schäume zu erzeugen. Die erzeugte Schaumdichte liegt dabei in einem Bereich von $0,4 \text{ g/cm}^3$ bis $1,5 \text{ g/cm}^3$. Auf Grund der sehr guten Schaumstabilität, bildet sich ein homogener Schaum aus.

[0043] In Verfahrensschritt **S14** erfolgt die Formgebung des Schaumes. Dazu wird der frisch aufgeschäumte Schaum in eine nichtsaugende Form gegossen. Insbesondere hat die nichtsaugende Form eine glatte Innenwand. Der auf diese Weise gebildete frische Gussling verbleibt in der Form, bis er durch Selbstkonsolidierung eine ausreichende Festigkeit für die Entformung besitzt.

[0044] In Verfahrensschritt **S15** erfolgt die Verfestigung des Schaumes mittels Selbstkonsolidierung. Die Selbstkonsolidierung erfolgt durch Agglomeration bzw. durch Fällung des Sols, auf Grund eines Abfalls des pH-Werts durch die Hydratisierung von Aluminiumoxid Partikeln. Auf diese Weise verfestigt sich der feuchte keramische Schaum von selbst. Anschließend wird der konsolidierte Schaum schrittweise getrocknet.

[0045] In Verfahrensschritt **S16** erfolgt ein Sintern des Schaumes. Bei dem Ausführungsbeispiel erfolgt das Sintern bei einer Temperatur von 1700°C und über eine Zeitspanne von zwei Stunden. Ein Sintern bei einer anderen Temperatur und/oder über eine andere Zeitspanne kann vorgesehen sein. Beim Sintern kommt es zu einem Schwinden. Mit der Einstellung der Schaumdichten wird die Porosität des keramischen Schaumes nach dem Sintern bestimmt, da das eingeführte Luftvolumen und die Porosität der gesinterten Keramik miteinander korrelieren. Nach dem Sintern hat der keramische Körper eine Dichte in einem Bereich von $0,55 \text{ g/cm}^3$ bis $0,70 \text{ g/cm}^3$.

[0046] Im Folgenden wird ebenfalls beispielhaft der Ablauf des Verfahrens zur Herstellung eines keramischen Absorbers beschrieben, bei dem das Keramikpulver entweder aus Silikat oder aus Oxid besteht:

Zur Herstellung eines Keramikpulvers das ausschließlich aus Silikat besteht, wird als Keramikpulver in Schritt **S11** Mullit verwendet. Insbesondere wird Schmelz-Mullit Alodur WFM (white fused mullite) von dem Hersteller Treibacher verwendet, welcher Partikelgrößen von vierzig Mikrometern hat. Die weiteren Verfahrensschritte **S12** bis **S16** entsprechen den zuvor beschriebenen Verfahrensschritten.

[0047] Zur Herstellung eines Keramikpulvers, das ausschließlich aus Oxid besteht, werden in Verfahrensschritt **S11** zwei Komponenten aus der Klasse der Oxide zusammengegeben. In dem Ausführungsbeispiel wird als Oxid Aluminiumoxid verwendet. Insbesondere sind beide Komponenten aus der Klasse der Oxide Aluminiumoxid. Dabei wird sowohl grobkörniges Aluminiumoxid als auch feinkörniges Alu-

miniumoxid verwendet. Als grobkörniges Aluminiumoxid wird das Aluminiumoxid Tabular Alumina T60, Li von dem Hersteller Almatix, mit Partikelgrößen kleiner fünfundsiebziger Mikrometern verwendet. Als feinkörniges Aluminiumoxid wird das Aluminiumoxid CT-3000 SG von dem Hersteller Alcoa, mit Partikelgrößen in einem Bereich von $0,5$ Mikrometern bis $0,8$ Mikrometern und sphärischen Partikeln verwendet. Das Verhältnis von Aluminiumoxid mit gröberen Partikeln, zu Aluminiumoxid mit feineren Partikeln, liegt bei siebenzig Massenprozent zu dreißig Massenprozent.

[0048] In Verfahrensschritt **S12** wird ein Schlicker auf Wasserbasis hergestellt. Der Schlicker enthält das Keramikpulver bestehend ausschließlich aus Oxid sowie ein Dispergiermittel. Mittels Zugabe des Dispergiermittels erfolgt die Dispersion. Als Dispergiermittel wird bei dem Ausführungsbeispiel das Mittel Dolapix CE 64, von dem Hersteller Zschimmer & Schwarz verwendet. Vor dem in Verfahrensschritt **S13** folgenden Aufschäumen des Schlickers wird der Suspension zusätzlich ein Binder für die anschließende Konsolidierung zugeführt.

[0049] In Verfahrensschritt **S13** wird der Schlicker aufgeschäumt. Es wird eine homogene Porenverteilung in der Schaumstruktur erzeugt. Hierzu wird zunächst ein Schaumbildner in den Schlicker zugefügt. Als Schaumbildner wird bei dem Ausführungsbeispiel das Schäumungsmittel W53, von dem Hersteller Zschimmer & Schwarz verwendet. Anschließend wird der Schlicker mit einem Rührer aufgeschäumt. Die Aufschäumung auf unterschiedliche Volumina ermöglicht, unterschiedlich dichte Schäume zu erzeugen. Die erzeugte Schaumdichte liegt dabei in einem Bereich von $0,75 \text{ g/cm}^3$ bis $0,9 \text{ g/cm}^3$.

[0050] In Verfahrensschritt **S14** erfolgt die Formgebung des Schaumes. Dazu wird der frisch aufgeschäumte Schaum in nichtsaugenden Formen gegossen. Insbesondere haben die nichtsaugenden Formen eine glatte Innenwand. Der auf diese Weise gebildete frische Gussling verbleibt in der Form, bis er durch Konsolidierung eine ausreichende Festigkeit für die Entformung besitzt.

[0051] In Verfahrensschritt **S15** erfolgt die Verfestigung des Schaumes mittels Konsolidierung. Die Konsolidierung erfolgt mittels Hydratisierung des in Verfahrensschritt **S12** zugegebenen Binders. Auf diese Weise verfestigt sich der feuchte keramische Schaum von selbst. Anschließend wird der konsolidierte Schaum schrittweise getrocknet.

[0052] In Verfahrensschritt **S16** erfolgt ein Sintern des Schaumes. Bei dem Ausführungsbeispiel erfolgt das Sintern bei einer Temperatur von 1700°C und über eine Zeitspanne von zwei Stunden. Ein Sintern bei einer anderen Temperatur und/oder über eine an-

dere Zeitspanne kann vorgesehen sein. Beim Sintern kommt es zu einem Schwinden. Mit der Einstellung der Schaumdichten wird die Porosität des keramischen Schaumes nach dem Sintern bestimmt, da das eingeführte Luftvolumen und die Porosität der gesinterten Keramik miteinander korrelieren. Nach dem Sintern hat der keramische Körper eine Dichte in einem Bereich von $0,55 \text{ g/cm}^3$ bis $0,70 \text{ g/cm}^3$.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines keramischen Absorbers, der zur Absorption von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen geeignet ist, bei dem ein Keramikpulver bereitgestellt wird, ein Schlicker hergestellt wird, der Schlicker zur Erzeugung eines Schaumes aufgeschäumt wird und der Schaum gesintert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Bereitstellen des Keramikpulvers eine Kombination aus mindestens einer Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens einer Komponente aus der Klasse der Oxide verwendet wird, wobei das Keramikpulver mit einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent und entsprechend einem Anteil der Komponente oder der Komponenten aus der Klasse der Oxide in einem Bereich von vierzig Gewichtsprozent bis fünfzig Gewichtsprozent bereitgestellt wird, dass eine homogene Porenverteilung in der Schaumstruktur erzeugt wird, und dass das Sintern bei einer Temperatur in einem Bereich von 1500°C bis 1750°C und/oder über eine Zeitspanne in einem Bereich von sechzig Minuten bis hundertachtzig Minuten erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Silikate und/oder die Oxide bei der Verwendung von mehr als einer Komponente unterschiedliche Partikelgrößen haben, wobei das Massenverhältnis von einer Komponenten mit größeren Partikeln zu einer Komponenten mit feineren Partikeln bei sechzig bis achtzig Massenprozent zu entsprechend vierzig bis zwanzig Massenprozent liegt, insbesondere bei siebzig Massenprozent zu dreißig Massenprozent oder bei fünfzig bis siebzig Massenprozent zu entsprechend fünfzig bis dreißig Massenprozent, insbesondere bei sechzig Massenprozent zu vierzig Massenprozent.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der Klasse der Silikate Mullit und/oder aus der Klasse der Oxide Aluminiumoxid verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Herstellung des Schlickers das Keramikpulver, Dispergiermittel und Schaumbildner in ein Dispersionsmittel gegeben werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schlicker aufweisend das Keramikpulver aufweisend eine Komponente aus der Klasse der Silikate oder eine Kombination einer Komponente aus der Klasse der Silikate und mindestens einer Komponente aus der Klasse der Oxide auf Basis von Silikazol oder aufweisend das Keramikpulver aufweisend Komponenten, insbesondere ausschließlich aus der Klasse der Oxide auf Wasserbasis hergestellt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Dispergiermittel ein organisches und/oder alkalifreies Mittel, insbesondere auf Basis von Carbonsäure, verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Schaumbildner ein anionaktives Tensid, insbesondere auf Basis von Fettalkoholsulfat, verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schlicker mittels eines Rührers aufgeschäumt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem hergestellten Keramikpulver enthaltend mindestens eine, vorzugsweise zwei oder mehr Komponenten, ausschließlich aus der Klasse der Oxide, Binder, insbesondere Aluminiumoxid zugefügt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schaum zur Formgebung und/oder zur Verfestigung in eine vorzugsweise nichtsaugende Form, insbesondere mit glatter Oberfläche gegeben wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sintern bei einer Temperatur in einem Bereich von 1600°C bis 1750°C , vorzugsweise bei einer Temperatur von 1700°C und/oder über eine Zeitspanne in einem Bereich von neunzig Minuten bis hundertfünfzig Minuten, vorzugsweise über eine Zeitspanne von hundertzwanzig Minuten erfolgt.
12. Keramischer Absorber, hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, geeignet zur Absorption von Verbrennungsschwingungen in Gasturbinen, mit einer Schaumstruktur, die auf einem Keramikpulver basiert, aufweisend eine Kombination einer Komponente aus der Klasse der Silikate und einer Komponente aus der Klasse der Oxide, wobei der Anteil der Komponente aus der Klasse der Silikate in einem Bereich von fünfzig Gewichtsprozent bis sechzig Gewichtsprozent liegt und der Anteil der Komponente aus der Klasse der Oxide entsprechend in einem Bereich von vierzig Gewichtspro-

zent bis fünfzig Gewichtsprozent liegt, und wobei die Schaumstruktur eine homogene Porenverteilung hat.

13. Keramischer Absorber nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Silikat Mullit und/oder das Oxid Aluminiumoxid ist.

14. Keramischer Absorber nach einem der Ansprüche 12 oder 13 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaumstruktur eine, insbesondere zu allen Außenflächen, offenporige Struktur ist, vorzugsweise mit einer Porosität in einem Bereich von sechzig Prozent bis neunzig Prozent und/oder einer Flächenporosität von siebenzig Prozent bis achtzig Prozent.

15. Keramischer Absorber nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Poren als Kugelporen und/oder Matrixporen ausgebildet sind, wobei die Kugelporen vorzugsweise einen Durchmesser in einem Bereich von sechzig Mikrometern bis sechshundert Mikrometern, insbesondere in einem Bereich von siebenzig Mikrometern bis dreihundert Mikrometern haben und/oder die Matrixporen vorzugsweise eine Porengröße kleiner dreißig Mikrometer, insbesondere kleiner zehn Mikrometer haben.

16. Keramischer Absorber nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kugelporen Porenfenster haben, wobei der Durchmesser der Porenfenster vorzugsweise in einem Bereich von vierzig Mikrometern bis sechzig Mikrometern, insbesondere bei fünfzig Mikrometern liegt.

17. Keramischer Absorber nach einem der Ansprüche 12 bis 16, **gekennzeichnet durch** eine Dichte in einem Bereich von $0,55 \text{ g/cm}^3$ bis $0,70 \text{ g/cm}^3$.

18. Keramischer Absorber nach einem der Ansprüche 12 bis 17, **gekennzeichnet durch** eine schallabsorbierende Wirkung in einem Frequenzbereich von zwanzig Hertz bis zwanzig Kilohertz.

19. Keramischer Absorber nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **gekennzeichnet durch** eine Strömungsresistenz in einem Bereich von 10 kPas/m^2 bis 3000 kPas/m^2 , vorzugsweise in einem Bereich von 50 kPas/m^2 bis 100 kPas/m^2 .

20. Verwendung eines nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 hergestellten keramischen Absorbers nach einem der Ansprüche 12 bis 19, in Gasturbinen.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

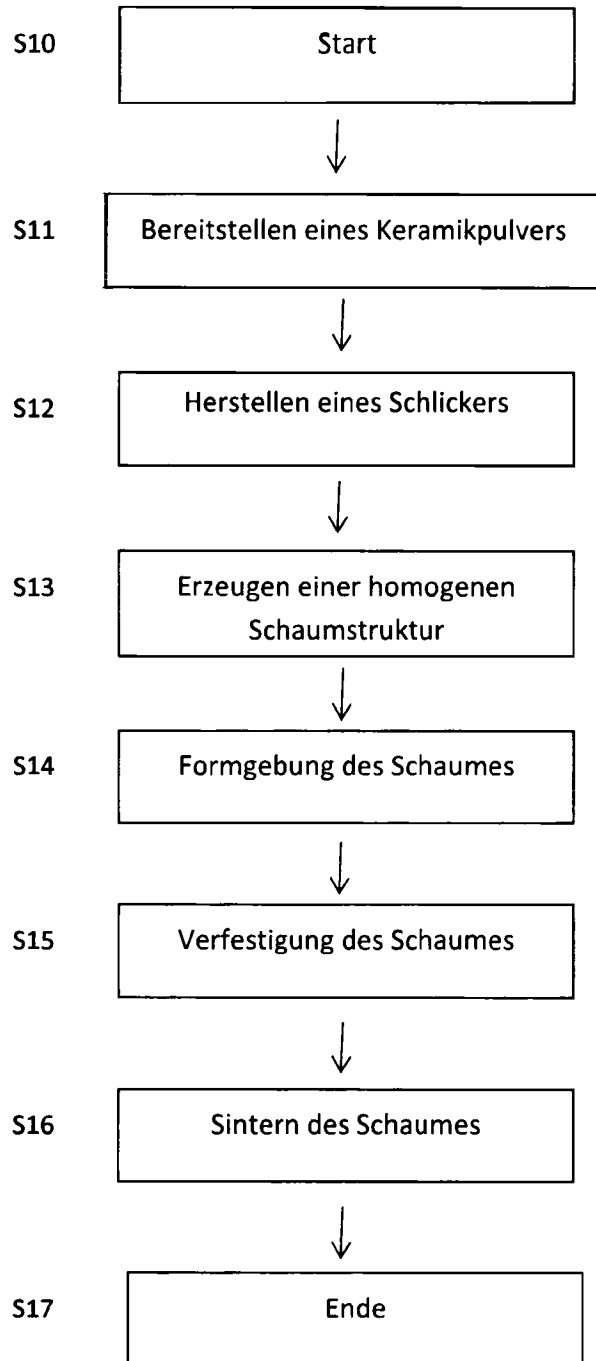


Fig. 1