



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 120 750.3**  
(22) Anmeldetag: **08.09.2017**  
(43) Offenlegungstag: **14.03.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **28.07.2022**

(51) Int Cl.: **B29C 64/106** (2017.01)  
**B29C 64/209** (2017.01)  
**B29C 64/245** (2017.01)  
**B33Y 10/00** (2015.01)  
**B33Y 30/00** (2015.01)  
**B33Y 80/00** (2015.01)

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:  
**Technische Universität Chemnitz, 09111  
Chemnitz, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwaltskanzlei Rumrich, 09116 Chemnitz,  
DE**

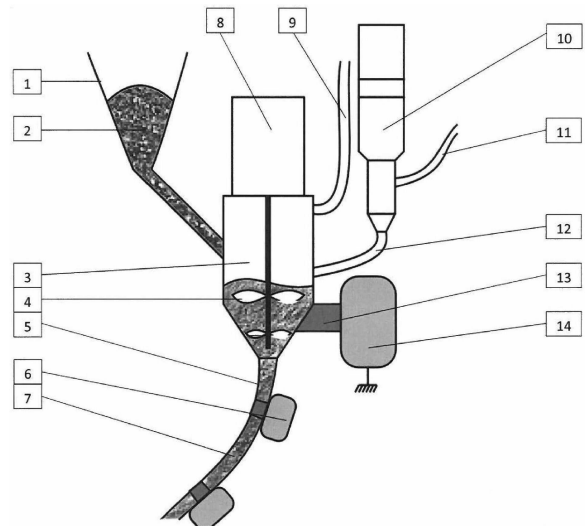
(72) Erfinder:  
**Rudolph, Johannes, Dipl.-Ing. (FH), 04651 Bad  
Lausick, DE; Lorenz, Fabian, Dipl.-Ing., 09126  
Chemnitz, DE; Werner, Ralf, Prof. Dr.-Ing., 09117  
Chemnitz, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, insbesondere zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden, dadurch gekennzeichnet,  
- dass in einem Mischbehälter (3) eine Mischung der Pasten mittels eines Rührwerks (4) erfolgt und der Mischbehälter (3) unter Vakuum steht derart, dass eine kontinuierliche Entlüftung der Paste erfolgt,  
- und dass der Behälter (3) mit einer Vibrationseinrichtung (14) verbunden ist, der Mischbehälter (3) zum Schwingen angeregt wird und die Paste mittels der Schwingungen in Richtung der Extrusionsdüse transportiert wird  
- dass dem Mischbehälter (3) Binder zugeführt wird, wobei ein Binder in Form einer Emulsion aus mehreren Komponenten Anwendung findet und der Binder aus Polymeren unterschiedlicher Kettenlänge, ringförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen, iso-Paraffinen, Olefinen, n-Paraffinen, Polysaccharide, oberflächenaktiven Substanzen oder Entschäumern oder einer Kombination wenigstens zweier dieser Komponenten besteht;  
- dass der Druckprozess mittels einer Überwachungseinrichtung derart überwacht wird, dass mittels einer Kamera Fehlstellen im Druck erkannt, lokalisiert und mit den Messungen einer kontinuierlichen Überwachung verglichen werden, wobei basierend auf erkannten Fehlstellen automatisch neue Extrusionswege erstellt werden, die die Fehlstellen vollautomatisch beheben und/oder  
- dass nach dem erfolgten Druck des Bauteils ein Sintervorgang der gedruckten Teile erfolgt, wobei das Tempera-

turniveau und die Sinteratmosphäre derart gewählt wird, dass Binderanteile mittels Oxidation aus dem Bauteil ausgetrieben werden, wobei die Temperatur auf 900 - 1500 °C erhöht wird und dadurch die oxidierten metallischen Bestandteile des gedruckten Bauteils mit Hilfe von Aktivgasen reduziert werden.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>GB</b>	<b>2 521 913</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>6 405 095</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>2015 / 0 048 528</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2016 / 0 009 029</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2016 / 0 283 833</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2016 / 0 325 498</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2017 / 0 251 713</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 639 871</b>	<b>B1</b>
<b>WO</b>	<b>2016/ 115 095</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2017/ 137 851</b>	<b>A2</b>

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck und findet insbesondere für die Herstellung eines gedruckten elektrischen Bauteils, insbesondere eines Elektromotors Anwendung.

**[0002]** Aus der Druckschrift EP 1639871 B1 ist ein Verfahren zur Herstellung eines elektrisch leitfähigen Musters mittels Drucken von einer Metalloxide umfassenden Schicht bekannt. Die Schicht wird dabei als reduzierte Schicht auf ein Applikationssubstrat übertragen. Nach dem Drucken wird das leitfähige Muster zum Metallisieren und Sintern durch Infrarot- oder Mikrowellenbestrahlung erhitzt. Das elektrisch leitfähige Muster ist in Form einer Pastenschicht ausgebildet und wird mittels Siebdrucken, Tampondrucken, Flexodruck, Tiefdruck, Lithodruck, Tintenstrahl- oder Laserausdruckverfahren hergestellt.

**[0003]** In der Druckschrift US 2016/0325498 A1 wird ein 3D-Drucker mit einer zweistufigen Düse beschrieben, der jede Schicht in einem Raster ablegt. Jede Düse besitzt ein einzeln steuerbares Hochgeschwindigkeitsventil, wobei mehreren Düsen unter konstantem Druck ein geschmolzener Kunststoff zugeführt wird.

**[0004]** Die Druckschrift WO 2016 115095 A1 beschreibt eine Überwachungs Vorrichtung sowie ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Bauteils. Mit der Vorrichtung werden Fertigungsfehler in einem durch additive Fertigung hergestellten Bauteil erkannt, jedoch erst im nachfolgenden Druckvorgang/Layer behoben. Die Erkennung der Fertigungsfehler erfolgt mittels zweier Kameras, wobei die Kameras zueinander in unterschiedlicher Orientierung angeordnet sind.

**[0005]** Aus der Druckschrift US 2016/0009029 A1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Bauteils aus einer Materialzusammensetzung unterschiedlicher thermoplastischer Materialien. Es werden mittels einer Düse ausschließlich Kunststoffe aufgeschmolzen, wobei dabei das Material mittels eines Kolbens ausgebracht werden kann. In einer Ausführungsform kann Material in eine Mischkammer vorgeschoben werden, wenn der Kolben angehoben wird. Dabei wird beim Anheben des Kolbens ein Vakuum erzeugt, wobei das verursachte Vakuum reduziert werden soll, um die zum Anheben des Kolbens erforderliche Kraft zu minimieren.

**[0006]** Die Druckschrift US 2016/0283833 A1 beschreibt ein Verfahren zur Überwachung eines 3D-Druckers während der Ausführung eines Druck-

auftrags. Gemäß dem Verfahren wird mittels einer Kamera ein laufender 3D-Druckauftrag überwacht.

**[0007]** Weitere 3D-Drucker sowie Verfahren zur Durchführung eines 3D-Drucks sind aus den Druckschriften WO 2017/137851 A2, US 2017/0251713 A1 und US 6,405,095 B1 bekannt.

**[0008]** Aus dem Stand der Technik ergeben sich mehrere Probleme bei der Durchführung eines Drucks mittels 3D-Multimaterialdruck.

**[0009]** Vor Druckbeginn muss die Skalierung der Extrusionsmenge festgelegt werden. Aufgrund von Toleranzen der Druck- und Dosiereinheit ist eine exakte Einhaltung der vorgeschriebenen Extrusionsmenge gemäß dem Stand der Technik nicht realisierbar. Dies hat zwangsläufig zur Folge, dass die gedruckten Layer mit zunehmender Bauteilhöhe dazu neigen, mit Druckmaterial überfüllt zu werden. Wird hingegen zu wenig Material eingebracht, nimmt die Häufigkeit von Fehlstellen proportional zur Druckhöhe zu.

**[0010]** Beim Extrusionsdruck können, trotz optimiertem Mischverfahren der Pasten, Fehlstellen entstehen. Bei großen und komplexen Druckkörpern steigt die Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse. Dies bedeutet nach dem Stand der Technik eine Unterbrechung des Druckvorgangs, mit anschließender manueller Korrektur. In ungünstigen Fällen kann dies auch den Abbruch des Druckvorgangs bedeuten. Ist eine manuelle Korrektur möglich, zieht dies einige Probleme beim Weiterführen des Druckvorgangs nach sich. Beispielsweise können veränderte Trocknungsparameter und die Neueinrichtung der Druckmaschine, Fehler im weiteren Druckprozess verursachen.

**[0011]** Ein weiteres Problem des Extrusionsdrucks ist die temporäre Verstopfung der Extrusionsdüse. Verstopfungen der Extrusionsdüse lassen sich aufgrund von statistischen Schwankungen der Partikelgröße und Form nicht vollständig ausschließen. Tritt eine Verstopfung auf, muss der Druckprozess unterbrochen werden und das Druckteil kann nicht fertig gestellt werden. Eine manuelle Reinigung der Düse ist für die Fortsetzung des Drucks erforderlich.

**[0012]** Gemäß des Standes der Technik ist die Formbeständigkeit üblicher Binder während des Druckprozesses, die Fließfähigkeit, das Entmischungsverhalten, die Aushärtbarkeit und die Kompatibilität zu einem Sinterprozess nicht gegeben, da teils gegensätzliche physikalische und chemische Eigenschaften des Binders gefordert werden. Binder, die allen Anforderungen des 3D-Multimaterialdrucks gerecht werden, sind von konventionellen Verfahren nicht bekannt. Zudem ist es notwendig, die Binderei-

genschaften, in Abhängigkeit der Größe und Form der in der Paste befindlichen Partikel, anzupassen.

**[0013]** Gemäß dem Stand der Technik werden die pastösen und granularen Gebinde mit Hilfe von Druckluft bzw. mechanisch aufgebrachtem Druck gefördert. Nachteilig ist, dass Pasten die über sehr lange Zeiträume, wie es beim 3D-Druck von großen Bauteilen notwendig ist, unter Druck stehen grundsätzlich zu einer Entmischung neigen. Dies gilt besonders für Pasten die Partikel aus Stoffen mit hohen Dichten wie Metall enthalten.

**[0014]** Vor allem bei großen bis sehr großen Druckkörpern muss eine definierte Aushärtung während des Druckprozesses gewährleistet werden, da sonst eine Verformung des Druckkörpers unter seiner eigenen Last zu befürchten ist. Bei bisher angewendeten Verfahren wird dies durch foto- oder wärmehärtende Polymere im Binder gewährleistet. Dies ist aber wegen der speziellen Anforderungen an Binder für den 3D-Multimaterialdruck nicht möglich.

**[0015]** In Bezug auf das Sintern eines Bauteils weist der Stand der Technik Nachteile auf derart, dass Unedle Metalle, wie Kupfer oder Eisen unter Schutzgasatmosphäre bzw. unter der Anwesenheit von Aktivgasen und vor allem unter der Abwesenheit von Sauerstoff, gesintert werden müssen, da es sonst zu Oxidationsprozessen kommt, die einem optimalen Sinterergebnis entgegenstehen. Unter diesen Bedingungen lassen sich jedoch nicht alle Binderbestandteile aus dem Druckkörper entfernen, was sich negativ auf die angestrebten Eigenschaften des gedruckten Teils auswirkt.

**[0016]** Kupfer und andere Metalle können auf makroskopischen Skalen üblicherweise nicht dauerhaft, wegen der sehr unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten verbunden werden. Emaille bildet hier eine Ausnahme ist aber zur Herstellung massiver Druckkörper nicht geeignet. Die aus anderen Verfahren bekannten LTCC (Low Temperatur Cofired Ceramics) weisen zwar die erforderlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, eignen sich aufgrund von Anisotropien des Ausdehnungskoeffizienten jedoch nicht für den 3D-Multimaterialdruck.

**[0017]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck zu entwickeln, welches einen einfachen konstruktiven Aufbau aufweist und die genannten Defizite des Standes der Technik behebt.

**[0018]** Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des ersten, dreizehnten und fünfzehnten Patentanspruchs gelöst.

**[0019]** Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0020]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, insbesondere zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden. Dabei werden mehrere Parameter während des Druckprozesses mittels einer Überwachungseinrichtung überwacht. Verfahrensgemäß erfolgt in einem Mischbehälter eine Mischung der Pasten mittels eines Rührwerks, wobei der Mischbehälter unter Vakuum steht derart, dass eine kontinuierliche Entlüftung der Paste erfolgt. Des Weiteren ist der Behälter mit einer Vibrationseinrichtung verbunden, wobei der Mischbehälter zum Schwingen angeregt wird und die Paste mittels der Schwingungen in Richtung der Extrusionsdüse transportiert wird.

**[0021]** Verfahrensgemäß findet ein Binder in Form einer Emulsion aus mehreren Komponenten Anwendung, wobei mittels der Emulsion eine gezielte Einstellung der Binderparameter erfolgt. Der Binder besteht vorzugsweise aus Polymeren unterschiedlicher Kettenlänge, ringförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen, iso-Parafinen, Olefinen, n-Parafinen, Emulgatoren, oberflächenaktiven Substanzen oder Entschäumern oder einer Kombination wenigstens zweier dieser Komponenten. Mittels einer Überwachungseinrichtung in Form einer Kamera werden Fehlstellen im Druck erkannt, lokalisiert und mit den Messungen einer kontinuierlichen Überwachung verglichen, wobei basierend auf erkannten Fehlstellen automatisch neue Extrusionswege erstellt werden, die die Fehlstellen vollautomatisch beheben.

**[0022]** Nach dem erfolgten Druck des Bauteils erfolgt ein Sintervorgang der gedruckten Teile. Das Temperaturniveau und die Sinteratmosphäre werden derart gewählt, dass die Binderanteile mittels Oxidation in der sauerstoffhaltigen Atmosphäre aus dem Bauteil ausgetrieben werden, wobei folgend die Temperatur auf 900 - 1500 °C erhöht wird, wodurch die oxidierten metallischen Bestandteile des gedruckten Bauteils mit Hilfe von Aktivgasen reduziert werden. Das Sintern kann sowohl mittels Aktivgas als auch unter Einsatz von Schutzgas erfolgen, wobei unter Aktivgas die Oxidschichten entfernt werden.

**[0023]** Des Weiteren erfolgt vorteilhafter Weise mit der selben oder einer weiteren Kamera eine Überwachung einer Über- oder Unterfüllung jeder gedruckten Schicht in Bezug auf die Extrusionsmenge, wobei mit Hilfe von bildgebenden Verfahren der Füllgrad

jeder gedruckten Schicht während des Druckprozesses erfasst und ausgewertet wird.

**[0024]** In einem dritten Überwachungsprozess werden bevorzugt mittels der Überwachung des Drucks im Bereich der Extrusionsdüse temporären Verstopfungen in der Extrusionsdüse erkannt, wobei die Verstopfung außerhalb des gedruckten Körpers durch Erhöhung des Drucks gelöst und anschließend der Druckprozess fortgeführt wird. Eine vorteilhafte mögliche Maßnahme ist die Unterbrechung des Druckvorgangs mit anschließendem Verfahren des Druckkopfes in einen Bereich außerhalb des gedruckten Körpers. In diesem Bereich wird eine definierte Menge Extrusionsmaterials unter erhöhtem Druck ausgepresst, bis sich die Verstopfung löst. Dieser Vorgang wird vorteilhafter Weise vollautomatisch durchgeführt.

**[0025]** Zur Überwachung von Fehlstellen im Druck, wird vorteilhafter Weise während des Druckvorgangs eine auf dem Druckkörper abgelegte Raupe mit Hilfe der Kamera und Bilderkennungs- und Auswerteverfahren beurteilt und im Falle von Fehlstellen diese vor der nächsten Schicht und/oder dem nächsten Material behoben. Erst wenn die Fehlstellen behoben wurden, wird mit dem Druck des nächsten Materials beziehungsweise des folgenden Layers fortgefahren. Bei Erkennung einer Fehlstelle wird deren Lokalisation und Ausdehnung erkannt und gespeichert. Basierend auf erkannten Fehlstellen werden folgend automatisch neue Extrusionswege erstellt, wodurch die Fehlstellen vollautomatisch behoben werden.

**[0026]** Des Weiteren wird nach der Fertigstellung eines Materials in einer Schicht der entsprechende Bereich mit Hilfe der bildgebenden Verfahren erfasst und der Verlauf der Extrusionswege anhand eines Bilderkennungsverfahrens ermittelt.

**[0027]** Zur Überwachung der Über-/Unterfüllung der Extrusionsmenge, wird in einer vorteilhaften Ausgestaltung mittels der dynamischen Anpassung eines Skalierungsfaktors in Form einer Regelschleife an den Druckprozess, der Über- beziehungsweise Unterfüllung entgegen gewirkt.

**[0028]** Das Lösen der Verstopfung in der Extrusionsdüse wird vorzugsweise mittels Abfallen des gemessenen Drucks detektiert, wobei im Anschluss der Druckprozess automatisch fortgesetzt wird. Sollte die Verstopfung durch die Druckerhöhung nicht zu beheben sein, wird dies dem Benutzer durch Ausgabe einer Fehlermeldung angezeigt. Die Düse muss dann manuell gereinigt werden, wobei anschließend eine vollautomatische Einrichtung des Druckkopfes und die Fortsetzung des Druckvorgangs erfolgt.

**[0029]** Verfahrensgemäß findet eine automatische Misch- und Zuführeinrichtung Anwendung, wobei die metallische beziehungsweise keramische Paste in der Misch- und Zuführeinrichtung unter Vakuum gemischt und dem Druckkopf mittels Schwerkraft und Vibration zugeführt wird.

**[0030]** Durch die Vibrationsbewegung ändert sich die Viskosität der Paste, so dass diese den Mischbehälter, der Schwerkraft folgend, nach unten durch eine konische Form, die eine Öffnung enthält, in einen Transportschlauch verlassen kann.

**[0031]** Das Pulver wird durch Wirken der Schwerkraft und Vibrationsbewegungen in den Mischbehälter gefördert. Die Portionierung erfolgt über eine variable Einlassöffnung. Aus der Amplitude, Frequenz, Pulverbeschaffenheit und dem Durchmesser der Einlassöffnung lässt sich die zum Mischen bereitgestellte Menge vorzugsweise rechnerisch mit Hilfe von Bewegungsmodellen ermitteln.

**[0032]** Der dazu gemischte Binder liegt dabei in flüssiger Form mit definierter Viskosität vor und kann mittels konventioneller Vorrichtungen dosiert und in den Mischbehälter gefördert werden. In dem Mischbehälter herrscht vorzugsweise ein Vakuum vor, damit eine kontinuierliche Entlüftung der Paste erfolgen kann.

**[0033]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung werden mittels Beimengung von Zuschlagstoffen in die Keramikpaste die Schrumpfungswerte während der Trocknung und des Sinterprozesses, sowie die physikalischen Eigenschaften des Druckkörpers eingestellt.

**[0034]** Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden. Die Vorrichtung weist eine Misch- und Zuführeinrichtung und/oder eine Bauplattform auf, wobei die Misch- und Zuführeinrichtung einen unter Vakuum stehenden Mischbehälter aufweist und mit einer Vibrationseinrichtung derart verbunden ist, dass der Mischbehälter zum Schwingen anregbar ist, wobei die Paste mittels der Schwingungen in Richtung der Extrusionsdüse transportierbar ist. In dem Mischbehälter herrscht ein Vakuum vor, damit eine kontinuierliche Entlüftung der Paste erfolgen kann. Der Mischbehälter enthält ein Rührwerk und weist am unteren Ende eine konische Form auf. Die Mischung der keramischen und metallischen Pasten im Mischbehälter erfolgt mittels des Rührwerks, wobei der Mischbehälter eine variable Einlassöffnung für die Zuführung eines Pulvers sowie eine Zuführung für einen Binder aufweist.

**[0035]** Der Mischbehälter ist vorzugsweise mechanisch mit einer Vibrationseinrichtung verbunden derart, dass dieser mit variabel einstellbarer Frequenz zum Schwingen angeregt werden kann.

Durch die Vibrationsbewegung ändert sich die Viskosität der Paste, so dass diese den Mischbehälter, der Schwerkraft folgend, nach unten durch die konische Form, die eine Öffnung enthält, in einen Transportschlauch verlassen kann.

**[0036]** Der Transportschlauch ist vorzugsweise flexibel, um eine mechanische Verbindung zum Druckkopf zu gewährleisten.

**[0037]** Um den durch Vibration hervorgerufenen Transport der Paste zu gewährleisten, ist der Transportschlauch vorzugsweise in definierten Abständen mit weiteren kleineren Vibrationseinrichtungen versehen.

**[0038]** Des Weiteren weist die Vorrichtung die Bauplattform in Form einer keramischen Bauplattform auf, wobei die Bauplattform eine poröse Struktur aufweist derart, dass dem Bauteil gezielt Feuchtigkeit zuführbar oder entziehbar ist. Dadurch lässt sich die Aushärtung während des Druckprozesses gezielt beeinflussen.

**[0039]** Die Bauplattform besitzt eine intrinsische Struktur, wobei diese von Luft und/oder Lösungsmittel durchströmbar ist.

Die verwendete keramische Paste besteht vorzugsweise aus Silikatkeramiken. Alternativ ist den Silikatkeramiken Glaspulver, beispielsweise Borosilikatglas beigemischt.

**[0040]** Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Bauteil, welches mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung hergestellt ist, wobei das Bauteil eine Gitterstruktur aufweist. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das Bauteil in Form eines Wärmetauschers ausgebildet.

**[0041]** Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel und zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

**[0042]** Es zeigen:

**Fig. 1** eine erfindungsgemäße Misch- und Zuführeinrichtung,

**Fig. 2** eine erfindungsgemäße poröse keramische Bauplattform,

**Fig. 3** einen mit 3D-Multimaterialdruck hergestellten Wärmetauscher in einer Schnittdarstellung,

**Fig. 4** einen mittels 3D-Druck hergestellten Wärmetauscher,

**Fig. 5** einen Wärmetauscher mit einer „Rohr in Rohr“ Anordnung.

**[0043]** **Fig. 1** zeigt eine automatische und kontinuierliche Misch- und Zuführeinrichtung für Pasten des 3D-Multimaterialdrucks. Ein in einem Vorratsbehälter 1 angeordnetes Pulver 2 wird einem Mischbehälter 3 mit einem darin konzentrisch angeordneten Rührwerk 4 zugeführt. Der Mischbehälter 3 weist an seinem unteren Ende eine konische Form auf, an der sich ein Transportschlauch 5 zum Druckkopf anschließt. Der Transportschlauch 5 ist flexibel ausgebildet und weist in definierten Abständen Vibrationseinheiten 6 auf, welche die fertig gemischte Paste 7 mittels Vibrationen und dem Wirken der Schwerkraft in Richtung des Druckkopfes fördern.

**[0044]** Der Mischbehälter 3 weist einen Antriebsmotor 8 für das in dem Mischbehälter 3 angeordnete Rührwerk 4 auf. Da der Mischbehälter unter Vakuum steht, ist ein Anschlussschlauch 9 befestigt, der mit einer Unterdruckpumpe verbunden ist. Das so erzeugte Vakuum bewirkt eine kontinuierliche Entlüftung der in dem Mischbehälter 3 befindlichen Paste.

**[0045]** Über eine weitere Zuführung ist eine Dosier- und Fördereinrichtung 10 mit dem Mischbehälter 3 verbunden, welche den Binder, beziehungsweise die einzelnen Komponenten des Binders beinhaltet. Die Dosier- und Fördereinrichtung weist einen weiteren Anschluss für einen Verbindungsschlauch 11 auf, der zu einem Vorratsbehälter für den Binder führt. Mittels eines Verbindungsschlauchs 12 wird die Dosier- und Fördereinrichtung 10 mit dem Mischbehälter 3 verbunden. Der Binder wird über diese Verbindung in den Mischbehälter 3 zugeführt.

**[0046]** Die Förderung der Pasten erfolgt mittels Vibration und Schwerkraft. Der Mischbehälter ist vorzugsweise mittels einer mechanischen Verbindung 13 mit einer Vibrationseinrichtung 14 verbunden derart, dass dieser mit variabel einstellbarer Frequenz zum Schwingen angeregt werden kann.

**[0047]** Durch die Vibrationsbewegung ändert sich die Viskosität der Paste, so dass diese den Mischbehälter 3, der Schwerkraft folgend, nach unten durch die konische Form, die eine Öffnung enthält, in den Transportschlauch 5 verlassen kann.

**[0048]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung einer porösen keramischen Bauplattform, welche erfindungsgemäß in der Vorrichtung Anwendung findet. Die Bauplattform 15 weist eine poröse intrinsische Struktur 16 auf derart, dass dem Bauteil gezielt Feuchtigkeit zuführbar oder entziehbar ist. Dadurch lässt sich die Aushärtung während des Druckprozesses gezielt beeinflussen.

**[0049]** Die Bauplattform 15 weist Anschlüsse 17 auf, mittels derer die Bauplattform 15 von Luft und/oder Lösungsmittel durchströmbar ist. Mittels der Anschlüsse 17 ist die Luft und/oder das Lösungsmittel zu- oder abführbar.

**[0050]** In den **Fig. 3** bis **Fig. 5** sind verschiedene Ausbildungsformen eines, mittels 3D-Multimaterialdrucks hergestellten Wärmetauschers dargestellt.

**[0051]** Prinzipiell sind die in den **Fig. 3** bis **Fig. 5** dargestellten Wärmetauscher in deren äußerer Form mit Standardwärmetauschern vergleichbar.

**[0052]** Der Wärmetauscher wird vollständig 3D-gedruckt, wobei auch innere Struktur und unterschiedliche Materialien mittels des Drucks umsetzbar sind. Der Wärmetauscher besteht aus einem Gehäuse 18, welches je nach Bedarf mit Aufnahmevorrichtungen für zum Beispiel Leistungselektronik versehen ist. Des Weiteren weist der Wärmetauscher an seiner Stirnseite wenigstens zwei Anschlüsse in Form eines Zuflusses 19 und eines Abflusses 20 auf. Im Inneren des Gehäuses 18 ist eine innere Struktur in Form einer innenliegenden Gitterstruktur 21 zum Übertragen der Wärme vom Gehäuse 18 auf das Kühlfluid angeordnet.

**[0053]** Gemäß **Fig. 3** ist zwischen der Gitterstruktur 21 und dem Gehäuse 18 des Wärmetauschers eine zusätzliche Isolationsschicht 22 angeordnet, wobei die Isolationsschicht 22 aus einem anderweitigen Material bestehen kann. Dieses Material kann beispielsweise Edelstahl sein, wobei eine chemische Isolation von dem Gehäuse (z.B. Kupfer) gegen das durchströmende Fluid oder Keramik als elektrische Isolation des durchströmenden Fluides gegen das Gehäuse eingesetzt wird. Auch die Anschlüsse in Form von Zufluss und Abfluss können eine zusätzliche Isolationsschicht 23 aufweisen.

**[0054]** Gemäß **Fig. 4** weisen die Heizelemente 25 des Wärmetauschers eine keramische Isolation 24 von der inneren Gitterstruktur 21 auf. Dies ermöglicht beispielsweise den Druck eines Durchlauferhitzers mit einer hohen Leistungsdichte. Die Heizelemente 25 sind derart angeordnet, dass sie gegeneinander und gegen das Fluid durch die keramische Isolationsschicht 24 isoliert sind.

**[0055]** Ein mit Hilfe des 3D-Multimaterialdrucks hergestellter Wärmetauscher mit intrinsischer Gitterstruktur ist in **Fig. 5** dargestellt. Im Inneren ist eine zweite Fluid führende Struktur 26 ausgebildet. Die zweite Struktur 26 weist einen zweiten Zufluss 27 und einen zweiten Abfluss 28 auf, wobei der Zu- und Abfluss 27, 28 als Einströmöffnung und Ausströmöffnung für den inneren Fluidkreislauf dienen. Somit sind Wärmetauscher mit hoher Leistungsdichte für hermetisch getrennte Systeme, als auch

mehrere innere Rohre denkbar um die Oberfläche zu vergrößern.

**[0056]** **Fig. 6** zeigt eine Detailansicht einer in einem Gehäuse 18 angeordneten Gitterstruktur 21, die vollständig mit Gehäuse 18 gedruckt wurde.

**[0057]** Nach dem Druck erfolgt Wärmebehandlung zum Aushärten in Form von Sintern, wobei der Binder vollständig ausgetrieben wird.

**[0058]** Die innere Struktur zum Übertragen der Wärme vom Gehäuse auf das Kühlfluid unterscheidet sich dabei grundlegend vom bekannten Stand der Technik.

**[0059]** Stand der Technik sind röhrenartige Strukturen deren Querschnitt auch von der runden Form abweichen kann.

**[0060]** Die innere Gitterstruktur des gedruckten Wärmetauschers entsteht durch Extrusion von keramischen oder metallischen Pasten, wobei in der jeweiligen Ebene Raupen mit einem definierten Abstand zueinander abgelegt werden.

**[0061]** In der darüber liegenden Ebene werden ebenfalls Raupen durch Extrusion abgelegt, wobei diese sich in ihrer Ausrichtung zu den darunter liegenden Raupen unterscheiden und einen definierten Abstand zu ihren benachbarten Raupen in der Ebene aufweisen. Der Winkel zwischen den Ausrichtungsachsen übereinander liegender Raupen kann dabei variieren. Die Ausrichtung der Raupen alterniert von Ebene zu Ebene, wodurch eine gitterartige Struktur wie in **Fig. 6** dargestellt entsteht.

**[0062]** Da das Gitter und Gehäuse aus demselben Material z.B. Kupfer und mit demselben Verfahren (3D-Multimaterialdruck) hergestellt sind, entsteht eine stoffschlüssige Verbindung zwischen der Gitterstruktur, die die Wärme an das Kühlfluid und an das Gehäuse überträgt. Das Gehäuse nimmt dabei die Wärme von z.B. Leistungselektronik auf. Daraus resultiert ein besserer Wärmeübergang da deutlich geringere Wärmeübergangswiderstände vorliegen.

**[0063]** Dies führt zu einer deutlichen Erhöhung der Leistungsdichte. Bei geometrischen Einschränkungen kann zudem bei gleicher abzuführender Leistung der Wärmetauscher bzw. Kühlkörper kleiner dimensioniert werden.

**[0064]** Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Gitterstruktur lässt sich nur mit 3D-Multimaterialdruck (Extrusionsdruck) herstellen, da ab einem gewissen Grad der Strukturfeinheit in Abhängigkeit der verbleibenden Öffnung, das verbleibende Pulver bei Verfahren gemäß des Standes der Tech-

nik (Pulverbettverfahren- Laserschmelzen und Lasersintern) nicht mehr entfernt werden kann.

**[0065]** Durch die Gitterstruktur kann ein Optimum in Bezug auf das Verhältnis zwischen Oberfläche, über die Wärme ausgetauscht werden kann, und Volumen, das von Fluid durchströmt wird, erreicht werden. Gleichzeitig kann das Gehäuse kann das Gehäuse materialsparend ausgeführt werden. Somit lassen sich Gitterstrukturen mit 3D-Multimaterialdruck sehr leicht, schnell und materialsparend herstellen

**[0066]** Ein besonderer Vorteil des gedruckten Wärmetauschers ist die äußere Form sowie die innere Struktur des Wärmetauschers, welche praktisch beliebig ausgeführt werden kann. Dadurch ist eine Integration in eine Umgebungen mit ungünstigen Platzverhältnissen möglich.

**[0067]** Ein weiterer Vorteil des Einsatzes des 3D-Multimaterialdruckverfahrens ist die Möglichkeit, mehr als ein Material einzusetzen. Durch Einsatz mehrerer Materialien ergibt sich somit ein breites Anwendungsfeld.

**[0068]** Verfahrensgemäß müssen das Gehäuse der Gitterstruktur, die Gitterstruktur selbst und das äußere Gehäuse nicht aus dem gleichen Material bestehen. So kann zum Beispiel das Gitter aus Kupfer und das Gittergehäuse aus Keramik bestehen. Das Außengehäuse kann zum Beispiel aus Edelstahl bestehen.

**[0069]** Vorteilhafter Weise kann die innere Gitterstruktur gedruckte keramisch isolierte elektrische Leiter enthalten, die als Heizelement dienen, wie in **Fig. 4** dargestellt. Des Weiteren kann die innere Gitterstruktur eine Struktur enthalten die ebenfalls ein Fluid aufnehmen kann. Diese Struktur enthält ebenfalls eine Gitterstruktur in ihrem Inneren. Eine solche „Rohr in Rohr“ - Variante ist in **Fig. 5** dargestellt. Es ist auch eine Kombination der verschiedenen Ausführungsformen aus den **Fig. 3** bis **Fig. 5** denkbar.

#### Bezugszeichenliste

1	Vorratsbehälter
2	Pulver
3	Mischbehälter
4	Rührwerk
5	Transportschlauch
6	Vibrationseinheit
7	Fertig gemischte Paste
8	Antriebsmotor
9	Anschlussschlauch

10	Dosier- und Fördereinrichtung für den Binder
11	Verbindungsschlauch zum Vorratsbehälter für Binder
12	Verbindungsschlauch von Dosier- und Mischeinheit des Binders
13	Mechanische Verbindung von Vibrationseinheit und Mischbehälter
14	Vibrationseinheit für Mischbehälter
15	Bauplatzform
16	Intrinsische Struktur
17	Anschlüsse für Lösungsmittel und/oder Luft
18	Gehäuse
19	Zufluss
20	Abfluss
21	Innenliegende Gitterstruktur
22	Isolationsschicht
23	Isolationsschicht Zufluss/Abfluss
24	Keramische Isolationsschicht
25	Heizelement
26	Zweite Gitterstruktur
27	Zweiter Zufluss
28	Zweiter Abfluss

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, insbesondere zur Herstellung eines elektrischen Bauteils, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass in einem Mischbehälter (3) eine Mischung der Pasten mittels eines Rührwerks (4) erfolgt und der Mischbehälter (3) unter Vakuum steht derart, dass eine kontinuierliche Entlüftung der Paste erfolgt,
  - und dass der Behälter (3) mit einer Vibrationseinrichtung (14) verbunden ist, der Mischbehälter (3) zum Schwingen angeregt wird und die Paste mittels der Schwingungen in Richtung der Extrusionsdüse transportiert wird
  - dass dem Mischbehälter (3) Binder zugeführt wird, wobei ein Binder in Form einer Emulsion aus mehreren Komponenten Anwendung findet und der Binder aus Polymeren unterschiedlicher Kettenlänge, ringförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen, iso-Parafinen, Olefinen, n-Parafinen, Polysaccharide, oberflächenaktiven Substanzen oder Entschäumern oder einer Kombination wenigstens zweier dieser



Komponenten besteht;

- dass der Druckprozess mittels einer Überwachungseinrichtung derart überwacht wird, dass mittels einer Kamera Fehlstellen im Druck erkannt, lokalisiert und mit den Messungen einer kontinuierlichen Überwachung verglichen werden, wobei basierend auf erkannten Fehlstellen automatisch neue Extrusionswege erstellt werden, die die Fehlstellen vollautomatisch beheben und/oder
- dass nach dem erfolgten Druck des Bauteils ein Sintervorgang der gedruckten Teile erfolgt, wobei das Temperaturniveau und die Sinteratmosphäre derart gewählt wird, dass Binderanteile mittels Oxidation aus dem Bauteil ausgetrieben werden, wobei die Temperatur auf 900 - 1500 °C erhöht wird und dadurch die oxidierten metallischen Bestandteile des gedruckten Bauteils mit Hilfe von Aktivgasen reduziert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels einer Kamera eine Über- oder Unterfüllung jeder gedruckten Schicht in Bezug auf die Extrusionsmenge überwacht wird, wobei mit Hilfe von bildgebenden Verfahren der Füllgrad jeder gedruckten Schicht während des Druckprozesses erfasst und ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Überwachung des Drucks im Bereich der Extrusionsdüse temporären Verstopfungen in der Extrusionsdüse erkannt werden, wobei die Verstopfung außerhalb des gedruckten Körpers durch Erhöhung des Drucks gelöst und anschließend der Druckprozess fortgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 zur Überwachung von Fehlstellen im Druck, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine während des Druckvorgangs auf dem Druckkörper abgelegte Raupe mit Hilfe der Kamera und Bilderkennungs- und Auswerteverfahren beurteilt wird und im Falle von Fehlstellen diese vor der nächsten Schicht und/oder dem nächsten Material behoben werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 zur Überwachung von Fehlstellen im Druck, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach der Fertigstellung eines Materials in einer Schicht der entsprechende Bereich mit Hilfe der bildgebenden Materialien erfasst und der Verlauf der Extrusionswege anhand eines Bilderkennungsverfahrens ermittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 2 zur Überwachung der Über-/Unterfüllung der Extrusionsmenge, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der dynamischen Anpassung eines Skalierungsfaktors in Form einer Regelschleife an den Druckprozess, der Überbeziehungsweise Unterfüllung entgegen gewirkt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dass das Lösen der Verstopfung der Extrusionsdüse mittels Abfallen des gemessenen Drucks detektiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei dem Binder, derin Form einer Emulsion aus mehreren Komponenten vorliegt, eine gezielte Einstellung der Binderparameter erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels einer automatischen Misch- und Zuführeinrichtung die metallische und keramische Paste unter Vakuum gemischt und dem Druckkopf mittels Schwerkraft und Vibration zugeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Misch- und Zuführeinrichtung eine Einlassöffnung aufweist, wobei aus Amplitude, Frequenz, Pulverbeschaffenheit und Durchmesser der Einlassöffnung die zum Mischen bereitgestellt Menge ermittelt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels Beimengung von Zuschlagstoffen in die Keramikpaste der Schrumpfungswert während der Trocknung und des Sinterprozesses, sowie die physikalischen Eigenschaften des Druckkörpers eingestellt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Mischbehälter befindliche keramische Paste aus Silikatkeramiken besteht, wobei den Silikatkeramiken Glaspulver und/oder technische Keramiken beigemischt sind.

13. Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden, aufweisend eine Misch- und Zuführeinrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Misch- und Zuführeinrichtung einen unter Vakuum stehenden Mischbehälter (3) aufweist, wobei

- der Mischbehälter (3) mit einem Vorratsbehälter (1) für Pulver (2) verbunden ist,

- mit dem Mischbehälter (3) eine Dosier- und Fördereinrichtung für einen Binder verbunden ist,

- in dem Mischbehälter (3) ein eine kontinuierliche Entlüftung der Paste gewährleistendes Vakuum herrscht, der Mischbehälter (3) ein Rührwerk für die die Mischung der keramischen und metallischen Pasten aufweist,

- der Mischbehälter (3) mit einer Vibrationseinrichtung derart verbunden ist, dass der Mischbehälter (3) zum Schwingen anregbar ist, wobei die Paste

mittels der Schwingungen in Richtung der Extrusionsdüse transportierbar ist.

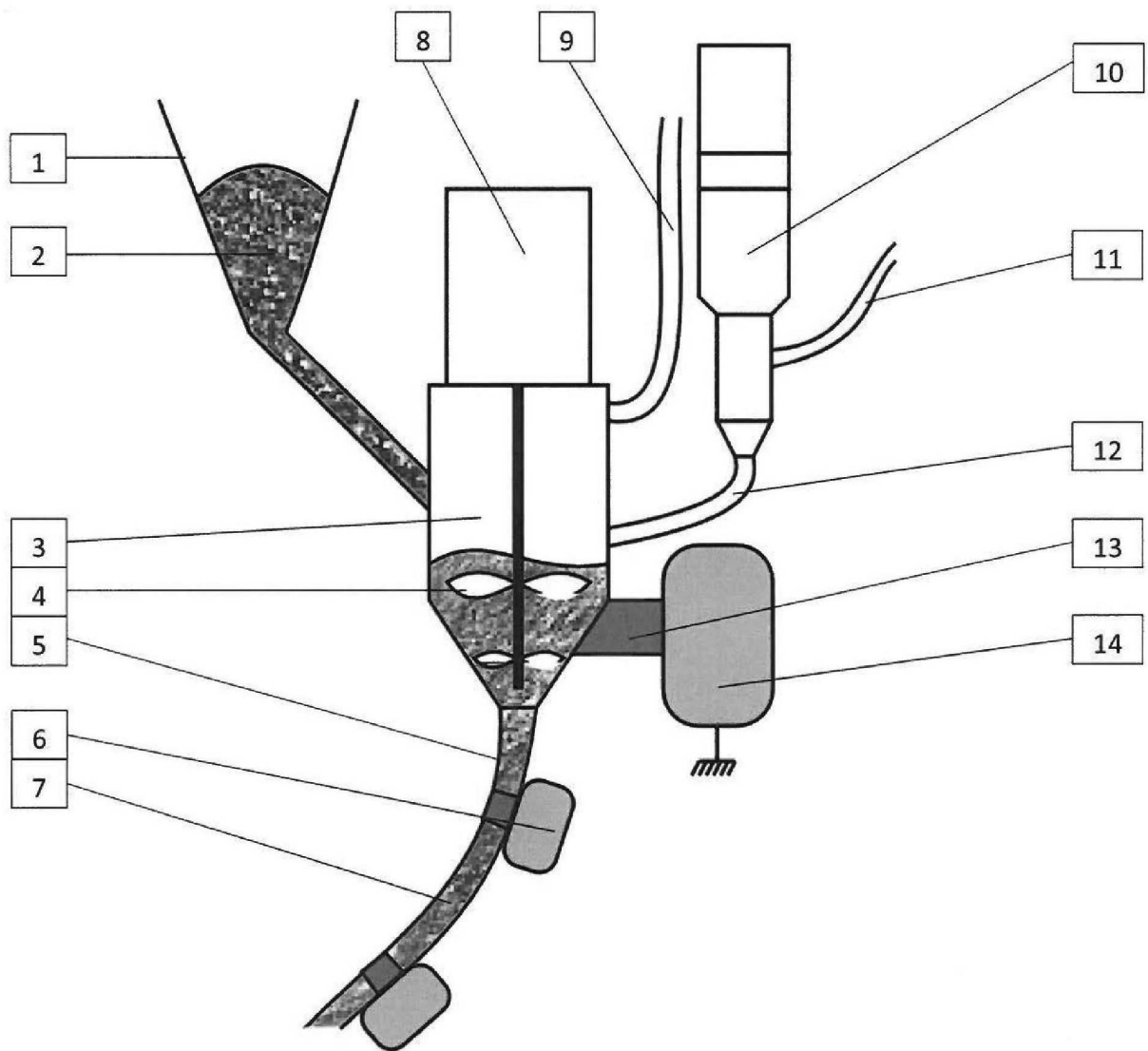
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mischung der keramischen und metallischen Pasten im Mischbehälter (3) mittels eines Rührwerkes (4) erfolgt, wobei der Mischbehälter (3) eine variable Einlassöffnung für die Zuführung eines Pulvers (2) sowie eine Zuführung für einen Binder aufweist.

15. Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils mittels 3D-Multimaterialdruck, wobei mittels eines Extrusionsverfahrens metallische und keramische Pasten schichtweise mittels einer Extrusionsdüse aufgetragen und in Form gebracht werden, aufweisend eine Bauplattform (15) die in Form einer keramischen Bauplattform ausgebildet ist, wobei die Bauplattform (15) eine poröse Struktur aufweist derart, dass dem Bauteil gezielt Feuchtigkeit zuführbar oder entziehbar ist.

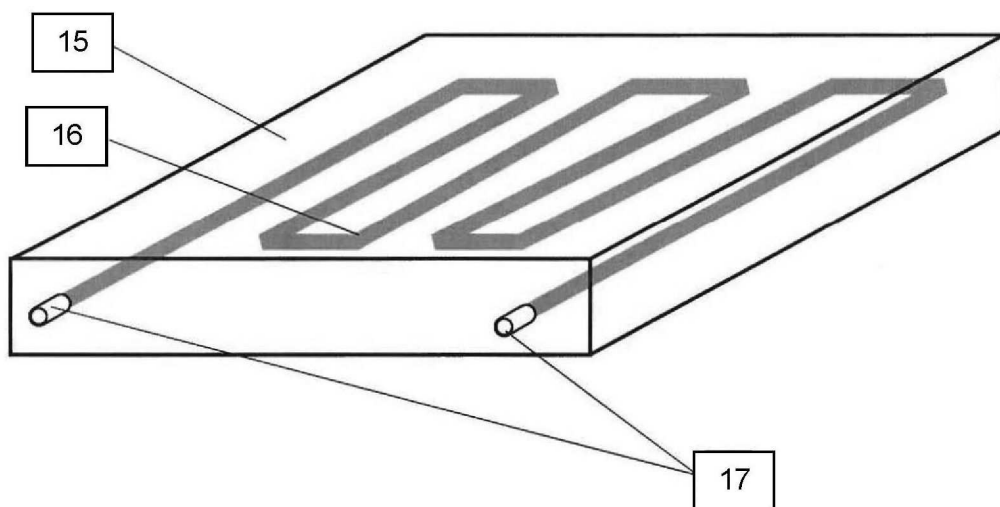
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bauplattform (15) eine intrinsische Struktur aufweist, wobei diese von Luft und/oder Lösungsmittel durchströmbar ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

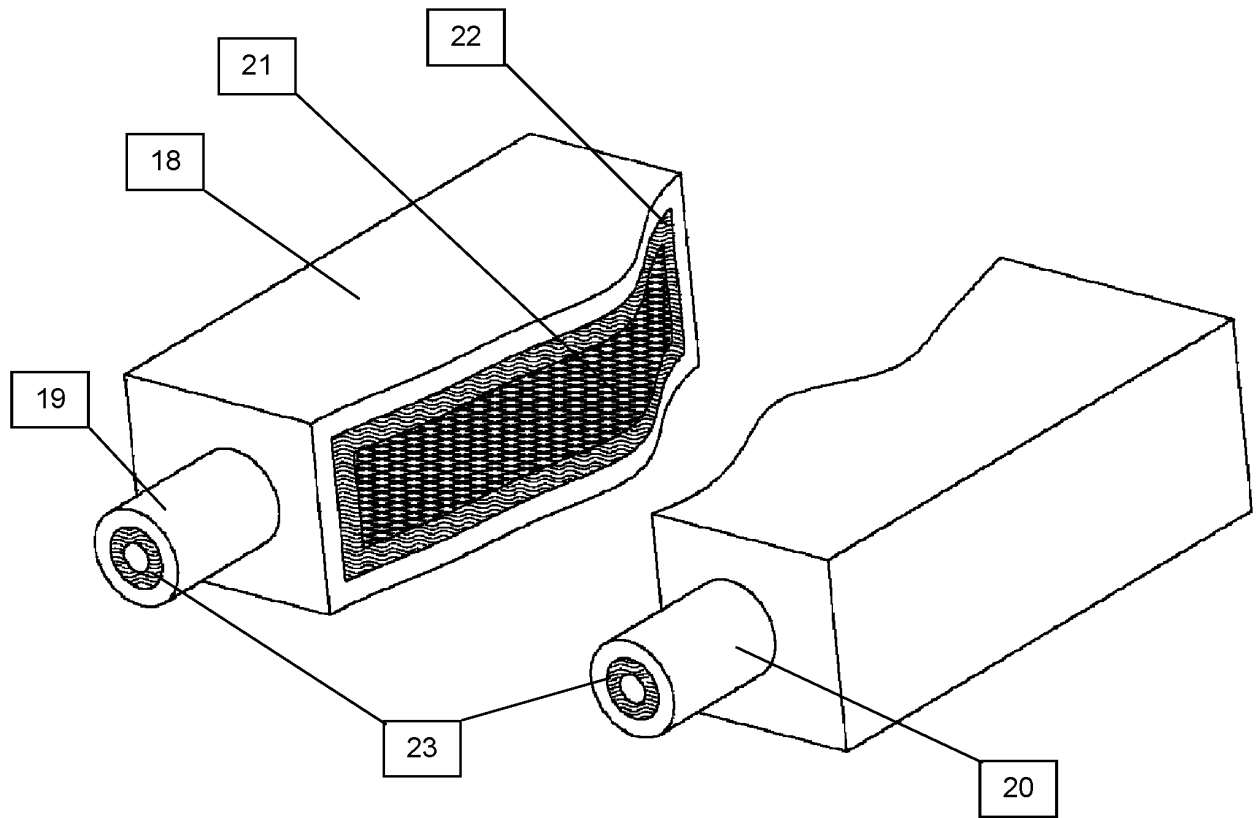
Anhängende Zeichnungen



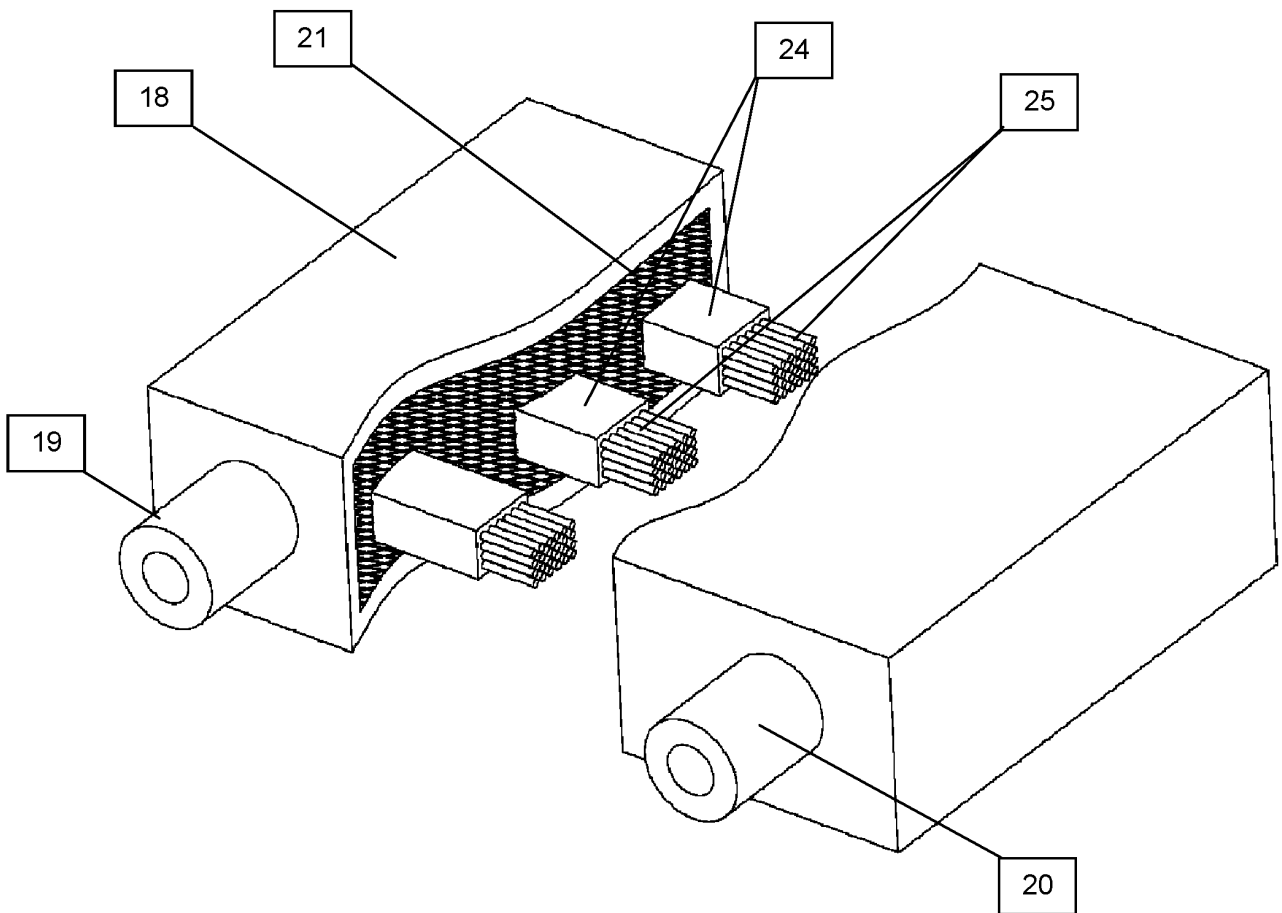
Figur 1



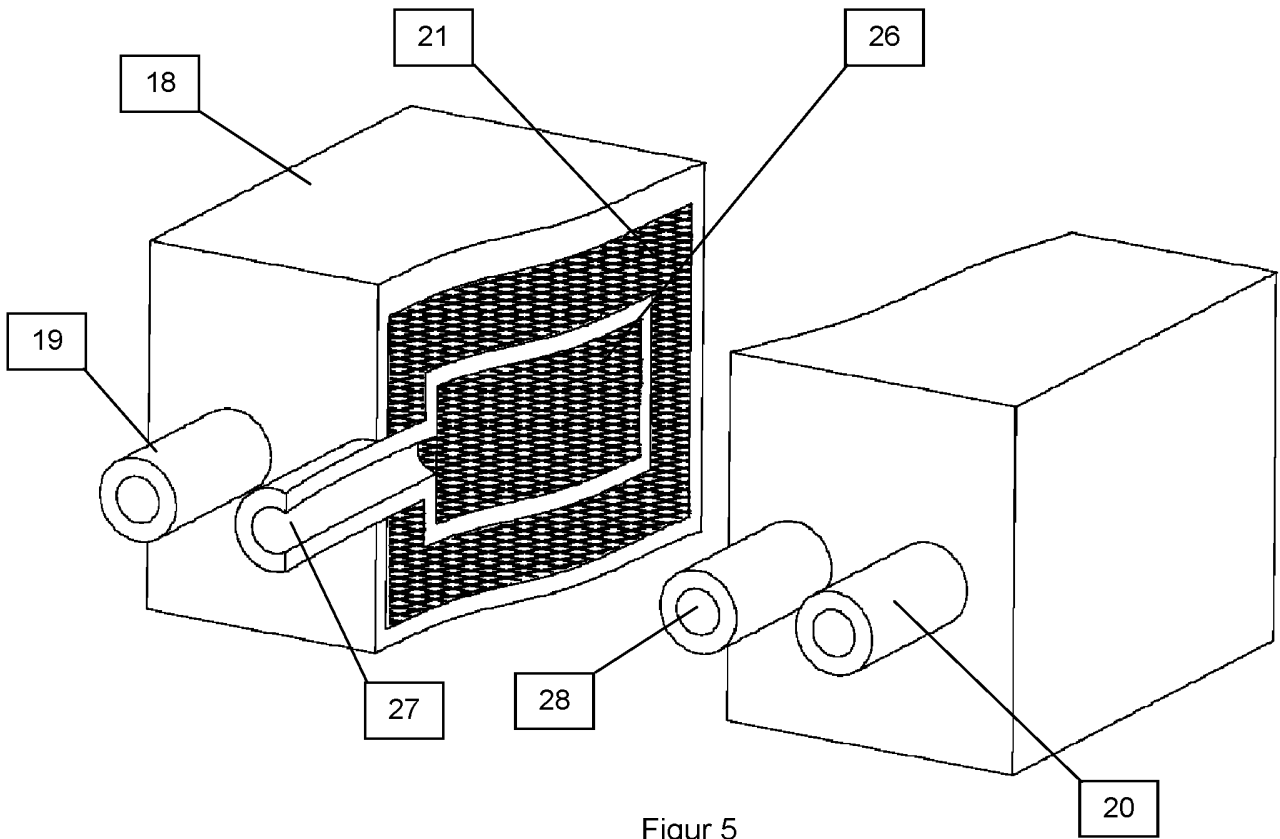
Figur 2



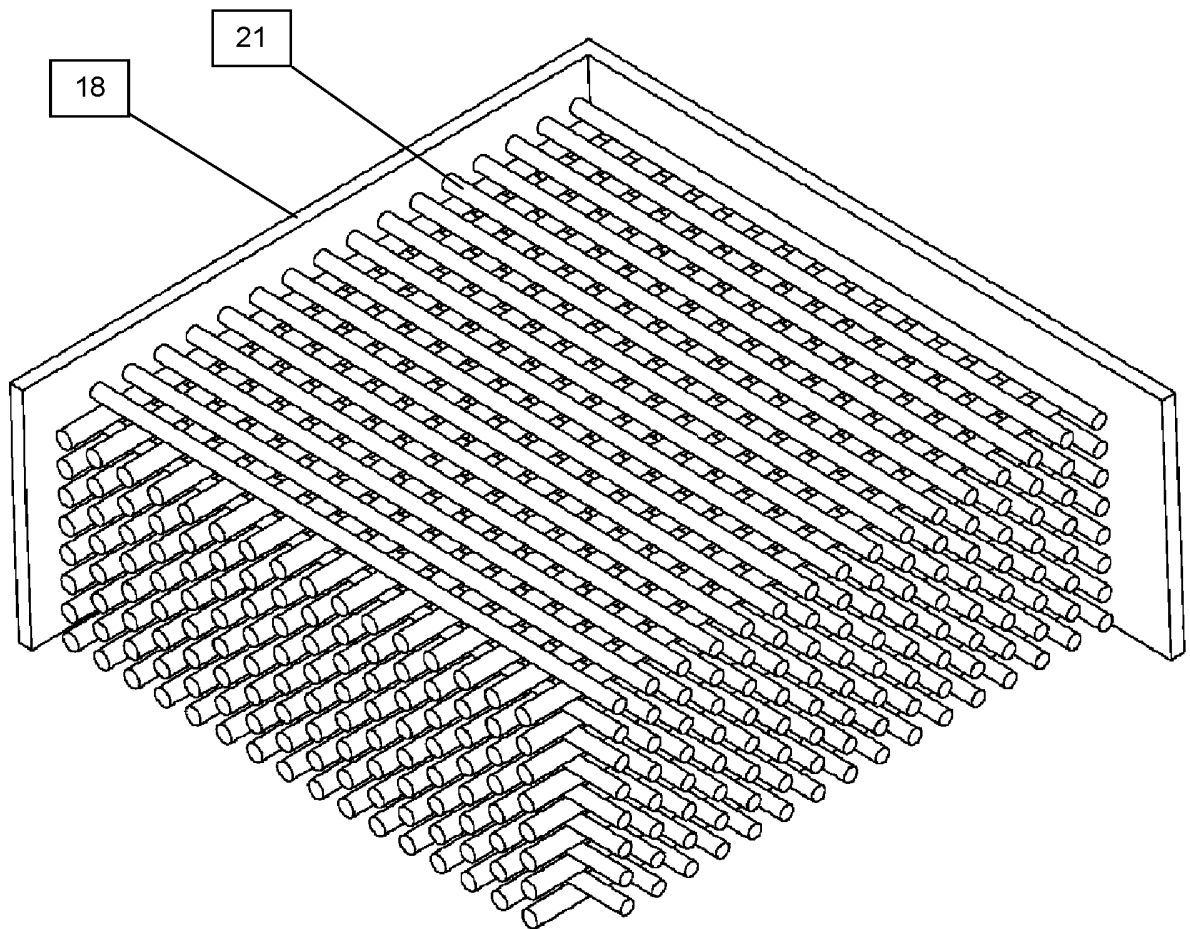
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6