

(19)



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 3 736 519 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
11.11.2020 Patentblatt 2020/46

(51) Int Cl.:  
**F28D 15/02** (2006.01)

**F28D 15/04** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 19173294.0

(22) Anmeldetag: 08.05.2019

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft  
80333 München (DE)**

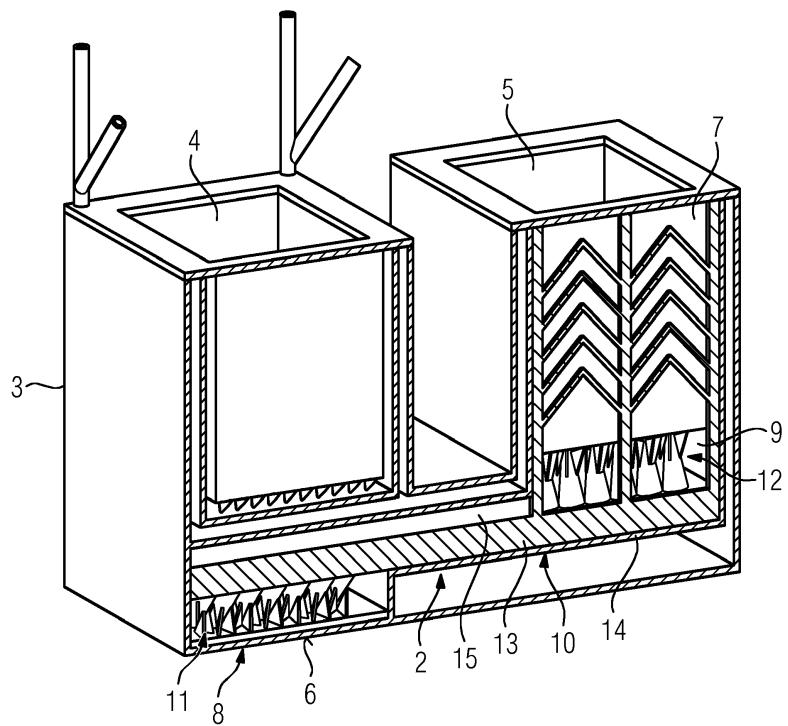
(72) Erfinder: **Kiener, Christoph  
81369 München (DE)**

### (54) VERDAMPFER-KONDENSATOR-ANORDNUNG

(57) Verdampfer-Kondensator-Anordnung, umfassend einen Verdampferabschnitt (8) mit wenigstens einer zu entwärmenden Fläche (6) und einen Kondensatorabschnitt (9) mit wenigstens einer zu erwärmenden Fläche (7), ein an der zu entwärmende Fläche (6) verdampfendes und an der zu erwärmenden Fläche kondensierendes Fluid, sowie mindestens eine den Verdampferabschnitt (8) und den Kondensatorabschnitt (9)

koppelnde Verbindungsleitung, beinhaltend eine Kapillarstruktur (10) zum Führen des kondensierten Fluids vom Kondensatorabschnitt (9) zum Verdampferabschnitt (8) und einen freien Raum zum Führen des verdampfenden Fluids, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapillarstruktur (10) eine in einem additiven Auftragsverfahren erzeugte, eine Mehrzahl an Kanälen aufweisende Struktur ist.

FIG 2



EP 3 736 519 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Verdampfer-Kondensator-Anordnung, umfassend einen Verdampferabschnitt mit wenigstens einer zu entwärmenden Fläche und einen Kondensatorabschnitt mit wenigstens einer zu erwärmenden Fläche, ein an der zu entwärmenden Fläche verdampfendes und an der zu erwärmenden Fläche kondensierendes Fluid, sowie mindestens eine den Verdampferabschnitt und den Kondensatorabschnitt koppelnde Verbindungsleitung, beinhaltend eine Kapillarstruktur zum Führen des kondensierten Fluids vom Kondensatorabschnitt zum Verdampferabschnitt und einen freien Raum zum Führen des verdampfenden Fluids.

**[0002]** Die Entwärmung von Bauteilen, die sich während eines Prozesses erwärmen, spielt in vielen Bereichen eine wichtige Rolle. Hierfür werden beispielsweise sogenannte Heatpipes, also Wärmerohre, verwendet, da mit diesen eine große Leistung auch über längere Strecken durch einen kleinen Querschnitt des Bauteils transportiert werden kann. Ein solches Wärmerohr umfasst eine Verdampfer-Kondensator-Anordnung mit einem Verdampferabschnitt und einem Kondensatorabschnitt, sowie ein Fluid, das im Verdampferabschnitt, der mit einer zu entwärmenden Fläche gekoppelt ist respektive eine solche aufweist, verdampft und am Kondensatorabschnitt, der eine zu erwärmende Fläche aufweist oder mit einer solchen gekoppelt ist, kondensiert und wieder zum Verdampferabschnitt zurückgeführt wird. Das heißt, dass das Fluid an der heißen Stelle verdampft und an der kälteren Stelle rekondensiert. Beim Verdampfen wird Verdampfungsenthalpie aufgenommen, die bei der Rekondensation wieder abgegeben wird. Dazwischen wird die Wärmeleistung als latente Wärme über den Massenstrom des verdampften Fluids bewegt. Der Rücktransport des kondensierten Fluids erfolgt über eine Kapillarstruktur. Als eine solche Kapillarstruktur wird zumeist ein Maschengewebematerial in das Wärmerohr eingelegt, alternativ kann auch eine innenperforierte Struktur in ein Rohr aus einem weichen Material, beispielsweise Kupfer, gezogen werden, das heißt, dass eine Art Kanalstruktur mechanisch ausgebildet wird. Als Fluid können verschiedene Substanzen eingesetzt werden, beispielsweise organische niedrig- und hochsiedende Fluide oder Alkalimetalle oder Edelgase oder dergleichen.

**[0003]** Eines der zentralen Elemente ist die Kapillarstruktur, da über sie die Rückführung des kondensierten Fluids zum Verdampferabschnitt erfolgt. Denn es muss eine permanente Fluidrückführung sichergestellt sein, damit der Verdampferabschnitt stets mit Fluid belegt ist. Ist der Transport des Fluids an die heiße Stelle, also den Verdampferabschnitt, zu gering, so läuft das System an der heißen Stelle trocken und es kommt zu einer Überhitzung des zu entwärmenden Bauteils respektive der zu entwärmenden Fläche. Das Einbringen eines Maschengewebematerials lässt keinen reproduzierbaren Aufbau zu, da sich letztlich die Kapillarstruktur in Abhängigkeit der Art des Maschengewebes und des Füllgrades aus-

bildet, aber auch abhängig davon, wie konkret das Maschengewebe, das in das Wärmerohr eingedrückt wird, letztlich zu liegen kommt. Die Verwendung einer innenperforierten, gezogenen Struktur ist, was die Herstellung angeht, sehr aufwändig und insbesondere auch auf bestimmte Geometrien beschränkt.

**[0004]** Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, eine demgegenüber verbesserte Verdampfer-Kondensator-Anordnung anzugeben.

**[0005]** Zur Lösung dieses Problems ist bei einer Verdampfer-Kondensator-Anordnung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kapillarstruktur eine in einem additiven Auftragsverfahren erzeugte, eine Mehrzahl an Kanälen aufweisende Struktur ist.

**[0006]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, eine Kapillarstruktur zu verwenden, die durch ein Verfahren mit additivem Materialauftrag hergestellt ist. Ein solches additivs Auftragsverfahren, das auch häufig als generative

Fertigung oder "additive manufacturing" bezeichnet wird und landläufig als "3D-Druck" bekannt ist, ist beispielsweise ein Power-Bed-Fusion-Verfahren oder ein Direct-Metal-Laser-Melzung-Verfahren. Hierbei wird, allgemein gesprochen, auf Basis eines Pulvers in Verbindung mit

einem ansteuerbaren Laser unter lokalem Aufschmelzen des Pulvers eine dreidimensionale Struktur, erzeugt. Gestützt auf ein solches Verfahren wird nun erfindungsgemäß die Kapillarstruktur erzeugt, die in der erfindungsgemäßen Verdampfer-Kondensator-Anordnung integriert ist.

**[0007]** Ein besonderer Vorteil der Integration eines solchen Kapillarstrukturbauenteils besteht darin, dass es in einer quasi beliebigen Geometrie hergestellt werden kann, das heißt, dass die Ausgestaltung der Verdampfer-Kondensator-Anordnung nicht nur auf eine rohrförmige Geometrie wie im Falle eines üblichen Wärmerohres beschränkt ist, vielmehr können auch stark davon abweichende Geometrien erzeugt werden, da die Kapillarstruktur geometrisch sehr variabel erzeugt werden kann und demzufolge auch Verdampfer- und Kondensatorabschnitte miteinander koppeln kann, die räumlich verschiedenartig zueinander angeordnet sind.

**[0008]** Ein weiterer besonderer Vorteil der Integration einer additiv hergestellten porösen Kapillarstruktur liegt

darin, dass eine beliebige Anzahl an Kanälen ausgebildet werden kann. Diese Kanäle sind für den Kapillareffekt entscheidend, über sie wird definiert, wie groß der rückführbare Fluidstrom ist. Die Kanalgeometrie respektive der Kanalquerschnitt und der Kanalverlauf kann nun über

das additive Auftragsverfahren sehr genau eingestellt und festgelegt werden, so dass einerseits der gesamte freie Kanalquerschnitt, der für die Kapillarführung verantwortlich ist, sehr genau eingestellt werden kann, mithin damit aber auch das Rückführvolumen. Darüber hinaus kann die Kapillarstruktur auch mit sehr hoher Genauigkeit reproduziert werden, da das additive Auftragsverfahren computergesteuert ist und hochpräzise reproduzierbar ablaufen kann. Die Kanalausbildung resultiert aus

der Porosität der Kapillarstruktur. Als "Kanal" wird dabei jedes sich aus der Porosität ergebend, kapillar leitende Volumen innerhalb der Kapillarstruktur verstanden, also sich aus den miteinander kommunizierenden Lunkern ergebende, verästelte Hohlraum-Strukturen, die die Kapillarstruktur durchziehen. Daneben können aber auch definierte Kanalgeometrien ausgebildet werden, also definierte, sich z. B. geradlinig durch die Kapillarstruktur erstreckende Kanäle, die nicht nur auf der Porosität beruhen, sondern als definierter Hohlraum gebildet werden.

**[0009]** Bei der erfindungsgemäßen Verdampfer-Kondensator-Anordnung mit der erfindungsgemäß integrierten Kapillarstruktur, die darüber hinaus auch einfach und kostengünstig herstellbar ist, lassen sich demzufolge auf den eigentlichen Anwendungszweck wie auch die gegebenen räumlichen oder baulichen Gegebenheiten bestmöglich abgestellte Bedingungen für einen optimalen Entwärmungsbetrieb einstellen. Hervorzuheben ist dabei der hohe Grad an Gestaltungsfreiheit in der Geometrie des gesamten Kühlsystems, das sich insbesondere an die gegebenen geometrischen Bedingungen anpassen und den zur Verfügung stehenden Platz bestmöglich ausnutzen kann. Auch besteht eine hohe Bandbreite in Bezug auf die zur Herstellung der Kapillarstruktur verwendbaren Materialien, also der Metallpulver, aus denen die Kapillarstruktur "gedruckt" wird. Es können nahezu beliebige Metalle respektive Metalllegierungen verwendet werden, von einfachen Chrom-Nickel-Legierungen bis hin zu chemisch hochresistenten Hochtemperaturlegierungen und Ähnliches.

**[0010]** In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass sich die Kanäle geradlinig durch die Kapillarstruktur erstrecken. Das heißt, dass die Kanäle quasi parallel zueinander verlaufen und sich quasi von dem einen Abschnitt der Kapillarstruktur, der dem Verdampferabschnitt zugeordnet ist, zum anderen Abschnitt der Kapillarstruktur, der dem Kondensatorabschnitt zugeordnet ist, erstrecken. Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, dass die Kanäle mit variierender räumlicher Orientierung durch die Kapillarstruktur laufen. Das heißt, dass quasi ein beliebiger Kanalverlauf realisiert werden kann. Die Ausbildung unterschiedlicher Kanalverläufe respektive verschiedener Kanalgeometrien ist ohne weiteres möglich, da im Rahmen des additiven Auftragsverfahrens während des Aufschmelzens respektive Auftragens des Metalls gezielt Lunker erzeugt werden können, die miteinander kommunizieren und in der Summe die Kanäle bilden respektive definieren. Das heißt, dass sich gezielt eine entsprechend poröse Struktur ausbilden lässt, wobei die Porosität und Permeabilität in sehr weiten Bereichen eingestellt werden kann. Als Kanal wird daher jeder Weg durch die poröse Struktur verstanden, der der kapillaren Fluidleitung dienen kann.

**[0011]** Die Kanäle sollten erfindungsgemäß einen Durchmesser von 20 - 800  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 30 - 600  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise von 40 - 500  $\mu\text{m}$  aufweisen. Die Wahl des Kanaldurchmessers ist also in einem weiten Intervall variierbar und damit den tatsächlichen Ge-

gebenheiten respektive Anforderungen an das rückzuführende Fluidvolumen anpassbar.

**[0012]** Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung ist die Kapillarstruktur unmittelbar mit der zu entwärmenden und der zu erwärmenden Fläche verbunden. Das heißt, dass eine direkte thermische Kopplung der Kapillarstruktur mit den entsprechenden Flächen geben ist. Eine solche thermische Kopplung ist sowohl dann möglich, wenn die Kapillarstruktur und die Umgebungskonstruktion, also beispielsweise das Gehäuse des Wärmerohres oder sonstigen Bauteil separat hergestellt werden und die Kapillarstruktur durch Fügen mit der jeweiligen Fläche thermisch gekoppelt wird, als auch, wenn beide Teile respektive das Bauteil insgesamt in einem gemeinsamen additiven Auftragsverfahren hergestellt, also gemeinsam gedruckt werden, worauf nachfolgend noch eingegangen wird.

**[0013]** In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Kapillarstruktur über jeweils eine Verbindungsstruktur mit der jeweiligen Fläche verbunden ist, wobei sich die Verbindungsstrukturen an wenigstens einen sie verbindenden Verbindungsabschnitt anschließen. Gemäß dieser Erfindungsausgestaltung zeichnet sich die Kapillarstruktur durch definierte Verbindungsstrukturen an den Bereichen oder Endabschnitten aus, mit denen sie mit der jeweiligen Fläche des Bauteils oder der Umgebungskonstruktion thermisch gekoppelt ist. Über diese Verbindungsstruktur, die beispielsweise zerklüftet oder aufgefächert sein kann, worauf nachfolgend noch eingegangen wird, kann die für den jeweiligen Zweck im Verdampfer- und Kondensatorabschnitt bestmögliche Kopplung erreicht werden. Denn die Anforderungen an die Verbindung der Kapillarstruktur zum Verdampferabschnitt und zum Kondensatorabschnitt sind unterschiedlich und spezifisch. So muss im Verdampferabschnitt der Dampf aus der Kapillarstruktur herausgeführt werden respektive so druckverlustarm und damit schnell als möglich abgeführt werden, obwohl die gesamte Fläche immer mit dem Fluid belegt sein muss und die entstehenden Dampfblasen den Flüssigkeitsaustritt aus der Kapillarstruktur beeinträchtigen können und der Druckverlust auf dem Austrittsweg möglichst gering sein soll. Das heißt, dass im Übergang zum Verdampferabschnitt für eine optimale, schnelle Zufuhr des flüssigen Fluids Sorge getragen werden muss, gleichzeitig muss aber auch die Fläche selbst hinreichend offen respektive frei sein, um einen möglichst schnellen Austritt respektive Übergang des Fluids in die Dampfphase und eine schnelle Abführung des verdampften Fluids hin in Richtung des Kondensatorabschnitts zu ermöglichen.

**[0014]** Umgekehrt muss im Bereich des Kondensatorabschnitts sichergestellt werden, dass die Kondensation so effizient wie möglich erfolgen kann, das heißt mit wenig Druckverlust und einem hohen Massenstrom. Hier besteht das Problem, dass das verdampfte Fluid, also der Dampf, am Kondensatorabschnitt nicht direkt auf die zu erwärmende Fläche für die Wärmeübertragung trifft,

sondern auf einen Fluidfilm, gebildet aus bereits wieder rekondensiertem Fluid, der sich an der flüssiggasförmig-Grenzfläche im Gleichgewicht mit dem Dampf befindet und damit wärmer ist. Hier ist also, ähnlich wie am Verdampferabschnitt, der Wärmeübergang nicht optimal. Ziel ist es, das Kondensat von der kalten Fläche so schnell wie möglich zu entfernen und in anderen Worten die Fläche wieder trocken zu legen, damit der Prozess der Wärmeübertragung effizient ist. Auch hier ist also dafür Sorge zu tragen, dass einerseits die Kapillarstruktur rekondensiertes Fluid so effizient wie möglich aufnimmt, gleichwohl muss die zu erwärmende Fläche hinreichend frei und offen sein, damit sich eine große Kondensationsfläche ergibt.

**[0015]** Diesen Anforderungen respektive Problemen kann über die spezifischen Verbindungsstrukturen Rechnung getragen werden, die, da in ihrer Auslegung respektive Geometrie nahezu beliebig über das additive Auftragsverfahren erzeugbar, optimal auf die Gegebenheiten angepasst werden können, so dass sich ein bestmöglicher Wärmeübergang sowohl im Verdampfer- als auch im Kondensatorabschnitt ergibt.

**[0016]** Ein weiterer zentraler Punkt ist der Ab- und Antransport des Fluids und der Streckentransport des Fluids. Engpässe in der Kapillarstruktur oder Abweichungen von der idealen Kapillarität, wie sie beispielsweise im Stand der Technik über ein verbogenes Maschengewebe oder dergleichen gegeben sein können, beeinträchtigen die Wärmetransportleistung des Kühlsystems respektive der Verdampfer-Kondensator-Anordnung, weshalb eine verlässliche, homogene kapillar leitende Struktur erforderlich ist. Durch das Strömen von gasförmigem Fluid wird über weite Strecken Wärme transportiert, was wie beschrieben nur möglich ist, wenn die Rückführung des Kondensats effizient genug ist. Dazu können auch in ungewöhnlichen Geometrien, insbesondere in nicht rohrförmigen Geometrien, entsprechend geometrisch ausgebildete kapillar leitende Strukturen beitragen, wenn diese in Bezug auf Schichtdicke und Permeabilität respektive Kanalgeometrie und -querschnitt entsprechend ausgelegt sind.

**[0017]** Diesen Punkten wird, neben den Verbindungsstrukturen, auch insbesondere über den die beiden Verbindungsstrukturen verbindenden Verbindungsabschnitt Rechnung getragen, er entscheidend für den Streckentransport des Fluids ist. Während die Verbindungsstrukturen entscheidend für das Aufnehmen und Abgeben des Fluids sind, ist der Verbindungsabschnitt für den langen Transportweg des Fluids verantwortlich. Auch er kann, wie vorstehend bereits beschrieben, optimiert ausgelegt werden, resultierend aus der hohen Variationsmöglichkeit, verbunden mit einer hohen Präzision, der Erzeugung als 3D-Druckbauteil.

**[0018]** Die Verbindungsstruktur stellt, wie beschrieben, eine einen möglichst guten Fluidzu- und -abfluss in bzw. aus der Kapillarstruktur ermögliche Struktur dar. Zu diesem Zweck kann sich jede Verbindungsstruktur ausgehend von Verbindungsstellen zum Verbindungs-

abschnitt zur jeweiligen Fläche hin verzweigen. Das heißt, dass die Verbindungsstruktur über definierte Verbindungsstellen mit dem Verbindungsabschnitt gekoppelt ist, wobei über diese Verbindungsstellen das über

5 die sich verzweigenden Teile der Verbindungsstruktur entweder aufgenommene Fluid in die Kapillarstruktur respektive den Verbindungsabschnitt geführt wird respektive aus dem Verbindungsabschnitt über die Verzweigungsstruktur wieder abgegeben wird. Es ist also quasi 10 eine baumartige, verästelte Struktur vorgesehen, letztlich also eine bionische Auslegung der Verbindungsstruktur im Hinblick auf eine konvektive Leitung des Fluids. Hierzu kann jede Verbindungsstruktur eine Mehrzahl 15 an mit dem Verbindungsabschnitt verbundenen Basisabschnitten aufweisen, wobei sich an jeden Basisabschnitt eine Mehrzahl an Verzweigungsabschnitten, die mit der jeweiligen Fläche verbunden sind, anschließt. Diese Verzweigungsabschnitte sind bevorzugt wand- oder stegartig ausgeführt. Das heißt, dass sich eine verästelte, baumartige Struktur mit quasi stammartigen Basisabschnitten und sich verästelnden Verzweigungsabschnitten, die wand- oder stegartig ausgeführt sind, vorgesehen ist. Die wand- oder stegartigen Verzweigungsabschnitte ermöglichen eine relativ lange Kontaktfläche, 20 aber auch eine hohe Anzahl an Verbindungszenonen zur Fläche, wobei trotz allem ein großer Flächenabschnitt nicht belegt ist, also frei bleibt, so dass das verdampfende Fluid unmittelbar in den Gasraum entweichen kann bzw. eine große Kondensationsfläche bleibt.

25 **[0019]** Die Basisabschnitte können dabei mehreckig oder zylindrisch oder kegelstumpf- oder pyramidenstumpfartig ausgeführt sein. Insbesondere eine kegelstumpf- oder pyramidenstumpfartige Form ermöglicht es, eine größere Fläche im Übergang zum Verbindungsabschnitt zu realisieren, wobei sich der Basisabschnitt im verschmälernden Bereich dann stark über die wand- oder stegartigen Verzweigungsabschnitte zur Kontaktfläche hin verzweigt. Eine solche Geometrie lässt einen hervorragenden Fluidtransport in Verbindung mit einer 30 Ausbildung einer großflächigen Aufnahme- und Abgabezone zu. Insbesondere solche komplexen, verästelten oder verzweigten Strukturen können über das additive Auftragsverfahren hergestellt werden.

35 **[0020]** Wie beschrieben, bietet die Integration einer über ein additives Auftragsverfahren, also 3D-Druck hergestellten Kapillarstruktur eine hohe Variationsmöglichkeit hinsichtlich der geometrischen Auslegung der Kapillarstruktur. In diesem Zusammenhang ist es erfindungsgemäß möglich, dass die Verbindungsstrukturen zur gleichen Seite hin an den Verbindungsabschnitt anschließen, oder zu einander gegenüberliegenden Seiten. Darüber hinaus ist es auch denkbar, dass die Verbindungsstrukturen unterschiedlich orientiert sind, also zu beliebigen Seiten oder in beliebige Richtungen orientiert 40 sind. Dies ermöglicht es, sich optimal an die Position oder die räumliche Anordnung der zu kontaktierenden Flächen anzupassen, nachdem letztlich die Geometrie der Kapillarstruktur und damit aber auch die räumliche Lage 45

und Orientierung der Verbindungsstrukturen im 3D-Druck quasi beliebig erzeugbar sind.

**[0021]** Zusätzlich oder alternativ ist es auch denkbar, dass die Kapillarstruktur eine Mehrzahl an rippenartigen Strukturabschnitten aufweist, wobei jeder Strukturabschnitt über einen länglichen Fußabschnitt mit der zu entwärmenden und/oder der zu erwärmenden Fläche verbunden ist, an die sich ein erweiternder Abschnitt anschließt. Gemäß dieser Erfindungsvariante kommen also längliche rippen- oder stegartige Strukturabschnitte zum Einsatz. Mit diesen länglichen Strukturabschnitten lassen sich längere Strecken erstellen respektive über längere Strecken im Kondensatorabschnitt Fluid aufnehmen, wobei diese Streckenstrukturen insbesondere im Kondensatorabschnitt zweckmäßig einsetzbar sind. Diese rippenartigen Strukturabschnitte können beispielsweise an vertikal stehenden Wandflächen schräg oder horizontal verlaufend vorgesehen sein, so dass an der Kondensationsfläche abströmendes Fluid unmittelbar gegen einen solchen Strukturabschnitt strömt und aufgenommen wird.

**[0022]** Dabei ist zweckmäßigerweise jeder Strukturabschnitt mit dem Verbindungsabschnitt verbunden, so dass das über den oder die Strukturabschnitte aufgenommene Fluid auch unmittelbar über den Verbindungsabschnitt kapillar zurückgeleitet werden kann.

**[0023]** Bevorzugterweise ist ein solcher Strukturabschnitt querschnittlich gesehen pilzartig ausgeführt, weist also einen Fuß auf, der sich zum oberen Ende hin pilzartig erweitert. Dieses Ende endet quasi im Raum, also dem Bereich, durch den das verdampfte Fluid von dem Verdampferabschnitt zum Kondensatorabschnitt strömt. Auch die Strukturabschnitte weisen natürlich die vorstehend beschriebenen Kanäle auf bzw. sind porös, leiten also das Fluid kapillar, so dass sie, da am Verbindungsabschnitt angebunden, Teil der gesamten Kapillarleitung sind.

**[0024]** Zweckmäßigerweise ist der oder sind die Strukturabschnitte an einer oder mehreren Flächen des Kondensatorabschnitts, an denen die Verbindungsstruktur nicht angebunden ist, angeordnet. Die Verbindungsstruktur ist beispielsweise an einer schräg oder horizontal verlaufenden Fläche, die eben oder gewölbt sein kann, angeordnet und kann dortseits anfallendes Kondensat aufnehmen. Die länglichen Strukturabschnitte hingegen sind, wie bereits beschrieben, zweckmäßigerweise an relativ steil verlaufenden oder vertikal stehenden Flächen des Kondensatorabschnitts angeordnet und bilden quasi Strömungsbarrieren, gegen die das Kondensat strömt und an denen es dann aufgenommen wird.

**[0025]** Die Strukturabschnitte können, wenn geometrisch möglich, entweder direkt mit dem Verbindungsabschnitt verbunden sein, denkbar ist es aber auch, die Strukturabschnitte über vergleichbar aufgebaute Koppelabschnitte mit dem Verbindungsabschnitt zu verbinden, wobei natürlich auch ein solcher Koppelabschnitt entsprechend kanalartig strukturiert respektive porös ausgeführt ist. Eine solche Ausgestaltung ist beispiels-

weise denkbar, wenn über eine vertikale Fläche mehrere Strukturabschnitte verteilt angeordnet sind, die randseitig beispielsweise über zwei vertikal verlaufende Koppelabschnitte mit dem beispielsweise horizontal verlaufenden Verbindungsabschnitt verbunden sind. Entscheidend für die konkrete geometrische Auslegung der Kapillarstruktur ist jedoch, wie vorstehend beschrieben, stets die Geometrie des zu kühlenden Bauteils respektive die Lage der relevanten Flächen.

**[0026]** Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die Kapillarstruktur eine oder mehrere, in dem im Bereich des Verdampferabschnitts angeordneten Teil der Kapillarstruktur vorgesehene Leitkanäle, durch die das verdampfte Fluid in einen zum Kondensatorabschnitt führenden Gasraum tritt, aufweist. Über diese Leitkanäle, die natürlich ebenfalls im Rahmen des additiven 3D-Drucks ausgebildet werden, werden folglich definierte Dampfkanäle ausgebildet, durch die das verdampfende Fluid bevorzugt durch die Kapillarstruktur hindurchtritt, wobei natürlich ein Teil des verdampften Fluids auch durch die Kapillarstruktur selbst, die wie beschrieben letztlich ein poröses Bauteil ist, diffundiert. Über diese einen deutlich größeren Durchmesser als die Kapillarkanäle aufweisenden Leitkanäle kann jedoch eine schnelle, definierte Ableitung eines relativ großen Gasvolumens erfolgen.

**[0027]** Gemäß einer besonders zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die zu entwärmende und die zu erwärmende Fläche gemeinsam mit der Kapillarstruktur in dem additiven Auftragsverfahren erzeugt sind. Das additive Auftragsverfahren ermöglicht es, nicht nur die Kapillarstruktur zu erzeugen, sondern auch die damit gekoppelten Flächen, so dass sich bereits in diesem Umfang eine monolithische Struktur ergibt, das heißt, dass die Flächen und die Kapillarstruktur ein einstückiges Bauteil sind. Dies hat den besonderen Vorteil, dass ein separates Fügen der separat hergestellten Kapillarstruktur mit den ebenfalls separat hergestellten Flächen nicht erforderlich ist, welches Fügen Probleme in Bezug auf den Wärmeübergang mit sich bringen kann. Im 3D-Druckverfahren ist es ohne weiteres möglich, die zu koppelnden Flächen als kompakte, nicht poröse Flächen auszugestalten, im gleichen Arbeitsschritt aber dann die Kapillarstruktur entsprechend porös respektive kapillar leitend auszuführen. Verwendet werden kann hierbei unterschiedliches Material, bevorzugt aber natürlich auch das gleiche Material, das heißt, dass diese monolithische Struktur aus einem durchgängigen Material besteht und demzufolge ein unterbrechungsfreier Pfad aus ausschließlich artgleicher Metalllegierung in allen Bereichen dieser Festkörperstruktur gegeben ist.

**[0028]** Dieser monolithische Grundgedanke kann aber noch beliebig erweitert werden. Denn es ist erfindungsgemäß ebenfalls denkbar, zusätzlich eine Vakuumisolation, die die zu entwärmende und die zu erwärmende Fläche sowie die Kapillarstruktur einhüllt, gemeinsam in dem additiven Auftragsverfahren herzustellen. Das heißt, dass quasi ein geschlossenes Vakuumgehäuse

hergestellt wird, das die gesamte Verdampfer-Kondensator-Anordnung enthält. Dieses Gehäuse respektive die Vakuumisolierung stellt sicher, dass nur die Fläche der Erwärmung und der Entwärmung in thermischem Kontakt mit der äußeren Umgebung stehen und alle anderen fluidführenden Zonen mit der äußeren Umgebung nur einen sehr geringen Wärmeaustausch haben. Der mit dem Fluid als Arbeitsmedium gefüllte Bereich des Wärmerohres enthält für einen effizienten Wärmetransport nur die Moleküle des Arbeitsmediums in flüssiger oder gasförmiger Form, aber keine anderen Moleküle mit höherem Dampfdruck, insbesondere keine Inertgase oder Luft, da diese den Stofftransport in der Gasphase an die kalten Flächen behindern durch den Aufbau eines nicht kondensierenden Gaspolsters. Der Raum mit dem Kapillarsystem kann mit dem Fluid befüllt werden, was beispielsweise dadurch erfolgt, dass das eine definierte Menge des Fluids im Rahmen einer Kryo-Kühlung zunächst gefroren wird und anschließend Vakuum gezogen wird. Dieser Vorgang kann auch mehrmals zur Entgasung des Fluids wiederholt werden. Anschließend wird bei eingefrorenem Fluid das System entsprechend gasdicht verschlossen, beispielsweise durch Verlöten, oder über eine chemisch und thermisch verträgliche Verschlussmasse gasdicht verschlossen, wonach das System erwärmt wird, so dass das eingefrorene Fluid wieder in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.

**[0029]** In noch weitergehender Ausgestaltung des monolithischen Gedankens ist es schließlich denkbar, dass die gesamte Verdampfer-Kondensator-Anordnung monolithischer Teil eines in dem additiven Auftragsverfahren insgesamt hergestellten Bauteils, insbesondere in Form eines Wärmerohrs, ist. Das heißt, dass in diesem Fall das Bauteil, insbesondere das Wärmerohr, vollständig im 3D-Druck hergestellt wird. Das Wärmerohr weist eine druckfeste Hülle auf, die gegebenenfalls bereits die Vakuumisolierung darstellen kann. In ihr werden die entsprechenden Flächen wie auch die Kapillarstruktur ausgebildet. Alternativ zur Herstellung eines Wärmerohrs sind aber natürlich auch beliebige andere Gegenstände auf diese Weise herstellbar beziehungsweise es kann ein solches Gebilde um bereits existierende, zu entwärmende Bauteile herum konstruiert werden, wenn das komplette Ensemble im 3D-Druck hergestellt wird. Es ist im Rahmen der Auslegung respektive des Designs dieses Bauteils lediglich darauf zu achten, dass der Aufbau im 3D-Druck ohne Ausbildung von Stützstrukturen möglich ist, und dass das nach dem Drucken im Bauteil verbliebene Pulver über eine oder mehrere Entpulverungsöffnungen entleert werden kann, so dass insbesondere der Vakumbereich entleert werden kann. Über diese Entpulverungsöffnung kann schließlich das Vakuum gezogen werden, dort erfolgt auch der vakuumdichte Verschluss, beispielsweise durch ein Vakuum-Lötverfahren in einem Vakuumofen oder bei niedrigeren Temperaturanforderungen durch ein Verschließen mittels Aushärtten der Verschlussmassen wie Amalgamen, Epoxiden, Polyurethanen oder dergleichen.

**[0030]** Neben der Verdampfer-Kondensator-Anordnung selbst betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils enthaltend eine Verdampfer-Kondensator-Anordnung der beschriebenen Art. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass ein Bauteilgehäuse mit einem Verdampferabschnitt mit wenigstens einer zu entwärmenden Fläche und einem Kondensatorabschnitt mit wenigstens einer zu erwärmenden Fläche, eine den Verdampfer- und den Kondensatorabschnitt isolierende Vakuumisolierung sowie die zu entwärmende und die zu erwärmende Fläche verbindende Kapillarstruktur in einem additiven Auftragsverfahren gemeinsam hergestellt werden und dieses Ensemble auf bereits existierende zu entwärmende oder zu erwärmende Flächen bereits existierender Bauteile hinzukonstruiert wird. Dabei kann, je nach herzustellendem Bauteil und dessen geometrische Auslegung, das Bauteilgehäuse selbst bereits die Vakuumisolierung sein, alternativ dazu kann die Vakuumisolierung auch eine separate Isolierschicht sein.

**[0031]** Weitere Vorteile und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

- 25 Fig. 1 eine Perspektivansicht eines Bauteils enthaltend eine erfindungsgemäße Verdampfer-Kondensator-Anordnung,
- 30 Fig. 2 eine Schnittansicht entlang der Linie II - II des Bauteils aus Fig. 1,
- 35 Fig. 3 eine Schnittansicht entlang der Linie III - III des Bauteils aus Fig. 1,
- 40 Fig. 4 eine vergrößerte Teilansicht des Verdampferabschnitts mit integrierter Kapillarstruktur,
- 45 Fig. 5 eine vergrößerte Teilansicht des Kondensatorabschnitts mit integrierter Kapillarstruktur,
- 50 Fig. 6 eine geschnittene Aufsicht auf das Bauteil gemäß Fig. 1,
- 55 Fig. 7 eine vergrößerte Teilansicht des Bereichs VII aus Fig. 6,
- Fig. 8 eine weitere Schnittansicht im Bereich des Kondensatorabschnitts,
- Fig. 9 eine vergrößerte geschnittene Aufsicht auf die sich oberhalb des Kondensatorabschnitts erstreckende Kapillarstruktur umfassend mehrere Strukturabschnitte, und
- 55 Fig. 10 eine perspektivische Schnittansicht im Bereich der Stirnseite des Bauteils im Kondensatorabschnitt.

**[0032]** Fig. 1 zeigt eine Prinzipdarstellung eines Bauteils 1, enthaltend, siehe die Schnittansicht gemäß Fig. 2, eine erfundungsgemäße Verdampfer-Kondensator-Anordnung 2. Das Bauteil 1 ist mit allen seinen Elementen ein monolithisches, in einem additiven Auftragsverfahren, also einem 3D-Druckverfahren wie beispielsweise einem Powder-Bed-Fusion-Verfahren oder einem Direct-Metal-Laser-Melting-Verfahren hergestelltes Bauteil, also eine monolithische Struktur.

**[0033]** Fig. 2 zeigt eine Schnittansicht durch das Bauteil 1 aus Fig. 1 im Bereich der vorderen Seitenwände. Das Bauteil 1 weist ein Gehäuse 3 auf, mit entsprechendem Boden, Seitenwänden etc. Ausgebildet sind im gezeigten Beispiel exemplarisch zwei Räume 4, 5. Unterhalb der Räume, siehe Fig. 2, respektive entlang der Seitenwände des Raumes 5 ist die Verdampfer- und Kondensatoranordnung vorgesehen. Diese weist auf respektive ihr zugeordnet ist eine zu entwärmende Fläche 6 sowie im gezeigten Beispiel fünf zu erwärmende Flächen 7, nämlich die vier Seitenwände und den Boden des Raumes 5. Um dies zu ermöglichen, weist die Verdampfer-Kondensator-Anordnung 2 einen Verdampferabschnitt 8 sowie einen Kondensatorabschnitt 9 auf, die quasi über eine Kapillarstruktur 10 miteinander gekoppelt sind. Die Kapillarstruktur 10 ist, wie beschrieben das gesamte Bauteil, also der Boden, die Seitenwände etc., ebenfalls in dem additiven Auftragsverfahren gemeinsam mit den Umgebungsbauteilen monolithisch hergestellt.

**[0034]** Die Kapillarstruktur 10 weist eine erste Verbindungsstruktur 11 auf, die dem Verdampferabschnitt 8 zugeordnet ist und thermisch mit der zu entwärmenden Fläche 6 gekoppelt ist. Sie weist ferner eine zweite Verbindungsstruktur 12 auf, die thermisch mit einer der Flächen 7 gekoppelt ist, hier dem Boden und den Seitenflächen. Beide Verbindungsstrukturen 11, 12 sind über einen Verbindungsabschnitt 13 miteinander verbunden. Die Verbindungsstrukturen 11, 12 sowie der Verbindungsabschnitt 13 sind infolge gezielter Einstellung der Betriebsparameter beim additiven Auftragen porös, und weisen eine Mehrzahl an nicht näher gezeigten Kanälen auf, die eine Kapillarleitung von am Kondensatorabschnitt 12 anfallendem Fluid hin zum Verdampferabschnitt 8 ermöglicht. Diese Kanäle bilden sich entweder gezielt beim Vorgang der additive Fertigung aus, oder ergeben sich aus der Porosität der Kapillarstruktur 10, deren Lunker miteinander kommunizieren, so dass sich ein Porengeflecht, das das Teil durchsetzt, ergibt. Das Fluid befindet sich in dem geschlossenen Hohlraum, in dem die Kapillarstruktur 10 aufgenommen ist, wobei dieser Hohlraum über die Wände einer entsprechenden Vakuumisolierung 14, gebildet von den ihn einhausenden Wänden des Gehäuses 3, gebildet ist. Die Wände sind in anderen Worten innenseitig die Wand des Hohlraums für das Kapillarsystem, außenseitig die Wand der Vakuumisolierung.

**[0035]** Im kontinuierlichen Betrieb, das heißt nach Erwärmung aller im Fluidraum liegenden und den Fluid-

raum begrenzenden Festkörperflächen, liegt das Fluid im Verdampferabschnitt 8 flüssig vor. Dieser mit der zu entwärmenden Fläche 6, die also heiß ist, verbundene Verdampferabschnitt 8 wird demzufolge erwärmt, so dass das Fluid verdampft und in die Gasphase übergeht. Über einen Gasraum 15 gelangt das verdampfte Fluid in den Kondensatorabschnitt 9, wo es an den Flächen 7 kondensiert. Das Kondensat wird über die Kapillarstruktur 10 dortseits aufgenommen und kapillar über den Verbindungsabschnitt 13 wiederum in den Verdampferabschnitt 8 geführt.

**[0036]** Fig. 3 zeigt eine weitere Schnittansicht, in der die Ausgestaltung der Verbindungsstrukturen 11, 12 detaillierter gezeigt ist. Jede Verbindungsstruktur 11, 12 ist thermisch mit der zu entwärmenden oder erwärmenden Fläche 6, 7 gekoppelt, wobei die Fläche 6, 7 mit einem Belag 16, 17 belegt ist, der aus dem gleichen Material besteht wie die Kapillarstruktur 10 und wie auch bevorzugt das Gehäuse 3. Dieser Belag 16, 17 ist möglichst dünn, so dass ein guter Wärmeübergang möglich ist. Aufgrund der gemeinsamen Ausbildung in einem einstufigen 3D-Druckverfahren und damit der Bildung einer monolithischen Struktur ist eine sehr gute Wärmekopplung gegeben.

**[0037]** Die Verbindungsstrukturen 11, 12 verzweigen sich jeweils zu der Fläche 6, 7 hin. An den Verbindungsabschnitt 13 schließt sich jeweils ein hier kegelstumpfartiger Basisabschnitt 18, 19 an, an den sich wiederum wand- oder stegartige Verzweigungsabschnitte 20, 21 anschließen, die dann unmittelbar an die Fläche 6, 7 respektive die daran angebrachten Beläge 16, 17 angebunden sind. Durch diese Ausgestaltung mit den Basisabschnitten 18, 19 und den entsprechenden Verzweigungsabschnitten 20, 21 ergibt sich quasi eine baumartige Verästelung, mithin also eine bionische Struktur. Zur jeweiligen Fläche 6, 7 sind eine Vielzahl von Verbindungen gegeben, die länglich und schmal sind, jedoch in der Summe eine relativ große Flächenankopplung darstellen. Gleichwohl ist die jeweilige Fläche 6, 7 zu einem Großteil nach wie vor unbelegt, so dass im Falle der Fläche 6 eine große Abdampffläche gegeben ist, die es ermöglicht, dass das Fluid sehr schnell in die Gasphase übergehen und abdampfen kann, und im Fall der Fläche 7 eine große Kondensatbildungsfäche gegeben ist, an der das Gas wieder rekondensiert, das dann über die Verbindungsstruktur 12 respektive die steg- oder wandartigen Verzweigungsabschnitte 21 aufgenommen wird. In Bezug auf die Fluidabgabe im Verdampferbereich 11 wiederum ermöglicht die verästelte Struktur mit den steg- oder wandartigen Verzweigungsabschnitten 20 eine sehr großflächige und schnelle Fluidabgabe, so dass sichergestellt ist, dass im Verdampferabschnitt 6 stets genügend Fluid vorhanden ist.

**[0038]** Fig. 4 zeigt eine vergrößerte Teilansicht des Verdampferbereichs 8. Gut zu sehen sind wiederum die kegelstumpfartigen Basisabschnitte 18 und die daran anschließenden, flächigen wand- oder stegartigen Verzweigungsabschnitte 20. Ebenfalls gut zu sehen ist der

dünne Belag 16 auf der zu entwärmenden Fläche 6.

**[0039]** Fig. 4 zeigt des Weiteren eine Mehrzahl an Leitkanälen 22, die im Verbindungsabschnitt 13 in dem Bereich, der dem Verdampferabschnitt 8 zugeordnet ist, ausgebildet sind. Diese hier schräg verlaufenden, im 3D-Druck ausgebildeten Leitkanäle 22 ermöglichen eine sehr rasche Durchleitung des Gases durch den Verbindungsabschnitt 13, so dass ein schneller Übergang in den Gassammelraum 15 möglich ist, von wo aus das heiße Gas im gezeigten Beispiel nach rechts zum Kondensatorabschnitt 9 strömen kann.

**[0040]** Fig. 5 zeigt eine vergrößerte Teilansicht des Kondensatorabschnitts 9. Auch hier sind nochmals gut die kegelstumpfartigen Basisabschnitte 19 sowie die steg- oder wandartigen Verzweigungsabschnitte 21 zu erkennen. An den Verbindungsabschnitt 13 schließen sich hier mehrere schmale, vertikal nach oben verlaufende Koppelabschnitte 23 an, an die wiederum eine Mehrzahl an hier gewinkelt verlaufenden rippenartigen Strukturabschnitten 24 angeschlossen sind. Auch diese Koppelabschnitte 23 und Strukturabschnitte 24 sind Teil der gesamten Kapillarstruktur 10, sind also entsprechend porös respektive von Kanälen durchzogen im 3D-Druck ausgebildet. Die Strukturabschnitte 24 sind an der zu erwärmenden Fläche 7, die hier vertikal verläuft im Vergleich zu den Boden bildenden Fläche 7, angeordnet. Da sich auch an diesen vertikalen Flächen 7 das Kondensat abscheidet, dienen die Strukturabschnitte 24 dazu, das dort anfallende Kondensat sehr schnell aufzunehmen und über die Koppelabschnitte 23 in den Verbindungsabschnitt 13 abzuleiten und zum Verdampferabschnitt 8 zu führen. Hierüber wird es ermöglicht, die Fläche 7 sehr schnell vom Kondensat zu befreien, so dass ein dort ausbildender Kondensatfilm nur sehr dünn ist und dieser demzufolge die Kondensation möglichst wenig behindert. Solche Strukturabschnitte 24 sind an allen vier, den Raum 5 begrenzenden Flächen 7 vorgesehen, da an all diesen Flächen eine Kondensatbildung möglich ist. Die Orientierung der Strukturabschnitte 24 kann dabei auch den Konstruktions- und Bauprinzipien der jeweiligen additiven Fertigungsmethode folgen.

**[0041]** Wie auch die Verbindungsstrukturen 11, 12, weisen auch die länglichen Strukturabschnitte 24 eine spezifische Geometrie auf. Sie sind quasi pilzartig ausgeführt und mit einem Fußabschnitt 25 an der Fläche 7 angebunden. Der Fußabschnitt 25 erweitert sich sodann in einen pilzkopfartigen Erweiterungsabschnitt 26, der frei im Gasraum 15 endet. Die Strukturabschnitte 24 sind wie beschrieben rippenartig, erstrecken sich also der Länge nach über die Fläche 7 und ermöglichen auf diese Weise an vielen Stellen die Kondensataufnahme. Gezeigt sind in Fig. 7 des Weiteren die Koppelabschnitte 23, die im Bereich der Ecken aber auch der Flächenmitten verlaufen, siehe insbesondere auch Fig. 6.

**[0042]** Fig. 8 zeigt nochmals eine Schnittansicht unter Darstellung der Verbindungsstruktur 12 mit den Basisabschnitten 19 und den wand- oder stegartigen Abschnitten 21, aber auch der Strukturabschnitte 24, die im ober-

halb davon befindlichen Bereich des Vakuumraums ausgebildet sind.

**[0043]** Fig. 9 zeigt eine Aufsicht auf das Bauteil 1 im Bereich des Raums 5 in geschnittener Darstellung, aus der die Geometrie der Strukturabschnitte 24 erkennbar ist. Ersichtlich verschmälert sich der jeweilige Strukturabschnitt 24, um einen Gasdurchtritt von unten nach oben zu ermöglichen, das heißt, dass so sichergestellt ist, dass die einzelnen Strukturabschnitte 24 nicht die gegenüberliegende Wand 27 kontaktieren, was den Gasdurchgang verhindern würde. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass Gas an den gesamten Flächen 7 kondensieren kann.

**[0044]** Während in Fig. 5 an den beiden gegenüberliegenden Seitenflächen winkelartig verlaufende Strukturabschnitte 24 vorgesehen sind, zeigt Fig. 10 die Stirnfläche, in geschnittener Ansicht, wobei hier die Strukturabschnitte 24 geradlinig verlaufen, jedoch ebenfalls zur Mitte ihrer Länge hin schmäler werden, um den Gasdurchtritt von unten nach oben zu ermöglichen. Hier wird auch gut erkennbar, dass der eigentliche Kondensatorabschnitt 9 sowohl im unteren Bereich als auch im Bereich der Seitenflächen jeweils offen ist und der Gasdurchtritt möglich ist.

**[0045]** Bei dieser Ausgestaltung, bei der es sich um eine reine Prinzipanordnung handelt, um grundsätzlich die Möglichkeit der Ausbildung einer erfindungsgemäßen Verdampfer-Kondensator-Anordnung darzustellen, sind die beiden Verbindungsstrukturen 11, 12 an unterschiedlichen Seiten des Verbindungsabschnitts 13 angeordnet, der eine erstreckt sich nach unten im Verdampferabschnitt 8, der andere erstreckt sich nach oben im Kondensatorabschnitt 9. Selbstverständlich sind auch andere Anordnungen denkbar, beispielsweise dass beide zur gleichen Seite hin abstehen, oder an Stirnseiten vorgesehen sind etc. Auch kann natürlich die Geometrie des Verbindungsabschnitts 13 unterschiedlich sein, er muss nicht plattenförmig sein, er kann auch rundlich sein oder Ähnliches. Die Geometrie der Kapillarstruktur 10 richtet sich nach dem Bauteil und den gegebenen räumlichen und geometrischen Bedingungen. Dies ist letztlich ohne weiteres möglich, als, wie beschrieben, zumindest die Kapillarstruktur 10 ein in einem additiven Auftragsverfahren, also im 3D-Druck hergestelltes Bauteil ist, das hinsichtlich der Geometrie in weiten Teilen gestaltbar ist. Bevorzugt natürlich wird das gesamte Bauteil als monolithisches 3D-Druckbauteil hergestellt, so dass auch in Bezug auf das Bauteil selbst respektive dessen Gehäuse und damit die zu koppelnden Flächen etc. große Designfreiheit besteht. Einziger limitierender Faktor ist letztlich der 3D-Druck dahingehend, dass die herzustellenden Flächen oder Abschnitte einen Winkel von 45° gegenüber der Bauplatte nicht unterschreiten sollen, da ansonsten Stützstrukturen auszubilden wären.

**[0046]** Die gezeigte Geometrie des Bauteils 1 in den vorstehenden Figuren ist rein exemplarisch und in keinem Fall beschränkend. Bei dem Bauteil 1 kann es sich um ein beliebiges Bauteil handeln, das eine zu entwärmende

mende Fläche und eine zu erwärmende Fläche aufweist, die über eine entsprechende Verdampfer-Kondensator-Anordnung thermisch gekoppelt sind, die also über das erfindungsgemäße Kühlsystem gekühlt werden sollen. Bei dem Bauteil kann es sich beispielsweise um ein eigenständiges Wärmerohr handeln, das mit einem zu kühlenden Drittgegenstand thermisch in Kontakt gebracht wird oder Ähnliches. Dabei ist der Begriff "Wärmerohr" allgemein zu verstehen, er umfasst nicht nur eine rohrartige Struktur, sondern eine quasi beliebige Geometrie, die z. B. auch flach und plattenförmig sein kann, jedoch eine entsprechende Kondensator-Verdampfer-Anordnung enthält. Die Geometrie eines solchen "Wärmerohrs" kann also beliebig sein. Darüber hinaus kann die Verdampfer-Kondensator-Anordnung selbst auch integraler Teil eines solchen zu kühlenden Bauteils selbst sein, muss also nicht erst in Kontakt mit einem zu kühlenden Drittgegenstand gebracht werden und dergleichen. Insbesondere in einem solchen Fall lässt sich, da keine Fügeverbindung zu einem externen, zu kühlenden Bauteil erforderlich ist, aufgrund der monolithischen Ausbildung ein hervorragender Wärmeübergang von der zu kühlenden Fläche in die Kapillarstruktur 10 respektive die Verdampfer-Kondensator-Anordnung 2 erreichen.

**[0047]** Fig. 1 zeigt des Weiteren zwei Entpulverungsöffnungen 28, über die nach Beendigung des 3D-Drucks überschüssiges Metallpulver entnommen wird. Über diese Entpulverungsöffnungen 28 wird darüber hinaus auch das Vakuum im Vakuumabschnitt, in dem wie beschrieben der Verdampferabschnitt 8, der Kondensatorabschnitt 9 sowie die Kapillarstruktur 10 aufgenommen ist, gezogen. Über sie wird auch das Fluid eingebracht, das beispielsweise im Rahmen einer Kryo-Kühlung anschließend gefroren wird, wonach das Vakuum gezogen wird. Schlussendlich werden die Entpulverungsöffnungen 28 abgedichtet, beispielsweise durch Verlöten oder mit Hilfe eines entsprechend geeigneten Dichtmittels.

**[0048]** Die in der Kapillarstruktur 10 ausgebildeten Kanäle bzw. porösen kanalartigen Strukturen, die die gesamte Kapillarstruktur in allen ihren Bereichen durchziehen, haben einen Durchmesser zwischen 20 - 800 µm, insbesondere zwischen 30 - 600 µm und vorzugsweise zwischen 40 - 500 µm. Kanäle bzw. Leitstrukturen dieser Größe sind im 3D-Druck ohne weiteres herstellbar, wozu ein entsprechendes feines Metallpulver zu verwenden ist, wobei die Ausbildung im Rahmen des digital gesteuerten 3D-Drucks durch entsprechende Ansteuerung des Lasers erfolgt.

**[0049]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzmfang der Erfindung zu verlassen.

#### Bezugszeichenliste

**[0050]**

1	Bauteil
2	Verdampfer-Kondensat-Anordnung
3	Gehäuse
4	Raum
5	Raum
6	entwärmende Fläche
7	entwärmende Fläche
8	Verdampferabschnitt
9	Kondensatorabschnitt
10	Kapillarstruktur
11	Verbindungsstruktur
12	Verbindungsstruktur
13	Verbindungsabschnitt
14	Vakuumisolierung
15	Gasraum
16	Belag
17	Belag
18	Basisabschnitt
19	Basisabschnitt
20	Verzweigungsabschnitt
21	Verzweigungsabschnitt
22	Leitkanal
23	Koppelabschnitt
24	Strukturabschnitt
25	Fußabschnitt
26	Erweiterungsabschnitt
27	Wand
28	Entpulverungsöffnung

30

#### Patentansprüche

1. Verdampfer-Kondensator-Anordnung, umfassend einen Verdampferabschnitt (8) mit wenigstens einer zu entwärmenden Fläche (6) und einen Kondensatorabschnitt (9) mit wenigstens einer zu erwärmenden Fläche (7), ein an der zu entwärmenden Fläche (6) verdampfendes und an der zu erwärmenden Fläche kondensierendes Fluid, sowie mindestens eine den Verdampferabschnitt (8) und den Kondensatorabschnitt (9) koppelnde Verbindungsleitung, beinhaltend eine Kapillarstruktur (10) zum Führen des kondensierten Fluids vom Kondensatorabschnitt (9) zum Verdampferabschnitt (8) und einen freien Raum zum Führen des verdampfenden Fluids, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillarstruktur (10) eine in einem additiven Auftragsverfahren erzeugte, eine Mehrzahl an Kanälen aufweisende Struktur ist.
2. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kanäle geradlinig durch die Kapillarstruktur (10) erstrecken, oder dass die Kanäle mit variierender räumlicher Orientierung durch die Kapillarstruktur laufen.
3. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Kanäle einen Durchmesser von 20 - 800  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 30 - 600  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 40 - 500  $\mu\text{m}$  aufweisen.

4. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillarstruktur (10) unmittelbar mit der zu entwärmenden und der zu erwärmenden Fläche (6, 7) verbunden ist.
5. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillarstruktur (10) über jeweils eine Verbindungsstruktur (11, 12) mit der jeweiligen Fläche (6, 7) verbunden ist, wobei sich die Verbindungsstrukturen (11, 12) an wenigstens einen sie verbindenden Verbindungsabschnitt (13) anschließen.
6. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich jede Verbindungsstruktur (11, 12) ausgehend von Verbindungsstellen zum Verbindungsabschnitt (13) zur jeweiligen Fläche (6, 7) hin verzweigt.
7. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Verbindungsstruktur (11, 12) eine Mehrzahl an mit dem Verbindungsabschnitt (13) verbundenen Basisabschnitten (18, 19) aufweist, wobei sich an jeden Basisabschnitt (18, 19) eine Mehrzahl an Verzweigungsabschnitten (20, 21), die mit der jeweiligen Fläche (6, 7) verbunden sind, anschließt.
8. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verzweigungsabschnitte (20, 21) wand- oder stegartig ausgeführt sind.
9. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Basisabschnitte (18, 19) mehrereckig oder zylindrisch oder kegelstumpf- oder pyramidenstumpfartig ausgeführt sind.
10. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungsstrukturen (11, 12) zur gleichen Seite hin an den Verbindungsabschnitt (13) anschließen, oder zu einander gegenüberliegenden Seiten, oder dass die Verbindungsstrukturen (11, 12) unterschiedlich orientiert sind.
11. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillarstruktur (10) einen Mehrzahl an rippenartigen Strukturabschnitten (24) aufweist, wobei jeder Strukturabschnitt (24) über einen länglichen Fußabschnitt (25) mit der zu entwärmenden und/oder der zu erwärmenden Fläche (7) verbunden ist, an die sich ein sich erweiternder Abschnitt (26) anschließt.
- 5 12. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Strukturabschnitt (24) mit dem Verbindungsabschnitt (13) verbunden ist.
- 10 13. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Strukturabschnitt (24) querschnittlich pilzartig ist.
- 15 14. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der oder die Strukturabschnitte (24) an einer oder mehreren Flächen (7) des Kondensatorabschnitts (9), an denen die Verbindungsstruktur (12) nicht angebunden ist, angeordnet sind.
- 20 15. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillarstruktur (10) eine oder mehrere, in dem im Bereich des Verdampferabschnitts (8) angeordneten Teil der Kapillarstruktur (10) vorgesehene Leitkanäle (22), durch die das verdampfte Fluid in einen zum Kondensatorabschnitt (9) führenden Gasraum (15) tritt.
- 25 16. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zu entwärmende und die zu erwärmende Fläche (6, 7) gemeinsam mit der Kapillarstruktur (10) in dem additiven Auftragsverfahren erzeugt sind.
- 30 17. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich eine Vakuumisolierung, die die zu entwärmende und die zu erwärmende Fläche (6, 7) sowie die Kapillarstruktur (10) einhüllt, gemeinsam in dem additiven Auftragsverfahren hergestellt sind.
- 35 18. Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Teil eines in dem additiven Auftragsverfahren hergestellten Bauteils (1) ist.
- 40 19. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils enthaltend eine Verdampfer-Kondensator-Anordnung nach einem der vorgehenden Ansprüche, insbesondere Heatpipe, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Bauteilgehäuse (3) mit einem Verdampferabschnitt (8) mit wenigstens einer zu entwärmenden Fläche (6) und einem Kondensatorabschnitt (9) mit wenigstens einer zu erwärmenden Fläche (7), eine den Verdampfer- und den Kondensatorabschnitt (8, 9) isolierende Vakuumisolierung sowie die zu entwärmenden

de und die zu erwärmende Fläche (6, 7) verbindende Kapillarstruktur (10) in einem additiven Auftragsverfahren gemeinsam hergestellt werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

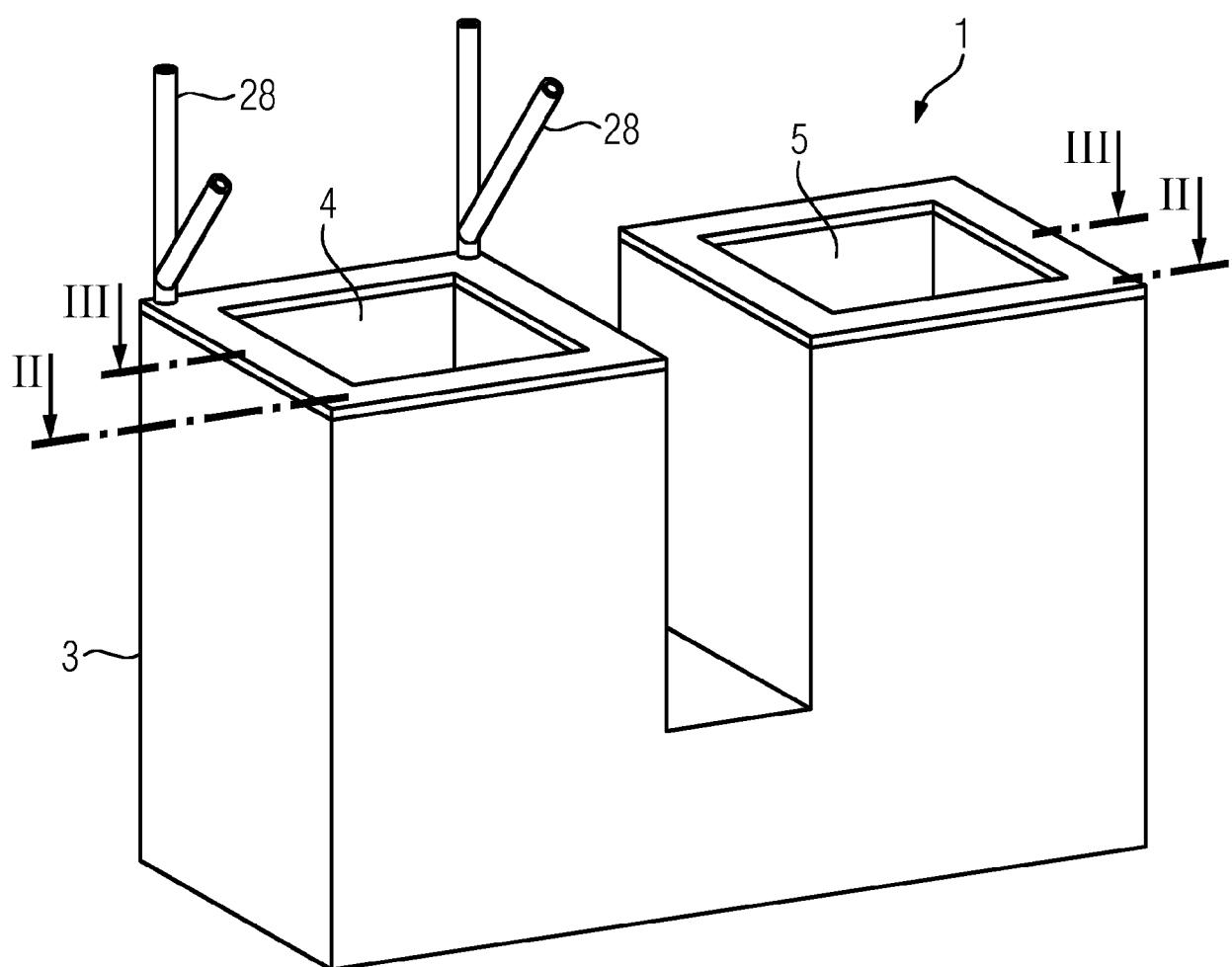


FIG 2

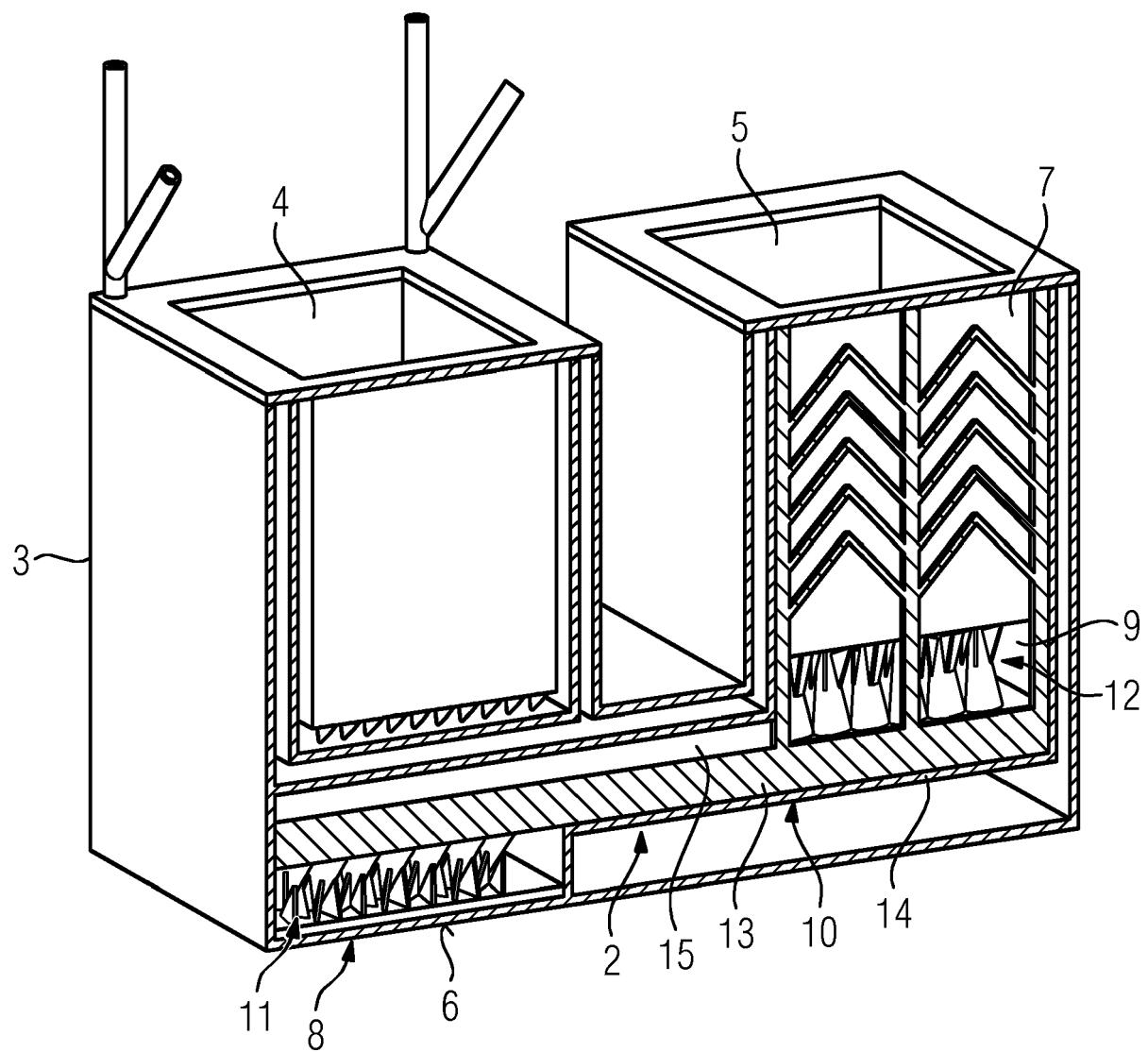


FIG 3

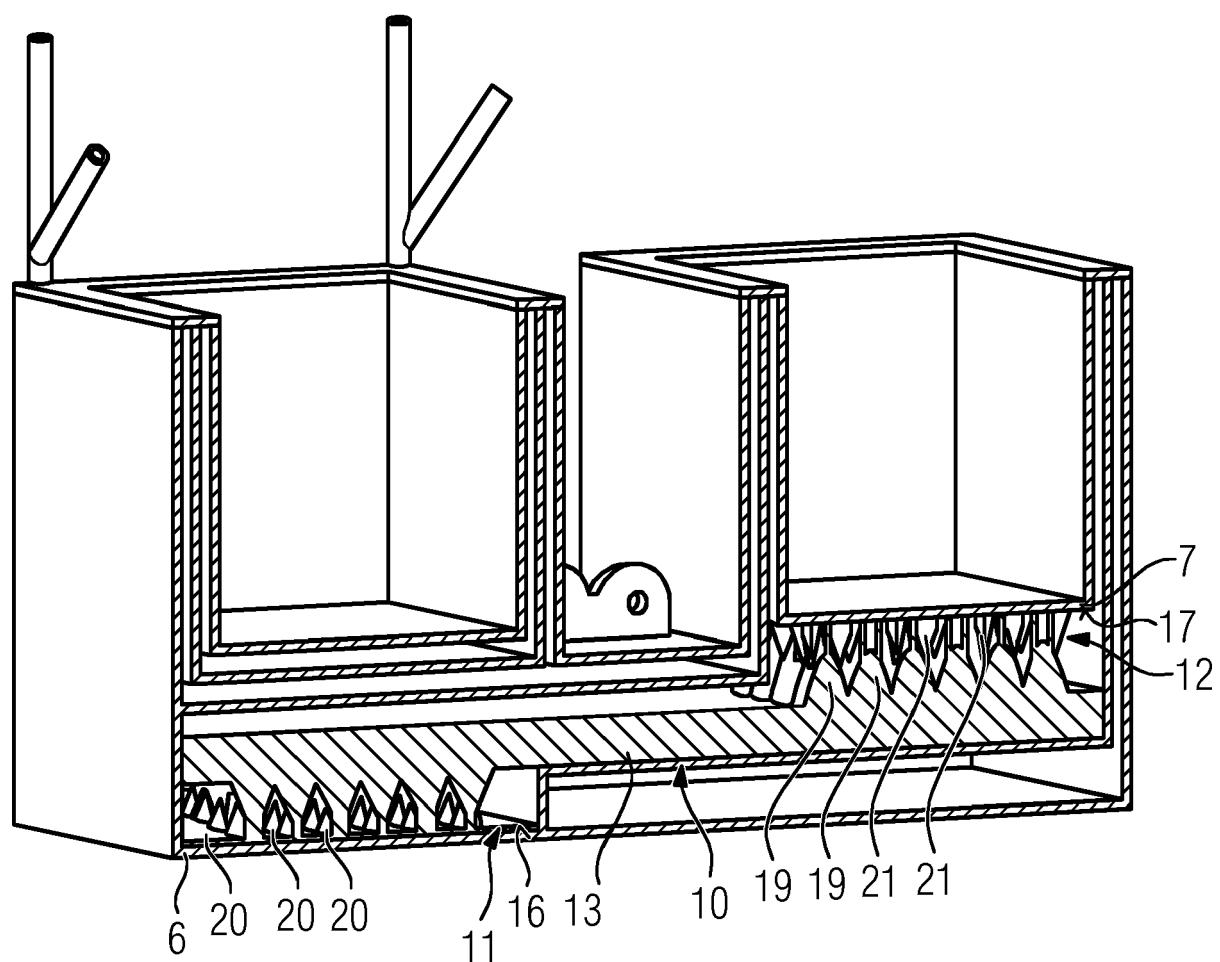


FIG 4

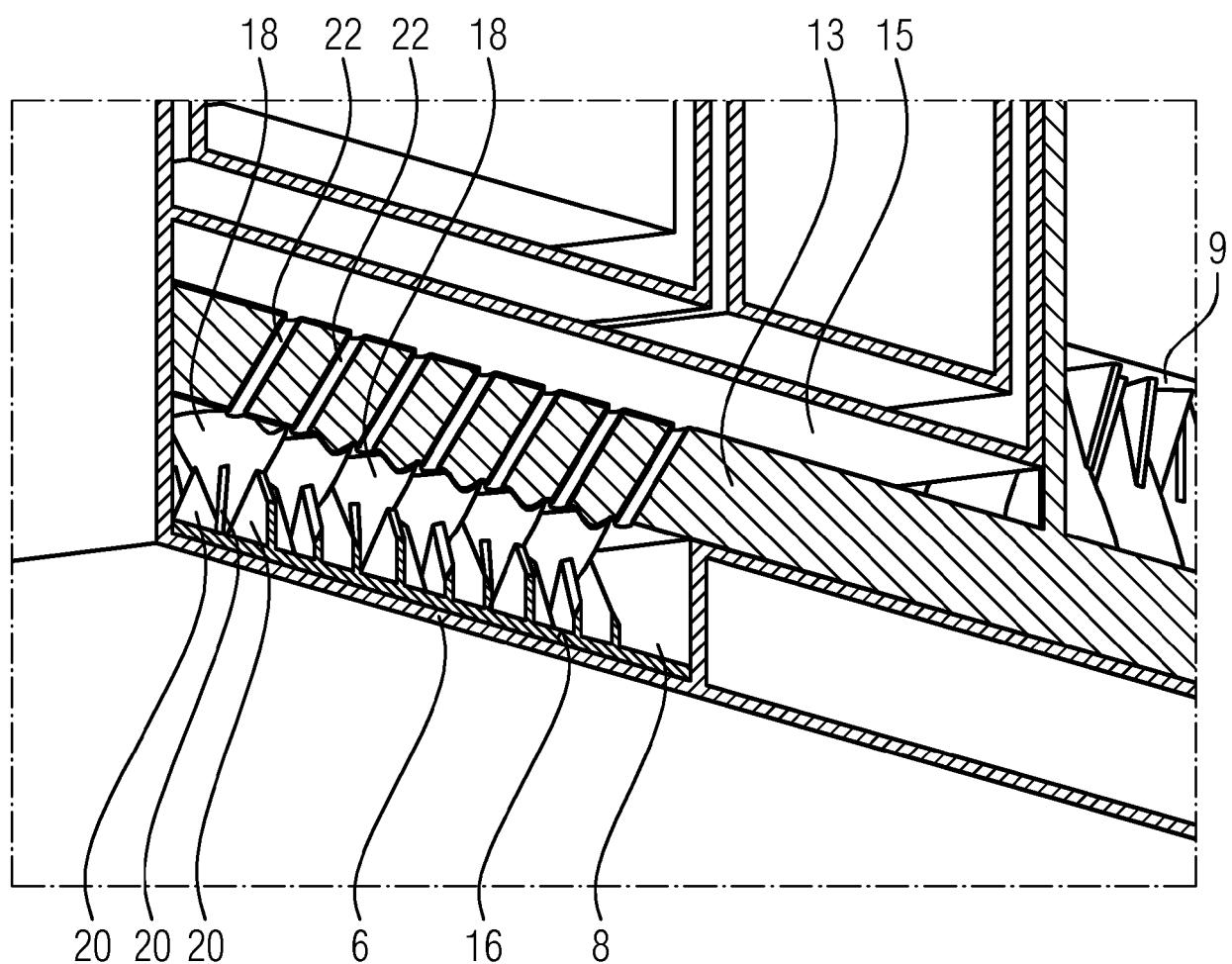


FIG 5

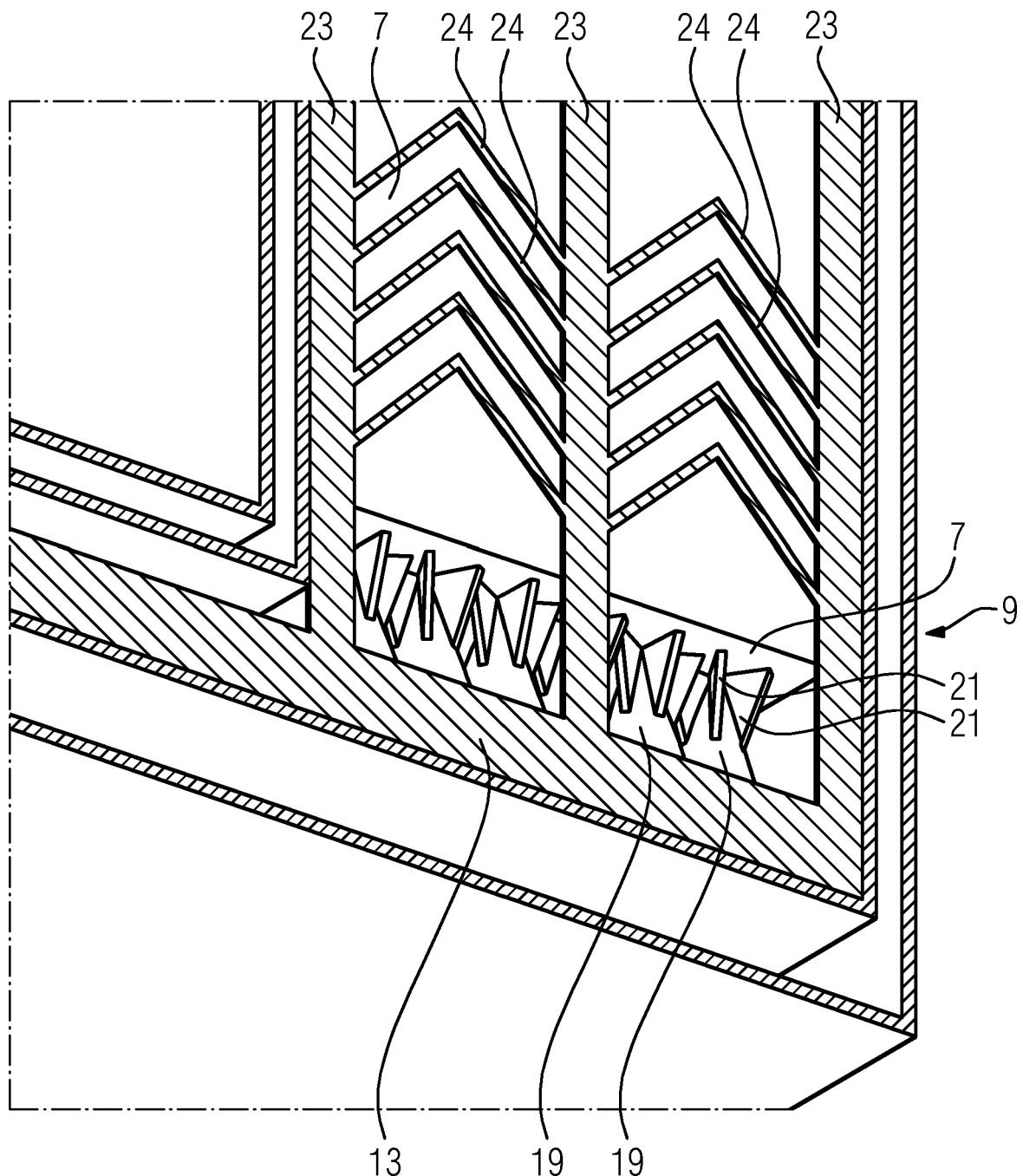


FIG 6

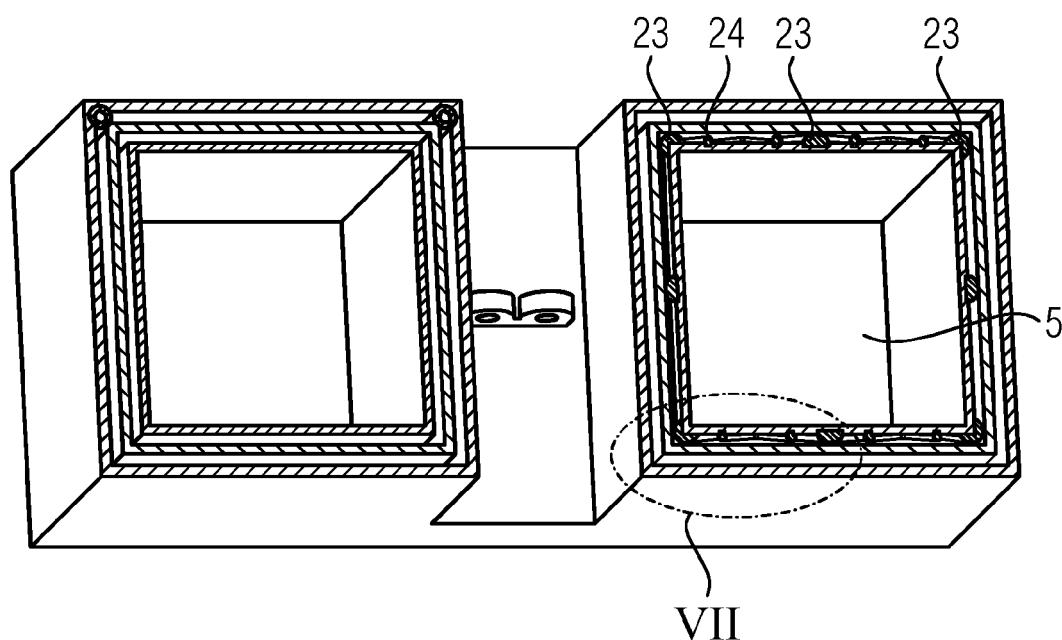


FIG 7

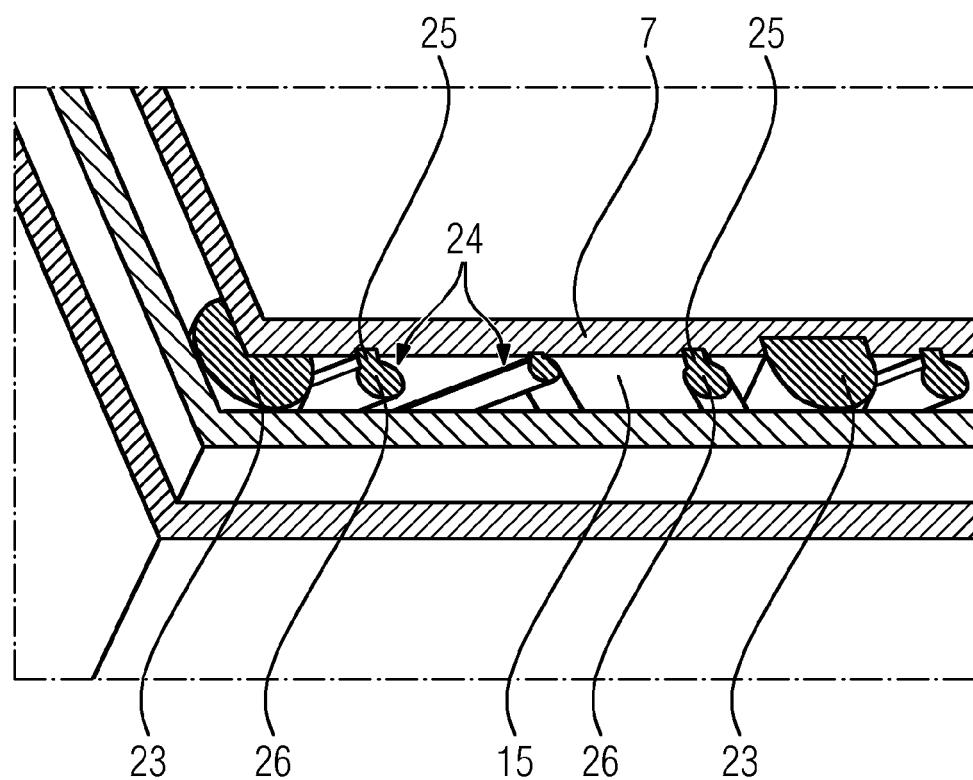


FIG 8

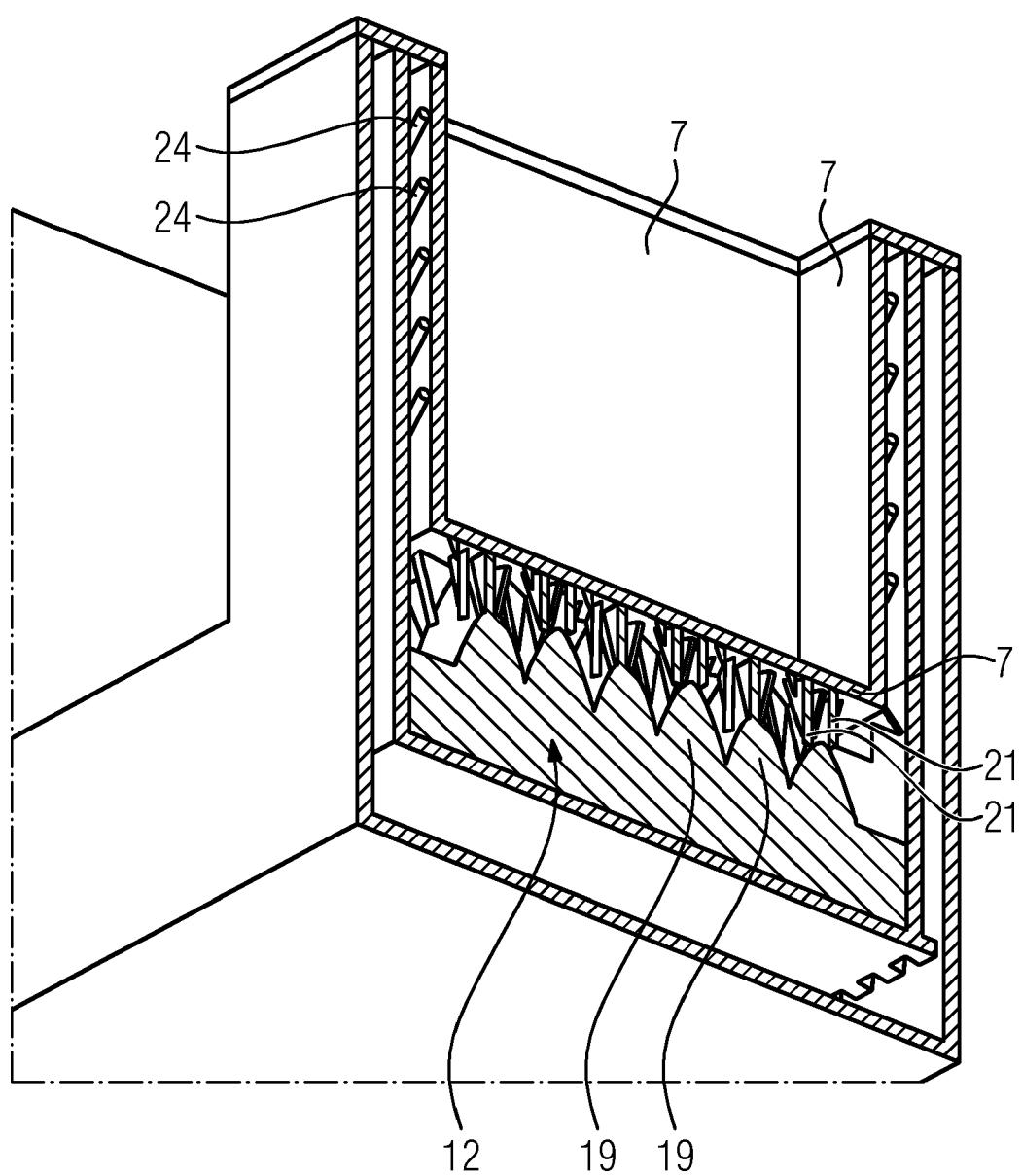


FIG 9

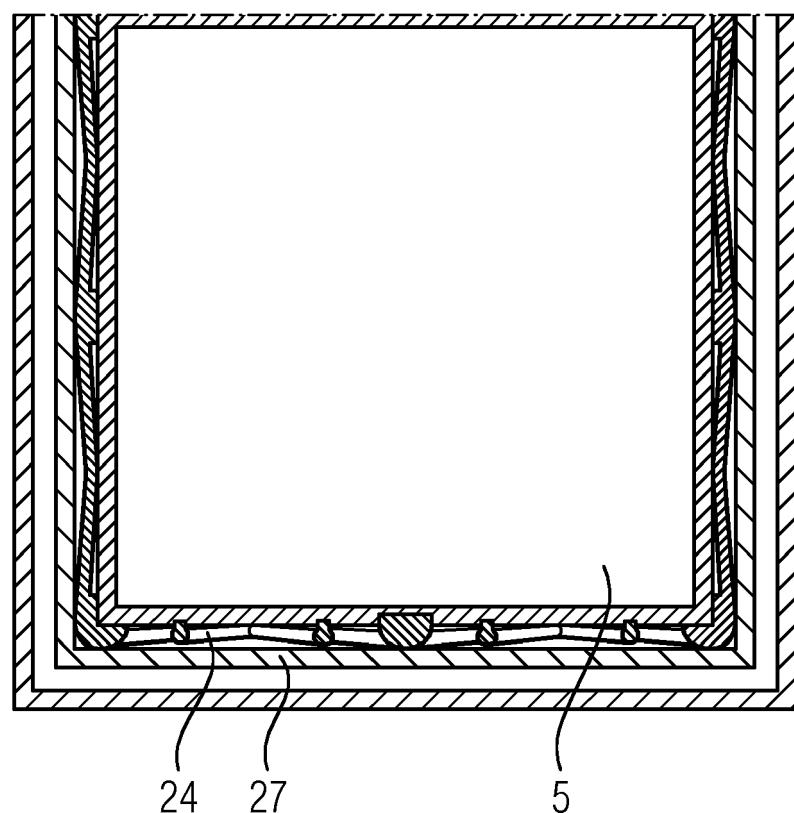
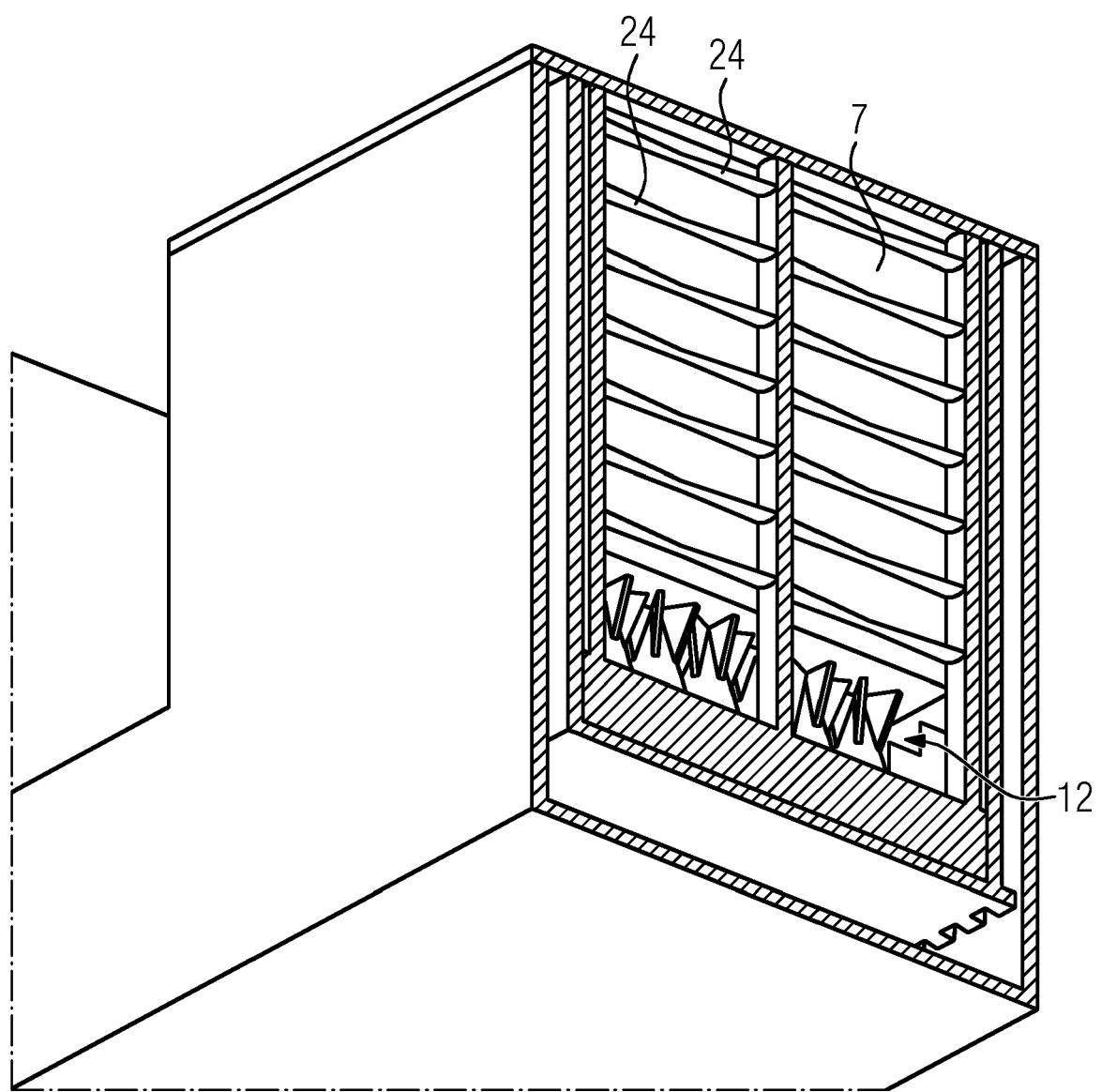


FIG 10





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 19 17 3294

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	X WO 2018/130367 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19. Juli 2018 (2018-07-19) Y * Seite 12, Zeile 25 - Seite 16; Abbildungen 1-5 *	1,2,4-19 3	INV. F28D15/02 F28D15/04
15	X US 2017/363373 A1 (CAI STEVE Q [US] ET AL) 21. Dezember 2017 (2017-12-21) Y * Abbildungen *	1,2,4-19 3	
20	X EP 3 346 220 A1 (BOEING CO [US]) 11. Juli 2018 (2018-07-11) * Abbildungen *	1,2,4-19	
25	X US 2018/120912 A1 (JENKINS KURT [US] ET AL) 3. Mai 2018 (2018-05-03) * Abbildung 5 *	1,2,4-19	
30	X US 2017/064868 A1 (RUSH BRIAN [US] ET AL) 2. März 2017 (2017-03-02) * Abbildungen *	1,2,4-19	
35	X US 2018/156545 A1 (DELANO ANDREW DOUGLAS [US] ET AL) 7. Juni 2018 (2018-06-07) * Abbildungen *	1,2,4-19	F28D
40			
45			
50	1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 30. Oktober 2019	Prüfer Mellado Ramirez, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 17 3294

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

30-10-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	WO 2018130367 A1	19-07-2018	CN 110192076 A DE 102017200524 A1 EP 3551955 A1 WO 2018130367 A1	30-08-2019 19-07-2018 16-10-2019 19-07-2018
20	US 2017363373 A1	21-12-2017	US 2017363373 A1 US 2019086162 A1	21-12-2017 21-03-2019
25	EP 3346220 A1	11-07-2018	CN 108278915 A EP 3346220 A1 JP 2018162962 A US 2018187979 A1	13-07-2018 11-07-2018 18-10-2018 05-07-2018
30	US 2018120912 A1	03-05-2018	CN 109891361 A EP 3507676 A1 US 2018120912 A1 US 2018321720 A1 WO 2018080851 A1	14-06-2019 10-07-2019 03-05-2018 08-11-2018 03-05-2018
35	US 2017064868 A1	02-03-2017	KEINE	
40	US 2018156545 A1	07-06-2018	US 2018156545 A1 WO 2018106501 A1	07-06-2018 14-06-2018
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82