

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
1. September 2016 (01.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/134974 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F23G 7/06 (2006.01) F23L 15/02 (2006.01)
B01D 53/74 (2006.01) F28D 17/02 (2006.01)
B01D 53/88 (2006.01) F28D 17/04 (2006.01)
F23G 7/07 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/052870

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Februar 2016 (11.02.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
62/121,336 26. Februar 2015 (26.02.2015) US

(71) Anmelder: DÜRR SYSTEMS GMBH [DE/DE]; Carl-
Benz-Str. 34, 74321 Bietigheim-Bissingen (DE).

(72) Erfinder: WIDHALM, Daniel; 17468 Lake View Circle,
Northville, Michigan 46168 (US).

(74) Anwalt: PRÜFER & PARTNER MBB
PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE NR. 321;
Sohnckestr. 12, 81479 München (DE).

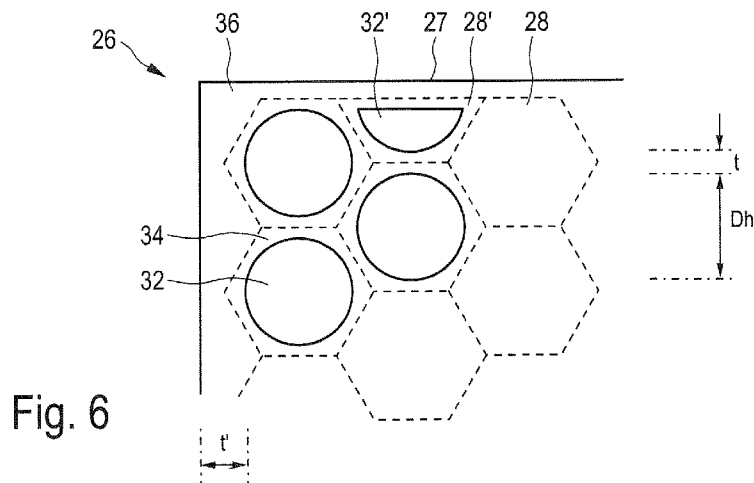
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MOLDED PARTS FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE OF A FLUID AND HEAT EXCHANGER
COMPOSED OF SAID MOLDED PARTS

(54) Bezeichnung : FORMKÖRPER ZUM TEMPERIEREN EINES FLUIDS UND MIT SOLCHEN FORMKÖRPERN
AUFGEBAUTER WÄRMETAUSCHER



(57) Abstract: A molded part for controlling the temperature of a fluid, which, for example, can be used to form a heated bed (24) of a regenerator (14), comprises a block (27) made of a heat-conducting material, defined by a base (X-Y) and a height extending perpendicular to the base, said block (27), when seen in the cross-section, having a plurality of cells (28) parallel to its base (X-Y), each of said cells (28) having a cross-sectional shape parallel to the base (X-Y) of the block in the form of a regular polygon. The block (27) further has a plurality of channels (30, 32, 38) extending substantially parallel to each other and to the direction of height (Z) of the block, each of the channels (30, 32, 38) being provided in a cell (28) in such a manner that an inner wall (34) is present between the channels (30, 32, 38) in adjacent cells (28).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/134974 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein Formkörper zum Temperieren eines Fluids, der zum Beispiel zum Bilden eines Wärmebetts (24) eines Regenerators (14) eingesetzt werden kann, weist einen Block (27) aus einem wärmeleitenden Material auf, der durch eine Grundfläche (X-Y) und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei der Block (27) im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche (X-Y) eine Vielzahl von Zellen (28) aufweist und diese Zellen (28) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks haben. In dem Block (27) ist ferner eine Vielzahl von Kanälen (30, 32, 38) ausgebildet, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung (Z) des Blocks verlaufen, wobei jeder der Kanäle (30, 32, 38) in einer Zelle (28) derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen (30, 32, 38) in benachbarten Zellen (28) eine Innenwand (34) vorhanden ist.

**Formkörper zum Temperieren eines Fluids
und mit solchen Formkörpern aufgebauter Wärmetauscher**

5 **TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Formkörper zum Temperieren eines Fluids und einen Wärmetauscher mit wenigstens einem Wärmebett, das wenigstens einen solchen Formkörper aufweist. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen Thermoreaktor, insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, der wenigstens einen solchen Wärmetauscher als Regenerator aufweist.

10

TECHNISCHER HINTERGRUND

Thermoreaktoren, insbesondere solche in Anlagen zur regenerativen thermischen Oxidation (RTO) von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, weisen typischerweise eine mit einem thermisch umzusetzenden Gasstrom beaufschlagte Brennkammer und wenigstens zwei Regeneratoren zum Beispiel unterhalb der Brennkammer auf. Bevorzugt wird dabei einer der Regeneratoren in einem bestimmten Betriebszustand des Thermoreaktors mit einem (ersten) Gasstrom beaufschlagt, welcher der Brennkammer zugeführt wird, während der andere Regenerator mit einem (zweiten) Gasstrom beaufschlagt wird, der aus der Brennkammer austritt. Üblicherweise erhält der erste Gasstrom aus dem durchströmten Regenerator eine gewisse Menge an Wärmeenergie, während der zweite Gasstrom seinerseits Wärmeenergie an den zugeordneten Regenerator abgibt. Zur Zwischenspeicherung von Wärmeenergie werden in Regeneratoren neben wärmespeichernden Schüttungen (z.B. Kugeln, Satteln, etc.) alternativ oder zusätzlich Wärmebetten mit zum Beispiel keramischen Formkörpern eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine vorhersagbare und homogene Druckdifferenz bei einer gewissen Durchströmung des jeweiligen Wärmebetts aus, da sich in den Kanälen der Formsteine in der Regel eine laminare Strömung des durch den Regenerator hindurch geleiteten Fluids (Gas oder Flüssigkeit) ausbildet.

15

20

25

30

Die thermische Effizienz und die Standzeit der Regeneratoren sind wichtige Parameter für die effiziente Nutzung solcher Regeneratoren. Die thermische Effizienz und die Standzeit werden dabei jedoch durch die Bildung von Ablagerungen innerhalb der Regeneratoren

mit nachfolgendem abschnittweisen Verstopfen einzelner Strömungskanäle oder ganzer Formsteine in den Wärmebetten beeinflusst (so genanntes "Verblocken"). Dieses "Verblocken" entsteht insbesondere durch Ausfällen von Feststoffen aus dem durchgeleiteten Fluid, wobei sich gewisse Feststoffe an den Kanalwänden absetzen und dort ansammeln. So kommt es beispielsweise bei der Reinigung von siloxanhaltigen Ablüften zum Ausfall von Si-Oxiden an den Kanalwänden.

Die Verblockung der Regeneratoren hat zur Folge, dass die Wärmebetten von betroffenen RTO-Anlagen in regelmäßigen Abständen von den Ablagerungen befreit bzw. die betroffenen Formkörper der Wärmebetten ausgetauscht werden müssen. Für diese Wartungsarbeiten muss die RTO-Anlage abgeschaltet und heruntergekühlt werden, bevor die Formkörper der Wärmebetten gereinigt bzw. ausgetauscht werden können. Bis die RTO-Anlage wieder betriebsbereit ist, vergehen typischerweise 2 bis 3 Arbeitstage. Während dieser Zeit kann der an die RTO-Anlage angeschlossene Produktionsbereich in der Regel nicht in vollem Umfang arbeiten, sodass die Standzeit, d.h. die Zeit bis zu einem Verblocken der Wärmebetten, eines Regenerators einer RTO-Anlage ein entscheidender Faktor für die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage sein kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen verbesserten Wärmetauscher zu schaffen, der die oben beschriebenen Nachteile im Stand der Technik vermeidet oder zumindest vermindert.

Es soll insbesondere ein Wärmetauscher mit einer guten thermischen Effizienz und einer guten Widerstandsfähigkeit gegen ein Verblocken seiner Strömungskanäle geschaffen werden.

Eine andere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Formkörper zum Temperieren einer Fluidströmung bereitzustellen, der ein günstiges Verhältnis erreicht zwischen einer möglichst geringen Masse des Formkörpers einerseits und einem größtmöglichen dynamischen Wärmeaufnahmevermögen andererseits.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Lehre der unabhängigen Ansprüche. Besonders bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

5 Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung weist ein Formkörper zum Temperieren eines Fluids einen Block aus einem wärmeleitenden Material, der durch eine Grundfläche und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, auf. Der Block weist im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche eine Vielzahl von Zellen auf, wobei diese Zellen jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines
10 regelmäßigen Vielecks haben. In dem Block ist ferner eine Vielzahl von Kanälen ausgebildet, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung des Blocks verlaufen, wobei jeder dieser Kanäle in einer Zelle derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen in benachbarten Zellen eine Innenwand vorhanden ist.

15 Die Querschnittsform der Zellen in Form regelmäßiger Vielecke hat den Vorteil, dass die Zellen mit geringem Abstand zueinander nebeneinander angeordnet werden können, um zum Beispiel ein Wärmebett eines Regenerators aufzubauen. Außerdem können die Kanäle in den Zellen bei dieser Querschnittsform der Zellen sicher voneinander getrennt werden.

20 Der Block des Formkörpers ist aus einem wärmeleitenden Material gebildet. Das wärmeleitende Material hat vorzugsweise eine thermische Leitfähigkeit von wenigstens etwa 1,5 W/mK, bevorzugt von wenigstens etwa 2,0 W/mK oder mehr. Außerdem hat das wärmeleitende Material vorzugsweise einen niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten
25 von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, bevorzugt von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ oder weniger (jeweils bei 800°C). Ferner hat das wärmeleitende Material vorzugsweise eine hohe spezifische Wärmekapazität von wenigstens etwa 500 J/kgK, bevorzugt von wenigstens etwa 800 J/kgK oder mehr. Darüber hinaus hat ein bevorzugtes wärmeleitendes Material eine Erweichungstemperatur von wenigstens etwa 1.000°C , bevorzugter von wenigstens etwa 1.200°C , noch bevorzugter von wenigstens etwa 1.400°C .
30 Das wärmeleitende Material für den Formkörper ist vorzugsweise ausgewählt aus Keramiken, Ziegel, Ton, Metallen, Edelmetallen, Kieselerde, Karbiden, Graphit oder dergleichen hochtemperaturstabilen Materialien. Besonders bevorzugt werden Keramiken mit einem Anteil von mehr als 50% an Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxid.

Unter einer Grundfläche des Blocks soll im Sinne der Erfindung insbesondere eine senkrecht zur Höhenrichtung des Blocks verlaufende Oberfläche des Blocks verstanden werden, aber auch eine ebene, zur Höhenrichtung des Blocks senkrechte Projektionsfläche einer Oberfläche des Blocks. Dabei kann diese Oberfläche des Blocks selbst
5 zumindest abschnitt- oder ausschnittsweise eben, gestuft und/oder gewölbt ausgebildet oder ausgeführt sein.

Die Querschnittsform der Zellen parallel zur Grundfläche des Blocks hat vorzugsweise die
10 Form eines Dreiecks, Quadrats, Pentagons, Hexagons oder Oktagons, wobei die hexagonale Querschnittsform besonders bevorzugt ist.

Der Block weist gemäß der Erfindung eine Vielzahl von Zellen mit einer Querschnittsform in der Form eines regelmäßigen Vielecks auf. Die Zellen sind bevorzugt Einheitszellen,
15 d.h. im Wesentlichen identisch ausgestaltete und dimensionierte Zellen. Darüber hinaus kann der Block – insbesondere je nach Grundflächenform des Blocks und Querschnittsform dieser Zellen – aber auch weitere Zellen mit anderen Querschnittsformen aufweisen. Solche Zellen mit anderen Querschnittsformen können bevorzugt im Randbereich des Blocks vorhanden sein. Es kann jedoch auch vorteilhaft sein, wenn die Zellen des Blocks
20 mindestens zwei Einheitszellen unterschiedlicher Ausgestaltung und/oder Dimensionierung aufweisen. Vorzugsweise sind die unterschiedlichen Zellen dabei jeweils in einer "Superzelle" in einem Zellmuster angeordnet, wobei der Block bevorzugt aus einer Mehrzahl solcher Superzellen gebildet werden kann. Unter einem Zellmuster soll dabei insbesondere eine sich wiederholende Anordnung von Zellen in einer Superzelle oder
25 einem Block verstanden werden.

Die Kanäle sind vorzugsweise im Wesentlichen mittig in den einzelnen Zellen positioniert.

Der Block des Formkörpers ist vorzugsweise einstückig ausgebildet. Entsprechend sind
30 die Zellen des Blocks nicht durch separate Bauteile gebildet, sondern innerhalb des Blocks als fiktive geometrische Formen definiert. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können die Zellen auch durch einzelne Zellenkörper ausgebildet sein, die zu dem Block zusammengefügt sind.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung haben die Kanäle jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines Kreises. Der kreisförmige Querschnitt der Kanäle ist im Hinblick auf die Wärmeübertragung zwischen dem durch die Kanäle hindurch geleiteten Fluid und dem Formkörper besonders effizient, sodass durch diese Ausgestaltung auch die thermische Effizienz eines Gesamtsystems (zum Beispiel eines entsprechend ausgerüsteten Thermoreaktors) verbessert werden kann.

In einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung haben die Kanäle jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks. Die Querschnittsform der Kanäle hat vorzugsweise die Form eines Dreiecks, Quadrats, Pentagons, Hexagons oder Oktagons, wobei die hexagonale Querschnittsform besonders bevorzugt ist. Vorzugsweise haben die Kanäle dabei jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines dem regelmäßigen Vieleck der Zellen entsprechenden Vielecks, sodass eine Wandstärke der Innenwände zwischen benachbarten Kanälen im Wesentlichen konstant ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt ein hydraulischer Durchmesser eines Kanals wenigstens etwa 2,30 mm und/oder höchstens etwa 5,00 mm. Bevorzugt ist der hydraulische Durchmesser der Kanäle ausgewählt aus den Werten 2,34 mm, 2,61 mm, 2,81 mm, 2,90 mm, 4,85 mm und 4,87 mm. Im Fall von Kanälen mit einer kreisförmigen Querschnittsform entspricht der hydraulische Durchmesser im Wesentlichen dem Kreisdurchmesser der Querschnittsform. Im Fall von anderen Kanalgeometrien entspricht der hydraulische Durchmesser im Wesentlichen dem Durchmesser eines innen an die Querschnittsform anliegenden Kreises (Inkreis-Durchmesser).

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine minimale Wandstärke einer Innenwand zwischen benachbarten Kanälen wenigstens etwa 0,20 mm und/oder höchstens etwa 1,00 mm. Bevorzugt ist die Wandstärke ausgestaltet in einem Wertebereich zwischen 0,25 mm und 0,89 mm. Besonders bevorzugte Einzelwerte für eine im Wesentlichen einheitliche Wandstärke aller Kanäle sind 0,23 mm, 0,25 mm, 0,48 mm, 0,56 mm und 0,81 mm. Es wurde herausgefunden, dass bei einer solchen (vorzugsweise einheitlichen) Festlegung der Wandstärke aller Kanäle bei einem erfindungsgemäßen Formkörper ein Optimum erreicht werden kann zwischen möglichst geringer

Masse des Blocks einerseits und größtmöglichem Wärmeaufnahmevermögen andererseits. Dies gilt besonders bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen
5 1 m/s und 6,5 m/s.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt ein Quotient aus einem hydraulischen Durchmesser eines Kanals zu einer minimalen Wandstärke der Innenwand zwischen benachbarten Kanälen höchstens etwa 6,0, bevorzugt höchstens
10 etwa 5,5. Im Speziellen liegt der genannte Quotient zwischen 4,1 und 5,9 bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen 1 m/s und 6,5 m/s. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 20 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Es wurde heraus-
15 gefunden, dass bei einer solchen (vorzugsweise einheitlichen) Festlegung des Verhältnisses zwischen hydraulischem Durchmesser der Kanäle und Wandstärke der Kanäle bei einem erfindungsgemäßen Formkörper ein Optimum erreicht werden kann zwischen möglichst geringer Masse des Blocks einerseits und größtmöglichem Wärme-
aufnahmevermögen andererseits.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche eines Kanals wenigstens etwa 50% und/oder höchstens etwa 65% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle. Auch eine solche Auslegung trägt zu einer Optimierung des Verhältnisses zwischen möglichst kleiner Masse des
20 Blocks und möglichst großem Wärmeaufnahmevermögen bei. Im Speziellen liegt der genannte Wert zwischen 51% und 63% bei Verwendung eines Materials mit einer thermischen Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8,0 W/mK und einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit einer die Kanäle passierenden gasförmigen Fluidströmung zwischen 1 m/s und 6,5 m/s. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei
25 zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine offene Querschnittsfläche eines Kanals wenigstens etwa 50% und/oder höchstens etwa 75% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist eine Nußelt-Zahl eines Kanals für eine laminare Strömung in Abhängigkeit von dem im jeweiligen Anwendungsfall durch den Kanal hindurch strömenden Fluid so gewählt, dass sie wenigstens etwa 3,5, bevorzugt wenigstens etwa 4,0, und/oder höchstens etwa 4,5 beträgt. Die Nußelt-Zahl ist dabei als dimensionslose Größe definiert als ein Produkt des hydraulischen Durchmessers mit dem Quotienten aus dem Wärmeübergangskoeffizienten zum Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung des Blocks aus einem keramischen Material mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung des Blocks aus einem Material zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Blocks, welches eine thermische Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK aufweist. Optional kann vorgesehen sein, dass ein entsprechend gestalteter Formkörper von einer gasförmigen Fluidströmung mit einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s passiert wird. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Kanäle begrenzenden Wände mit einer Schutzschicht zum Beispiel in Form einer Schutzschicht aus Nanopartikeln versehen. Zur Realisierung einer erfindungsgemäßen Schutzschicht werden insbesondere Partikel aus Siliziumoxid, Titandioxid, Aluminiumoxid, Eisenoxid, Zinkoxid, Siliziumcarbid, Eisencarbid, Wolframcarbid, Titanitrid, Bornitrid sowie Borcarbid vorgeschlagen, deren größte Ausdehnung jeweils kleiner sei als 100 nm. Eine derartige "Nano-Schutzschicht" erzeugt erfindungsgemäß eine im Nano-Maßstab raue Oberfläche an den Innenwandungen der Kanäle, so dass sich mikroskopisch kleine Wirbel an der Kanaloberfläche bilden. Ein Ablagern von (aus dem durch den Formkörper hindurch strömenden Fluid ausgefallten oder aus anderen Gründen im Fluid mitgeführten) Feststoffpartikeln wird so verhindert bzw. verlangsamt. Auf diese Weise kann einem "Verblocken" der Kanäle wirksam vorgebeugt werden. In bevorzugten Ausbildungen weist die Schutzschicht eine Oberflächenrauheit R_a von weniger als 25 μm , insbesondere weniger als 10 μm , besonders bevorzugt von weniger als 2,5 μm auf. Bevorzugt kann die Schutzschicht als eine hydrophobe Schicht ausgebildet sein. In anderen Anwendungen kann es jedoch auch vorteilhaft sein, die Schutzschicht hydrophil auszubilden.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist eine Strukturlänge der Querschnittsform eines Kanals auf etwa 3,5 mm, bevorzugt auf etwa 3,0 mm begrenzt. Als Strukturlänge der Querschnittsform eines Kanals wird bei einem n-eckigen Kanal eine Kantenlänge des relevanten n-Ecks verstanden. Es wurde herausgefunden, dass eine Neigung zur Bildung von Ablagerungen von bei Temperaturen zwischen 400°C und 1.100°C aus einer gasförmigen Fluidströmung ausgefallten Feststoffen ab einer "kritischen Strukturlänge" stark zunimmt. Konkret beträgt für einen Kanal mit hexagonaler Querschnittsform die kritische Strukturlänge in Bezug auf eine Ablagerung von Siliziumoxiden etwa 2,82 mm, wenn der Kanal mit einem siloxanhaltigen Abgas bei einer Geschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s durchströmt wird. Die Viskosität des Abgases kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Durch eine Begrenzung der Strukturlänge des Kanalquerschnitts kann allgemein ein Ablagern von (aus der Fluidströmung bei höheren Temperaturen ausgefallten oder aus anderen Gründen in der Fluidströmung mitgeführten) Feststoffen an einer Kanalwand reduziert werden. Für gasförmige Fluide mit einem Stickstoffanteil von mehr als 60 Vol.-% wird daher eine Begrenzung der Strukturlänge der Querschnittsform eines n-eckigen Kanals auf 3,5 mm vorgeschlagen.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Querschnittsform der Kanäle wenigstens einen konkaven (d.h. nach innen gewölbten) Abschnitt auf. Vorzugsweise weist die Querschnittsform der Kanäle alternierend mehrere konkave Abschnitte und mehrere konvexe Abschnitte auf. Diese spezielle Struktur der Querschnittsfläche der Kanäle kann vorzugsweise ein Ablagern von (aus dem durch den Formkörper hindurch strömenden Fluid ausgefallten oder aus anderen Gründen im Fluid mitgeführten) Feststoffpartikeln und damit ein Verblocken der Kanäle verhindern bzw. verlangsamen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Wärmetauscher wenigstens ein Wärmebett auf, das wenigstens einen oben beschriebenen Formkörper der Erfindung aufweist.

In einer Ausgestaltung weist ein erfindungsgemäßer Wärmetauscher wenigstens ein Wärmebett auf, das wenigstens einen Formkörper zum Temperieren eines Fluids aufweist, wobei der Formkörper einen Block aus einem wärmeleitenden Material aufweist, der durch eine Grundfläche und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe
5 definiert ist, wobei der Block im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche eine Vielzahl von Zellen aufweist, wobei die Zellen jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks haben, wobei in dem Block eine Vielzahl von Kanälen ausgebildet ist, die im Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung des Blocks verlaufen, und wobei jeder der Kanäle in einer Zelle derart
10 vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen in benachbarten Zellen eine Innenwand vorhanden ist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Wärmebett mehrere Formkörper auf, die parallel zur Grundfläche der Formkörper nebeneinander und bevorzugt
15 ohne Abstand zueinander angeordnet sind. Auf diese Weise lassen sich ein hindurch zu leitender Fluidstrom auf eine beliebig erweiterbare Anzahl von Formkörpern aufteilen und so der Volumenstrom pro Formkörper und die entsprechende Strömungsgeschwindigkeit einstellen. Als bevorzugte Strömungsgeschwindigkeit hat sich ein Wert zwischen 1 m/s und 6,5 m/s ergeben.

20 In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist der Wärmetauscher wenigstens zwei Wärmebetten auf, die in der Höhenrichtung der Formkörper übereinander angeordnet sind. Die Kanäle der übereinander angeordneten Formkörper sind vorzugsweise im Wesentlichen coaxial oder parallel zueinander ausgerichtet, haben
25 vorzugsweise gleiche Querschnittsformen und/oder haben vorzugsweise gleiche Abmessungen. Durch ein Übereinanderschichten von Wärmebetten kann die Wärmekapazität des Wärmetauschers eingestellt werden. Dabei hat sich herausgestellt, dass bei einer Anzahl von 5 bis 9 Schichten gleichartiger Wärmebetten eine Gesamthöhe des Wärmetauschers von 1,2 m bis 3,5 m und eine entsprechende gesamte
30 Länge an durchströmbaren Kanälen erreichbar ist. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung einer Vielzahl von Wärmetauscher-Blöcken aus einem keramischen Material mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden. Eine derartige Gestaltungswahl wird besonders bevorzugt bei gleichzeitiger Ausführung der Wärmetauscher-Blöcke aus einem Material zur Herstellung

eines erfindungsgemäßen Blocks, welches eine thermische Leitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK aufweist. Optional kann vorgesehen sein, dass ein entsprechend gestalteter Wärmetauscher von einer gasförmigen Fluidströmung mit einer (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s passiert wird. Die Viskosität der gasförmigen Fluidströmung kann dabei zwischen 15 μ Pa·s und 40 μ Pa·s liegen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine Höhe des Wärmebetts in der Höhenrichtung der Formkörper wenigstens etwa 20 cm, bevorzugt wenigstens etwa 25 cm, und/oder höchstens etwa 50 cm, bevorzugt höchstens etwa 40 cm.

In einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung beträgt eine Höhe des Wärmetauschers in der Höhenrichtung der Formkörper wenigstens etwa 100 cm, bevorzugt wenigstens etwa 150 cm, und/oder höchstens etwa 300 cm, bevorzugt höchstens etwa 200 cm.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Thermoreaktor eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator als ein oben beschriebener Wärmetauscher der Erfindung ausgestaltet ist. Der erfindungsgemäße Thermoreaktor ist insbesondere in Anlagen zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom in vorteilhafter Weise einsetzbar. Die Kanäle der Formkörper sind vorzugsweise zur Brennkammer hin offen, sodass das Fluid durch die Regeneratoren in die Brennkammer bzw. aus der Brennkammer strömen kann.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist ein Thermoreaktor, insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator wenigstens ein Wärmebett mit wenigstens einem Formkörper zum Temperieren eines Fluids aufweist, wobei der Formkörper einen Block aus einem wärmeleitenden Material aufweist, der durch eine Grundfläche und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei der Block im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche eine Vielzahl von Zellen aufweist, wobei die Zellen jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche des Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks haben, wobei in dem Block eine Vielzahl von Kanälen ausgebildet ist, die im Wesentlichen parallel zueinander und

zur Höhenrichtung des Blocks verlaufen, und wobei jeder der Kanäle in einer Zelle derart vorgesehen ist, dass zwischen den Kanälen in benachbarten Zellen eine Innenwand vorhanden ist.

- 5 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung weist ein Thermoreaktor eine Brennkammer und einen Regenerator auf, wobei der Regenerator einen oder mehrere erfindungsgemäße Formkörper enthält, die insbesondere zu einem Wärmebett zusammengesetzt sind und von einer insbesondere im Wesentlichen gasförmigen Fluidströmung durchströmt werden, wobei die Fluidströmung eines oder mehrere der folgenden Merkmale
- 10 aufweist:
- mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s,
 - Viskosität zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$
 - Temperatur zwischen 400°C und 1100°C
 - Stickstoffanteil größer als 60 Vol.-%.

15

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Obige sowie weitere relevante Merkmale der erfindungsgemäßen Lösungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung verschiedener konkreter Ausführungsbeispiele, für welche die oben genannten Ausführungen umgekehrt ebenfalls anzuwenden sind,

20 anhand der beiliegenden Zeichnung. Darin zeigen, größtenteils schematisch:

Fig. 1 eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer zweiten Ausführungsform;

25

Fig. 2A eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer Variante der zweiten Ausführungsform;

Fig. 2B eine Darstellung eines Thermoreaktors gemäß einer weiteren Variante der zweiten Ausführungsform;

30

Fig. 3 eine Draufsicht eines Wärmebetts für einen Thermoreaktor von Fig. 1 oder 2;

Fig. 4 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer ersten Ausführungsform;

Fig. 5 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 6 eine vergrößerte Teildraufsicht eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer dritten Ausführungsform;

Fig. 7 eine vergrößerte Draufsicht einer Zelle eines Formkörpers eines Wärmebetts von Fig. 3 gemäß einer vierten Ausführungsform; und

Fig. 8 eine Schnittansicht eines Regenerators mit mehreren Lagen von Wärmebetten für einen Thermoreaktor von Fig. 1 oder 2.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1 zeigt einen Thermoreaktor 10, der zum Beispiel in einer Anlage zur regenerativen thermischen Oxidation (RTO) eines brennbaren Stoffe, insbesondere flüchtige organische Bestandteile (VOC) enthaltenden Abluft- oder Abgasstroms eingesetzt werden kann, gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel.

Der Thermoreaktor 10 weist eine Brennkammer 12 und zwei unterhalb der Brennkammer 12 angeordnete Regeneratoren 14 auf. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist der Thermoreaktor 10 zwei Regeneratoren 14 auf, denen jeweils eine Vorkammer 16 zugeordnet ist. In anderen Ausführungsformen können aber auch drei, vier oder mehr Regeneratoren 14 vorgesehen sein. In die Brennkammer 12 ragt ein Brenner (nicht dargestellt), über den flüssiger oder gasförmiger Brennstoff und optional auch Verbrennungsluft in die Brennkammer 12 eingeleitet werden. Der Brenner dient zur Erzeugung einer Flamme in der Brennkammer, über die wiederum ein Zünden und Verbrennen der in dem zu reinigenden Rohgas enthaltenen Schadstoffe ermöglicht wird. Die Temperatur in der Brennkammer 12 kann im Betrieb – u.a. abhängig vom Energieinhalt der im Rohgas enthaltenen brennbaren Stoffe – bis zu etwa 1.250°C betragen.

Die Vorkammern 16 der Regeneratoren 14 sind jeweils mit einer Rohgaszuführung 18 und mit einer Reingasabführung 20 verbunden. Das über die Rohgaszuführung 18 in eine Vorkammer 16 eingeleitete Rohgas wird im jeweiligen Regenerator 14 erwärmt, bevor es in die Brennkammer 12 geleitet wird. Nach einer thermischen Umsetzung des Rohgases in der Brennkammer 12 entsteht heißes Reingas, welches im anderen Regenerator 14 abgekühlt wird, bevor es über die andere Vorkammer 16 und die Reingasabführung 20 in ein Abluftsystem abgeleitet wird. In einem modifizierten Ausführungsbeispiel kann der gekühlte Reingasstrom weiteren Wärem austausch- und/oder Reinigungsstufen zugeführt werden, bevor das Reingas in die Umgebung oder zur weiteren Verwendung entlassen wird.

In dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 werden der Thermoreaktor 10 und seine Regeneratoren 14 durch ein Umschalten der Regelventile 22a, 22b in der Rohgaszuführung 18 und der Reingasabführung 29 in gewissen vorgebbaren Zeitintervallen wechselweise in entgegengesetzten Strömungsrichtungen durchströmt. Zur genaueren Funktionsweise eines solchen Thermoreaktors wird an dieser Stelle beispielhaft auf die EP 1 312 861 B1 verwiesen.

Fig. 2 zeigt einen Thermoreaktor 10 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, der ebenfalls zum Beispiel in einer Anlage zur regenerativen thermischen Oxidation (RTO) eines brennbaren Stoffe enthaltenden Abluft- oder Abgasstroms eingesetzt werden kann.

Der Thermoreaktor 10 von Fig. 2 unterscheidet sich von dem Thermoreaktor 10 von Fig. 1 durch eine andere Art der Strömungsregelung. Wie in Fig. 2 dargestellt, sind die Rohgaszuführung 18 und die Reingasabführung 20 jeweils mit einem gemeinsamen Rotationsventil 23 verbunden, welches seinerseits mit den Vorkammern 16 beider Regeneratoren 14 verbunden ist. Durch eine Rotation des Rotationsventils 23 werden der Thermoreaktor 10 und seine Regeneratoren 14 auch in diesem Fall in gewissen vorgebbaren Zeitintervallen wechselweise in entgegengesetzten Strömungsrichtungen durchströmt.

Fig. 2A zeigt eine erfindungsgemäße Variante des Ausführungsbeispiels von Fig. 2. In diesem Ausführungsbeispiel weist der Thermoreaktor 10 eine gemeinsame Regenerator-konstruktion 14 auf, die strömungstechnisch in zwei Bereiche getrennt ist, so dass sich die gleiche Funktionsweise wie bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 ergibt.

Fig. 2B zeigt eine weitere erfindungsgemäße Variante des Ausführungsbeispiels von Fig. 2. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Thermoreaktor 10' mit seinen Regeneratoren 14 drehbar ausgestaltet und über ein gemeinsames Verteilerventil 23' mit der Rohgaszuführung 18 und der Reingasabführung 20 verbunden. Eine derartige Konfiguration ist insbesondere bei kleinen Thermoreaktoren 10' vorsehbar.

In weiteren Varianten der Erfindung können die Ausführungsformen von Fig. 2A und 2B auch mit dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 kombiniert werden.

Für Ausführungsformen mit einem rotierenden Thermoreaktor 10' werden für die Reingasströmung vorzugsweise eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,6 m/s und 2,5 m/s sowie eine brennerseitige Temperatur zwischen 700°C und 900°C sowie eine auslassseitige Temperatur zwischen 40° und 150°C eingestellt. Die Viskosität der Reingasströmung kann dabei zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 35 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen.

Für Ausführungsformen mit einem feststehenden bzw. unbeweglichen Thermoreaktor 10 werden für die Reingasströmung vorzugsweise eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s sowie eine brennerseitige Temperatur zwischen 800°C und 1.100°C sowie eine auslassseitige Temperatur zwischen 60° und 250°C eingestellt. Die Viskosität der Reingasströmung kann dabei zwischen 20 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ liegen. Die genannten Werte können besondere Bedeutung erlangen im Zusammenhang mit der nachfolgend beschriebenen Geometrie gewisser Formkörper.

Wie in Fig. 1 und 2 angedeutet, weisen die Regeneratoren 14 des Thermoreaktors 10 jeweils mehrere übereinander angeordnete Wärmebetten 24 auf. Diese Wärmebetten 24 sind jeweils aus einer Vielzahl von Formkörpern 26 zusammengesetzt, welche senkrecht zur Stapelrichtung der Wärmebetten (= Höhenrichtung Z der Wärmebetten und der Formkörper) im Wesentlichen ohne Abstand zueinander nebeneinander angeordnet sind, wie in Fig. 3 dargestellt. Vorzugsweise sind die Formkörper 26 eines Wärmebetts 24 im Wesentlichen identisch zueinander ausgestaltet und dimensioniert.

Der bevorzugte Aufbau der Formkörper 26 für die Wärmebetten 24 wird nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele Bezug nehmend auf Fig. 4 bis 7 in mehr Einzelheiten erläutert.

- 5 Der Formkörper 26 gemäß dem in Fig. 4 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel weist einen Block 27 aus einem keramischen Material auf. Vorzugsweise kann eine Hartkeramik mit einem Anteil von mehr als 50% Aluminium- und/oder Silizium-Oxiden verwendet werden. Bevorzugt werden außerdem Keramikwerkstoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen etwa 1,5 W/mK und 8 W/mK (bevorzugt z.B. etwa 2,1 W/mK), einem
10 niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von höchstens etwa $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (bevorzugt z.B. etwa $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bei 800°C, einer hohen spezifischen Wärmekapazität von wenigstens etwa 800 J/kgK (bevorzugt z.B. etwa 910 J/kgK) und einer hohen Erweichungstemperatur von wenigstens etwa 1.000°C für den Block 27 verwendet. Wahlweise können auch andere hochtemperaturstabile Materialien für den Block 27
15 verwendet werden.

- Der Block 27 hat zum Beispiel eine im Wesentlichen rechteckige oder quadratische Grundfläche parallel zur X-Y-Ebene. Wie in Fig. 4 veranschaulicht, ist der Block 27 parallel zu dieser Grundfläche X-Y in eine Vielzahl von Einheitszellen 28 unterteilt, die in
20 diesem Ausführungsbeispiel eine quadratische Querschnittsform haben. Die Einheitszellen 28 grenzen direkt aneinander.

- In jeder der Einheitszellen 28 ist ein Kanal 30, 32 ausgebildet. Die Kanäle 30, 32 erstrecken sich im Wesentlichen parallel zueinander und im Wesentlichen parallel zu
25 einer Höhenrichtung Z (senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 4) des Blocks 27. Die Kanäle haben vorzugsweise eine quadratische Querschnittsform (Kanäle 30) oder eine kreisförmige Querschnittsform (Kanäle 32) und sind jeweils im Wesentlichen mittig in den Zellen 28 angeordnet.

- 30 Wie in Fig. 4 erkennbar, ist zwischen den Kanälen 30, 32 benachbarter Zellen 28 jeweils eine Innenwand 34 vorhanden. Außerdem ist der Block 27 von einer Außenwand 36 umschlossen.

Die Kanäle 30, 32 definieren jeweils einen hydraulischen Durchmesser D_h , der bei den quadratischen Kanälen 30 einer Seitenlänge des Quadrats entspricht und bei den kreisförmigen Kanälen 32 einem Durchmesser des Kreises entspricht, und eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche A_h . Im Fall der kreisförmigen Kanäle 32 stimmt die

5 hydraulische Strömungsquerschnittsfläche A_h mit der offenen Strömungsquerschnittsfläche A_o überein, im Fall der quadratischen Kanäle 30 ist die hydraulische Strömungsquerschnittsfläche A_h kleiner als die offene Strömungsquerschnittsfläche A_o der Kanäle.

Die Innenwände 34 zwischen den Kanälen 30, 32 benachbarter Zellen 28 haben eine

10 minimale Wandstärke t . Die Wandstärke t' der Außenwand 36 ist größer bemessen als die minimale Wandstärke t der Innenwand.

Fig. 5 zeigt einen Formkörper 26 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel. Der Formkörper 26 des zweiten Ausführungsbeispiels unterscheidet sich von dem des ersten

15 Ausführungsbeispiels durch die Querschnittsformen der Einheitszellen 28 und der Kanäle 30.

Im zweiten Ausführungsbeispiel von Fig. 5 haben die Einheitszellen 28 eine hexagonale Querschnittsform. Ebenso haben die Kanäle 30 eine hexagonale Querschnittsform. Im

20 Randbereich des Formkörpers 26 können wahlweise auch Zellen 28' und Kanäle 30' mit anderen Querschnittsformen vorhanden sein.

Fig. 6 zeigt einen Formkörper 26 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel. Der Formkörper 26 von Fig. 6 unterscheidet sich von dem des zweiten Ausführungsbeispiels durch

25 die Querschnittsform der Kanäle 32.

Im dritten Ausführungsbeispiel von Fig. 6 haben die Einheitszellen 28 eine hexagonale Querschnittsform. Die Kanäle 32 haben hingegen eine kreisförmige Querschnittsform. Im

30 Randbereich des Formkörpers 26 können auch hier wahlweise Zellen 28' und Kanäle 32' mit abweichenden Querschnittsformen vorhanden sein.

Die nachfolgende Übersicht vergleicht einige Parameter der Formkörper 26 gemäß den verschiedenen Ausführungsbeispielen miteinander.

	Dh in mm	t in mm	DH / t	Ah	Ao
Q1	3,02	0,71	4,25	50,3%	64,0%
Q2	2,41	0,56	4,30	49,5%	63,0%
H1	4,85	0,89	5,45	60,8%	67,0%
H2	2,90	0,56	5,18	62,0%	68,3%
Y1	4,87	0,81	6,01	63,3%	63,35
Y2	2,81	0,48	5,85	62,6%	62,6%
Y3	2,34	0,56	4,18	56,0%	56,0%

Q1 und Q2 sind Formkörper 26 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel von Fig. 4 mit quadratischen Kanälen 30, H1 und H2 sind Formkörper 26 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel von Fig. 5, und Y1 und Y2 und Y3 sind Formkörper 26 gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel von Fig. 6, jeweils in unterschiedlichen Varianten (insbesondere hinsichtlich der Dimensionierung der Kanäle).

Aufgrund theoretischer Modellrechnungen und praktischer Versuche hat sich herausgestellt, dass eine kreisförmige Querschnittsform (Y1, Y2, Y3) für die thermische Effizienz des Formkörpers von Vorteil ist, und andererseits dünnen Innenwände und große hydraulische Durchmesser (Q2, H2, Y2, Y3) gegen ein Verblocken der Kanäle von Vorteil sind. Außerdem sind die Querschnittsflächen der Zellen 28 in Form regelmäßiger Vielecke (z.B. Quadrat, Hexagon) vorteilhaft für die kompakte und im Wesentlichen abstandslose Anordnung der Zellen 28.

Die dimensionslose Nußelt-Zahl Nu für eine laminare Strömung, die definiert als das Produkt des hydraulischen Durchmessers Dh mit dem Quotienten aus dem Wärmeübergangskoeffizienten k1 zum Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten k2, d.h. $Nu = Dh \cdot k1/k2$, beträgt für die Formkörper Q1 und Q2 mit Kanälen mit quadratischer Querschnittsform zum Beispiel etwa $Nu = 3,61$, für die Formkörper H1 und H2 mit Kanälen mit hexagonaler Querschnittsform zum Beispiel etwa $Nu = 4,00$, und für die Formkörper Y1, Y2 und Y3 mit Kanälen mit kreisförmiger Querschnittsform zum Beispiel etwa $Nu = 4,36$.

Fig. 7 zeigt eine Zelle 28 eines Formkörpers 26 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel. Der Formkörper 26 von Fig. 7 unterscheidet sich von dem der zweiten und dritten Ausführungsbeispiele durch die Querschnittsform der Kanäle.

Der Kanal 38 der Zelle 28 des Formkörpers 26 dieses Ausführungsbeispiels hat eine sternartige Querschnittsform. Die sternartige Querschnittsform zeichnet sich dadurch aus, dass abwechselnd mehrere konvexe (d.h. nach außen gewölbte) Abschnitte 38a und
5 mehrere konkave (d.h. nach innen gewölbte) Abschnitte 38b vorgesehen sind. Diese konvexen und konkaven Abschnitte 28a, 38b sind ausgehend von einer kreisförmigen Grundform 38' durch sinus- und/ oder kosinusförmige Schwingungen erzielbar. Die Anzahl N der Schwingungen beträgt vorzugsweise $N=6$ (wie im Beispiel von Fig. 7), kann aber zum Beispiel auch $N=8$ oder $N=12$ betragen. Die Abschnitte mit gleichbleibendem
10 Krümmungsvorzeichen (d.h. konvex, konkav oder geradlinig) des Kurvenzugs sind dabei vorzugsweise kleiner als etwa 2,85 mm. Neben der in Fig. 7 gezeigten Querschnittsform des Kanals 38 sind zahlreiche weitere Varianten denkbar, insbesondere mit sternartigen oder blütenartigen Querschnittsformen.

15 Bezug nehmend auf Fig. 8 wird nun der Aufbau eines Regenerators 14 mit mehreren Lagen a-g von Wärmebetten 24 näher beschrieben.

Der Regenerator 14 ist einem Reaktorgehäuse 40 des Thermoreaktors 10 unterhalb der Brennkammer 12 angeordnet. Die untere Basis des Regenerators 14 bildet ein Gitterrost
20 42 (z.B. aus Metall oder Edelmetall), auf dem optional ein Streckmetall oder Streckgitter 44 liegt.

Auf dem Gitterrost 42 und dem Streckmetall 44 sind die mehreren Lagen a-g von Wärmebetten 24 angeordnet. Jedes Wärmebett 24 ist aus einer Vielzahl von Formkörpern 26
25 zusammengesetzt. Die Wärmebetten 24 bzw. Formkörper 26 der Lagen a-f haben jeweils eine Höhe h von zum Beispiel etwa 30 cm, während das Wärmebett 24 bzw. die Formkörper 26 der optionalen obersten Lage eine Höhe h von zum Beispiel nur etwa 15 cm haben, sodass sich für den Regenerator 14 insgesamt eine Höhe H von etwa 195 cm in diesem Ausführungsbeispiel ergibt. Zwischen den Wärmebetten 24 und dem Reaktor-
30 gehäuse 40 ist optional zudem ein sogenannter Sattelkörper 46 aus wärmespeicherndem Schüttgut vorgesehen.

In diesem Ausführungsbeispiel ist das Wärmebett 24 der untersten Lage a zum Beispiel aus 23×29 Formkörpern 26 des obigen Typs H2 gebildet, sind die Wärmebetten 24 der

Lagen b-e zum Beispiel aus 23x29 Formkörpern 26 des obigen Typs Y2 gebildet, ist das Wärmebett 24 der Lage f zum Beispiel aus 21x27 Formkörpern 26 des obigen Typs Y2 gebildet, und ist das Wärmebett 24 der obersten Lage g zum Beispiel aus 21x27 Formkörpern 26 des obigen Typs H2 gebildet. In einem anderen Ausführungsbeispiel sind die

5 Formkörper 26 der Wärmebetten der äußeren Lagen a und g zum Beispiel vom obigen Typ H2 oder Y2 und sind die Wärmebetten der inneren Lagen b-f zum Beispiel vom obigen Typ Y2 in der sternförmigen Modifikation gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel von Fig. 7.

- 10 Selbstverständlich sind auch noch zahlreiche andere Ausführungsformen für die Lagen a-g der Wärmebetten 24, einschließlich anderer Anzahlen an Wärmebetten und anderer Anzahlen an Formkörpern je Wärmebett möglich. Typische Varianten von Regeneratoren 14 enthalten beispielhaft die folgenden Anzahlen an Formkörpern 26 in X- bzw. Y-Richtung und an Lagen von Wärmebetten 24:

Anzahl Formkörper		
X	Y	Lagen
8	13	5 - 7
10	13	5 - 7
14	13	5 - 7
16	13	5 - 7
15	16	5 - 7
17	16	5 - 7
15	23	5 - 7
19	23	5 - 7
22	23	5 - 7
29	23	5 - 7
29	26	5 - 7

15

BEZUGSZIFFERNLISTE

- 10 Thermoreaktor
 10' Thermoreaktor
 20 12 Brennkammer
 14 Regenerator

	16	Vorkammer
	18	Rohgaszuführung
	20	Reingasabführung
	22a	Regelventil
5	22b	Regelventil
	23	Rotationsventil
	23'	Verteilerventil
	24	Wärmebett
	26	Formkörper
10	27	Block
	28	Zelle, Einheitszelle
	28'	abgewandelte Zelle, Randzelle
	30	Kanal (polygonale Querschnittsform)
	32	Kanal (kreisförmige Querschnittsform)
15	34	Innenwand
	36	Außenwand
	38	Kanal (sternförmige Querschnittsform)
	38'	kreisförmige Grundform von 38
	38a	konvexer Abschnitt
20	38b	konkaver Abschnitt
	40	Reaktorgehäuse
	42	Gitterrost
	44	Streckmetall
	46	Sattelkörper
25		
	Ah	hydraulische Strömungsquerschnittsfläche
	Ao	offene Strömungsquerschnittsfläche
	Dh	hydraulischer Durchmesser
	h	Höhe von 24 bzw. 26
30	H	Höhe von 14
	t	minimale Wandstärke der Innenwand
	t'	Wandstärke der Außenwand
	X-Y	Grundfläche
	Z	Höhenrichtung

ANSPRÜCHE

1. Formkörper zum Temperieren eines Fluids, aufweisend:
einen Block (27) aus einem wärmeleitenden Material, der durch eine Grundfläche
(X-Y) und eine senkrecht zur Grundfläche verlaufende Höhe definiert ist, wobei
5 der Block (27) im Querschnitt parallel zu seiner Grundfläche (X-Y) eine Vielzahl von
Zellen (28) aufweist,
die Zellen (28) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks in Form eines regelmäßigen Vielecks haben,
10 in dem Block (27) eine Vielzahl von Kanälen (30, 32, 38) ausgebildet ist, die im
Wesentlichen parallel zueinander und zur Höhenrichtung (Z) des Blocks verlaufen,
und
jeder der Kanäle (30, 32, 38) in einer Zelle (28) derart vorgesehen ist, dass
zwischen den Kanälen (30, 32) in benachbarten Zellen (28) eine Innenwand (34)
15 vorhanden ist.
2. Formkörper nach Anspruch 1, bei welchem
die Kanäle (32) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks (27) in Form eines Kreises haben.
20
3. Formkörper nach Anspruch 1, bei welchem
die Kanäle (30) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks (27) in Form eines regelmäßigen Vielecks haben.
- 25 4. Formkörper nach Anspruch 3, bei welchem
die Kanäle (30) jeweils eine Querschnittsform parallel zur Grundfläche (X-Y) des
Blocks (27) in Form eines dem regelmäßigen Vieleck der Zellen (28) entsprechen-
den Vielecks haben, sodass eine Wandstärke der Innenwände (34) zwischen
benachbarten Kanälen (30) im Wesentlichen konstant ist.
30
5. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem
ein hydraulischer Durchmesser (D_h) eines Kanals (30, 32, 38) wenigstens etwa
2,30 mm oder höchstens etwa 5,00 mm beträgt, und bevorzugt ausgewählt ist aus
den Werten 2,34 mm, 2,61 mm, 2,81 mm, 2,90 mm, 4,85 mm und 4,87 mm.

6. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine minimale Wandstärke (t) der Innenwand (34) zwischen benachbarten Kanälen (30, 32, 38) wenigstens etwa 0,20 mm oder höchstens etwa 1,00 mm beträgt, und bevorzugt ausgewählt ist in einem Wertebereich zwischen 0,25 mm und 0,89 mm.
7. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein Quotient (D_h/t) aus einem hydraulischen Durchmesser (D_h) eines Kanals (30, 32, 38) zu einer minimalen Wandstärke (t) der Innenwand (34) zwischen benachbarten Kanälen (30, 32) höchstens etwa 6,0, bevorzugt höchstens etwa 5,5 beträgt.
8. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine hydraulische Strömungsquerschnittsfläche (A_h) eines Kanals (30, 32, 38) wenigstens etwa 50% oder höchstens etwa 65% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle (28) beträgt.
9. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine offene Querschnittsfläche (A_o) eines Kanals (30, 32, 38) wenigstens etwa 50% oder höchstens etwa 75% in Bezug auf eine Querschnittsfläche der Zelle (28) beträgt.
10. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine Nußelt-Zahl (Nu) eines Kanals (30, 32, 38) wenigstens etwa 3,5, bevorzugt wenigstens etwa 4,0, oder höchstens etwa 4,5 beträgt.
11. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die die Kanäle (30, 32, 38) begrenzenden Wände (34, 36) mit einer Schutzschicht versehen sind.
12. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine Strukturlänge der Querschnittsform des Kanals (30, 32, 38) auf etwa 3,5 mm, bevorzugt auf etwa 3,0 mm begrenzt ist.

13. Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Querschnittsform der Kanäle (38) wenigstens einen konkaven Abschnitt (38b) aufweist.
- 5
14. Wärmetauscher (14), aufweisend wenigstens ein Wärmebett (24), das wenigstens einen Formkörper (26) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 aufweist.
15. Wärmetauscher nach Anspruch 14, bei welchem
- 10 das Wärmebett (24) mehrere Formkörper (26) aufweist, die parallel zur Grundfläche (X-Y) der Formkörper nebeneinander, bevorzugt ohne Abstand zueinander, angeordnet sind.
16. Wärmetauscher nach Anspruch 14 oder 15, welcher
- 15 wenigstens zwei Wärmebetten (24) aufweist, die in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) übereinander angeordnet sind.
17. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 14 bis 16, bei welchem
- 20 eine Höhe (h) des Wärmebetts (24) in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) wenigstens etwa 20 cm, bevorzugt wenigstens etwa 25 cm, oder höchstens etwa 50 cm, bevorzugt höchstens etwa 40 cm beträgt.
18. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 14 bis 17, bei welchem
- 25 eine Höhe (H) des Wärmetauschers (14) in der Höhenrichtung (Z) der Formkörper (26) wenigstens etwa 100 cm, bevorzugt wenigstens etwa 150 cm, oder höchstens etwa 300 cm, bevorzugt höchstens etwa 200 cm beträgt.
19. Thermoreaktor (10), insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, aufweisend eine Brennkammer (12) und einen Regenerator (14), wobei der Regenerator (14) als ein
- 30 Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 14 bis 18 ausgestaltet ist.

20. Thermoreaktor (10), insbesondere zur regenerativen thermischen Oxidation von brennbaren Stoffen in einem Abluft- oder Abgasstrom, aufweisend eine Brennkammer (12) und einen Regenerator (14), wobei der Regenerator (14) einen oder mehrere Formkörper (26) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 enthält, die insbesondere zu einem Wärmebett (24) zusammengesetzt sind und von einer insbesondere im Wesentlichen gasförmigen Fluidströmung durchströmt werden, wobei die Fluidströmung eines oder mehrere der folgenden Merkmale aufweist:

- mittlere Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 6,5 m/s,
- Viskosität zwischen 15 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ und 40 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$,
- Temperatur zwischen 400°C und 1.100°C,
- Stickstoffanteil größer als 60 Vol.-%.

1/5

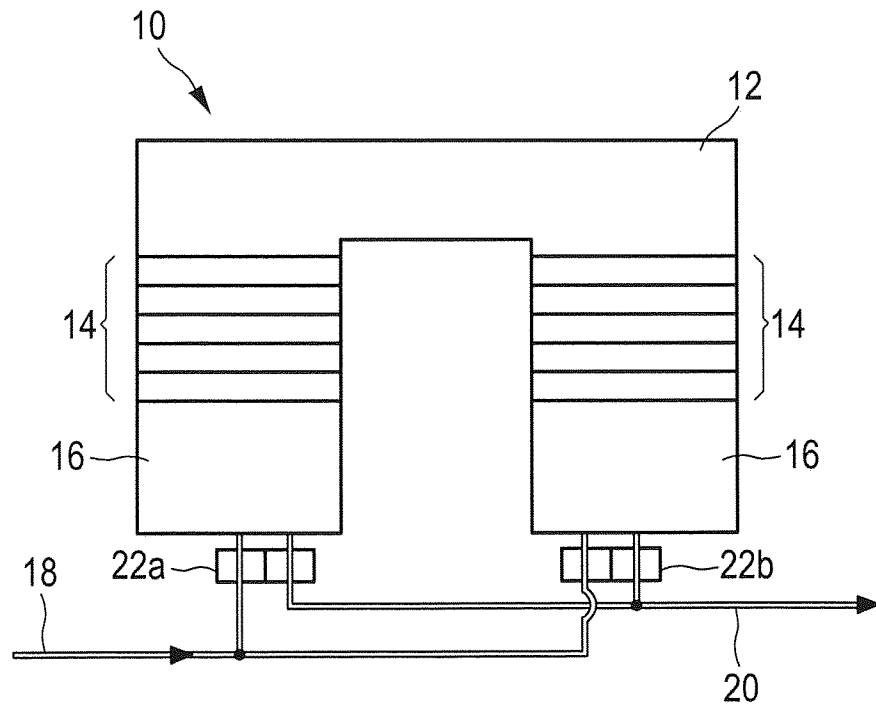


Fig. 1

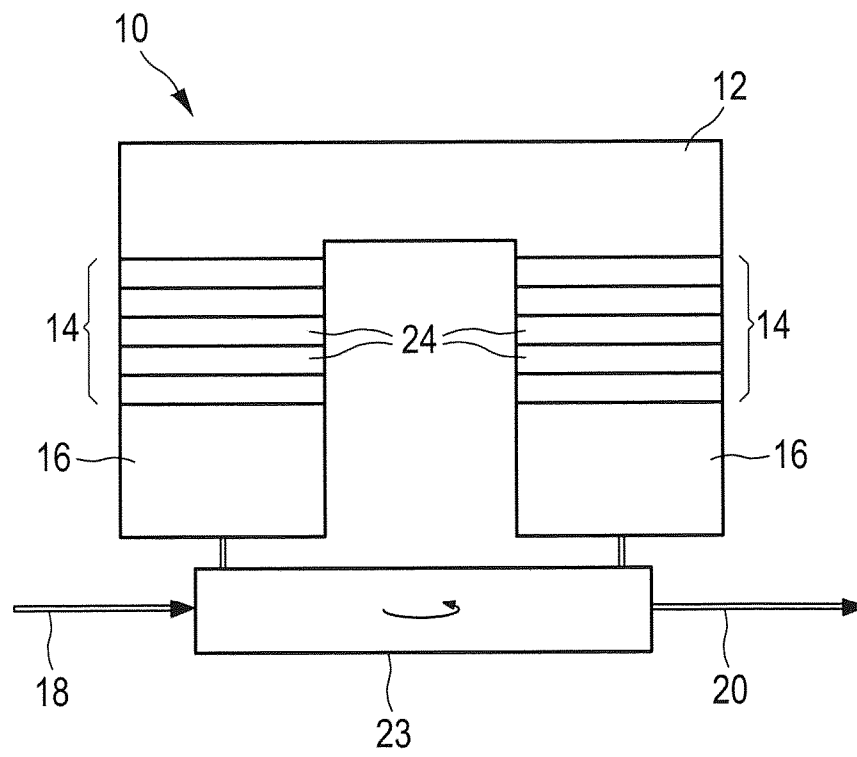


Fig. 2

2/5

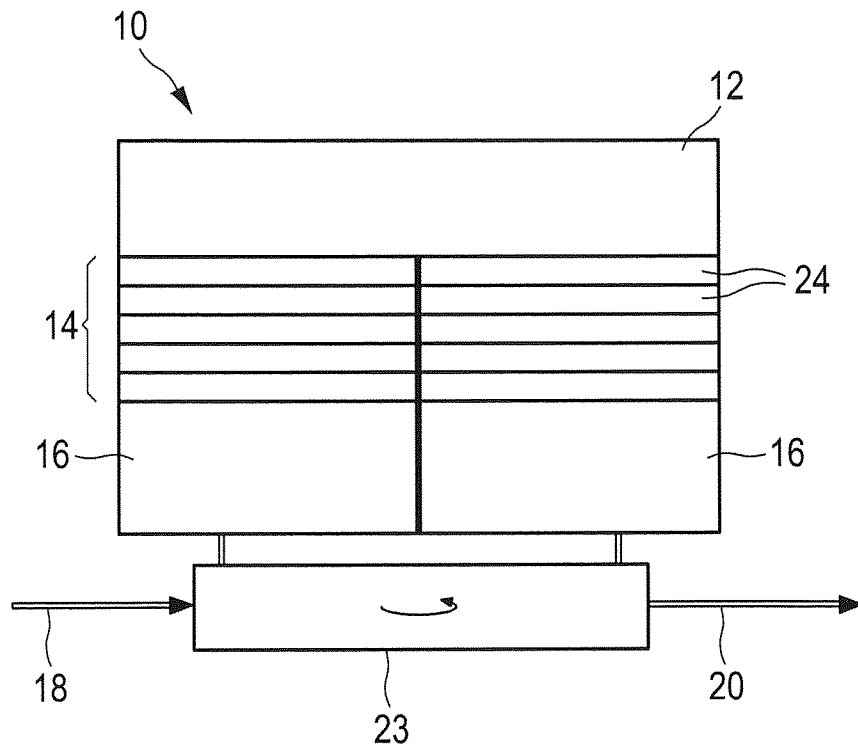


Fig. 2A

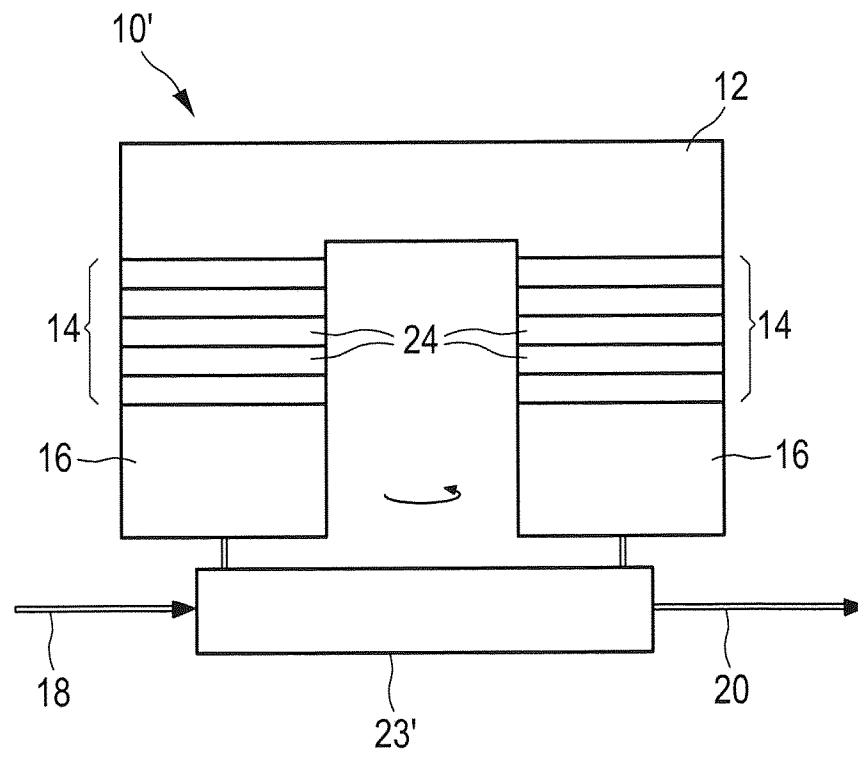


Fig. 2B

3/5

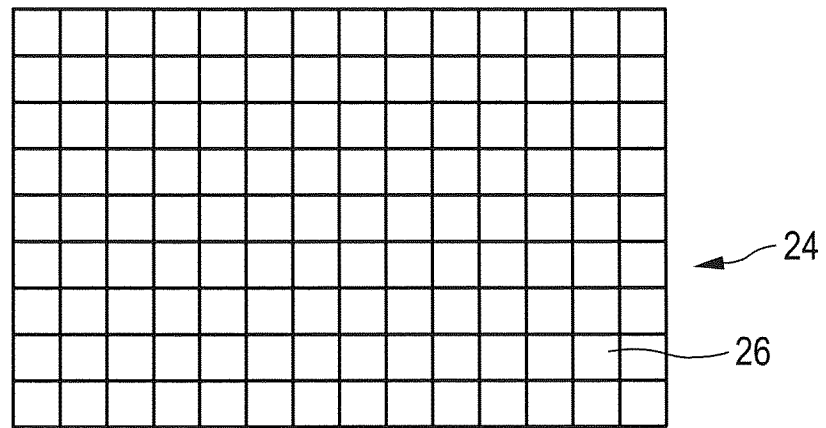


Fig. 3

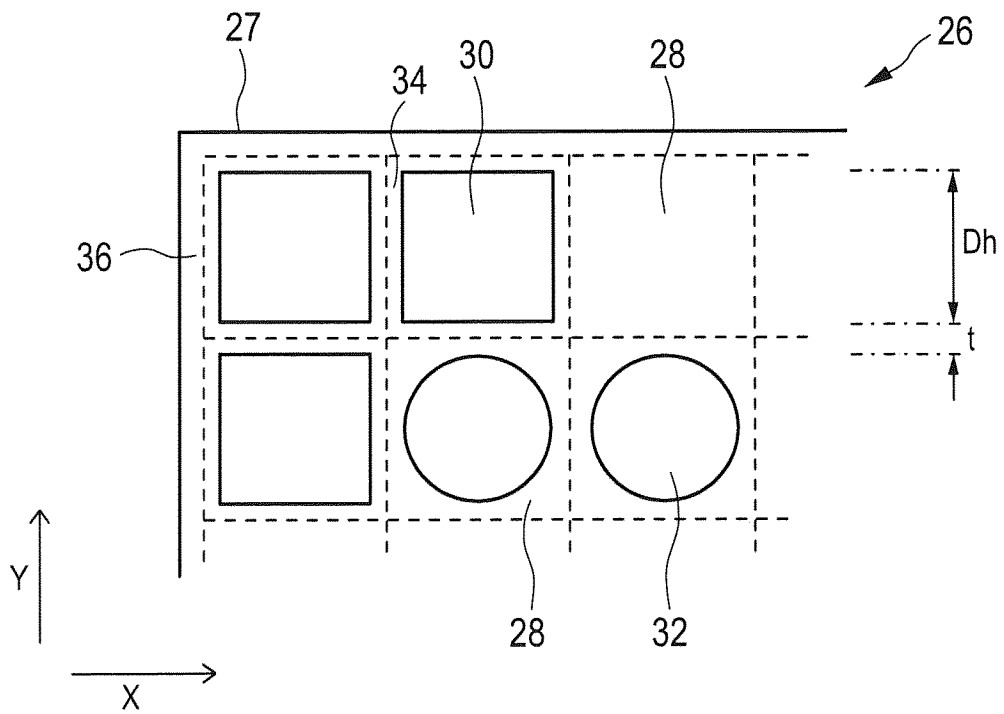


Fig. 4

4/5

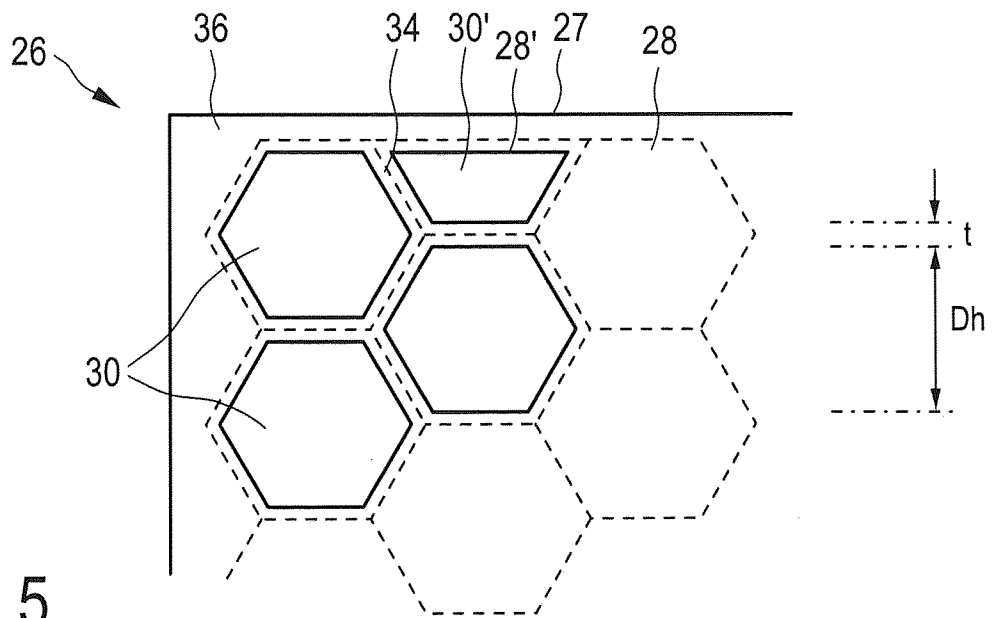


Fig. 5

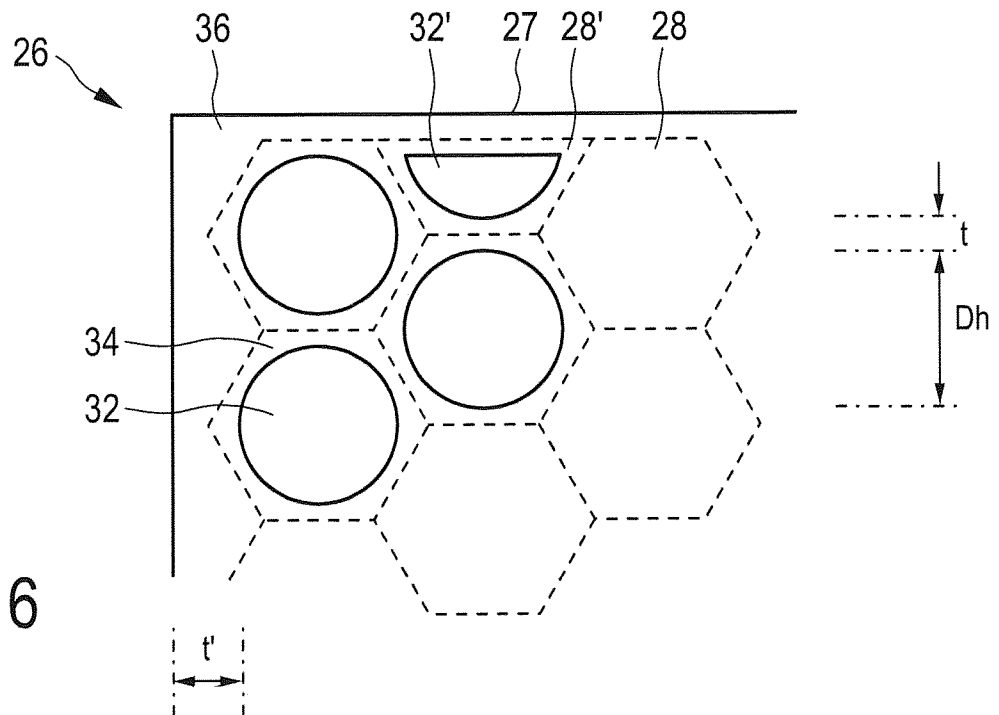


Fig. 6

5/5

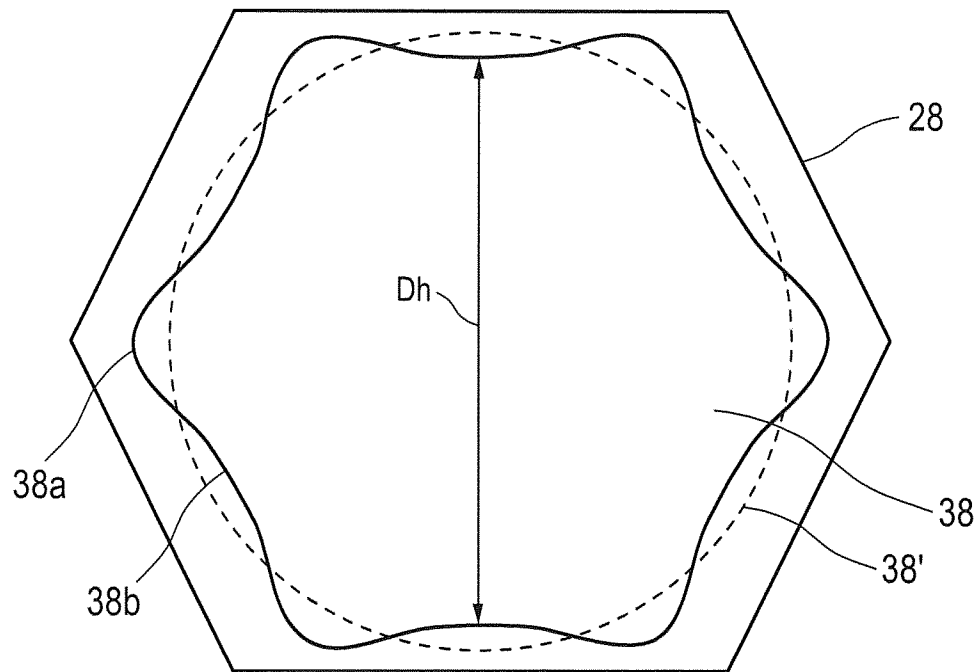


Fig. 7

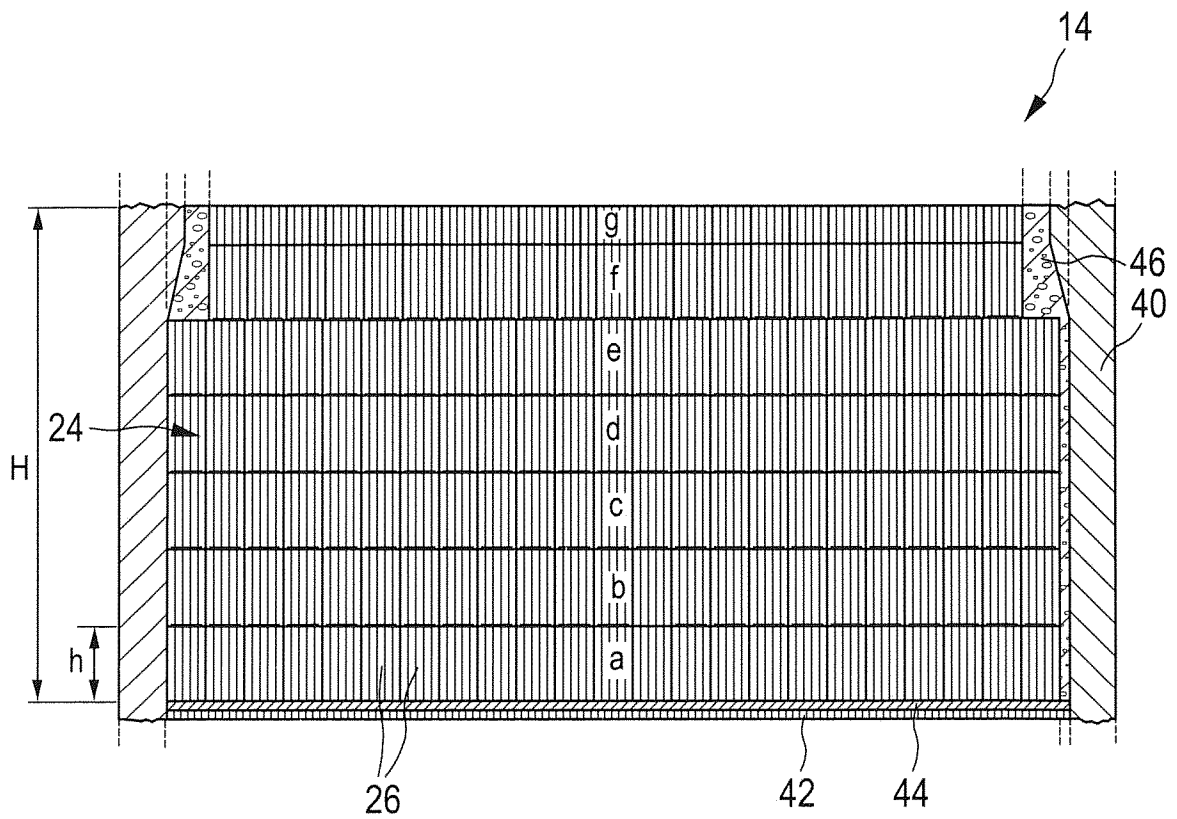


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/052870

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F23G7/06 B01D53/74 B01D53/88 F23G7/07 F23L15/02
F28D17/02 F28D17/04

ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F23G B01D F23L F28D

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 516 571 A (KAWAMOTO MASAO [JP]) 14 May 1996 (1996-05-14) column 4, line 36 - column 7, line 20 figures 1, 2	1,3-9, 12-14, 17-19
X	US 4 346 753 A (KLETCH STANLEY J) 31 August 1982 (1982-08-31) the whole document	1,3-9, 13-19
X	US 2008/128121 A1 (ZHOU HUIMIN [CN]) 5 June 2008 (2008-06-05) claims 1-7, 9; figures 1-4	1-9, 11-15,19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 April 2016

Date of mailing of the international search report

11/05/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Vogl, Paul

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/052870

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5516571	A	14-05-1996	NONE
US 4346753	A	31-08-1982	NONE
US 2008128121	A1	05-06-2008	CN 1696596 A 16-11-2005
		DE 112005003606 T5	30-04-2008
		JP 5145215 B2	13-02-2013
		JP 2008544201 A	04-12-2008
		KR 20080028914 A	02-04-2008
		US 2008128121 A1	05-06-2008
		WO 2006133608 A1	21-12-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/052870

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F23G7/06 B01D53/74 B01D53/88 F23G7/07 F23L15/02 F28D17/02 F28D17/04 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F23G B01D F23L F28D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 516 571 A (KAWAMOTO MASAO [JP]) 14. Mai 1996 (1996-05-14) Spalte 4, Zeile 36 - Spalte 7, Zeile 20 Abbildungen 1, 2	1,3-9, 12-14, 17-19
X	US 4 346 753 A (KLETCH STANLEY J) 31. August 1982 (1982-08-31) das ganze Dokument	1,3-9, 13-19
X	US 2008/128121 A1 (ZHOU HUIMIN [CN]) 5. Juni 2008 (2008-06-05) Ansprüche 1-7, 9; Abbildungen 1-4	1-9, 11-15,19
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 28. April 2016		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 11/05/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Vogl, Paul

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/052870

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5516571	A	14-05-1996	KEINE
US 4346753	A	31-08-1982	KEINE
US 2008128121	A1	05-06-2008	CN 1696596 A 16-11-2005
			DE 112005003606 T5 30-04-2008
			JP 5145215 B2 13-02-2013
			JP 2008544201 A 04-12-2008
			KR 20080028914 A 02-04-2008
			US 2008128121 A1 05-06-2008
			WO 2006133608 A1 21-12-2006