



EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.03.2022 Patentblatt 2022/13

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F28D 21/00^(2006.01) F28F 7/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20198087.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F28D 21/0001; F28F 7/02; F28F 2255/18;
F28F 2255/20**

(22) Anmeldetag: **24.09.2020**

(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

(72) Erfinder:
• **MOLDOVAN, Dan-Adrian**
45881 Gelsenkirchen (DE)
• **FELLER, Bernd-Henning**
45881 Gelsenkirchen (DE)
• **TE KAAT, Jens**
45881 Gelsenkirchen (DE)

(71) Anmelder: **Kueppers Solutions GmbH**
45881 Gelsenkirchen (DE)

(74) Vertreter: **Meinke, Jochen**
Patent- und Rechtsanwälte
Meinke, Dabringhaus und Partner
Rosa-Luxemburg-Strasse 18
44141 Dortmund (DE)

(54) **REKUPERATOR FÜR GASFÖRMIGE ODER FLÜSSIGE MEDIEN**

(57) Die Erfindung betrifft einen Rekuperator für gasförmige oder flüssige Medien mit dreifach periodischen Minimaloberflächen und einem Rekuperatormantel sowie ein Verfahren zur Herstellung von Segmenten mit

dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS = triply periodic minimal surface), wobei allseitige Öffnungen zur Reinigung und/oder Kondensatableitung vorgesehen sind.

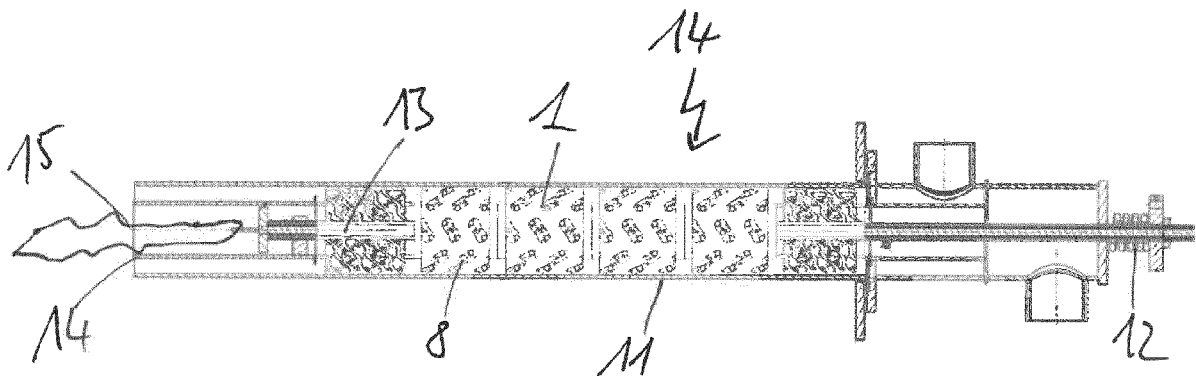


Fig. 5

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Rekuperator für gasförmige oder flüssige Medien mit dreifach periodischen Minimaloberflächen und einem Rekuperatormantel sowie ein Verfahren zur Herstellung von Segmenten mit dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS = triply periodic minimal surface).

[0002] Der 3D-Druck bietet die Möglichkeit, komplexe Geometrien, wie z. B. eine TPMS, in einen Rekuperator zu integrieren. Eine TPMS ist eine Fläche im Raum, die lokal minimalen Flächeninhalt hat. Derartige Formen nehmen beispielsweise Seifenhäute an, wenn sie über einen entsprechenden Rahmen (wie etwa einen Blasring) gespannt sind. Da TPMS-Strukturen zweikanalig sind, eignen sie sich zur Verwendung in Rekuperatoren.

[0003] Gattungsgemäße Rekuperatoren werden insbesondere zum Einbau in oder zur Verwendung mit Industriebrennern benötigt. Mit diesen soll so viel Wärme wie möglich zwischen dem ausströmenden heißen und dem einströmenden kalten Medium auf möglichst kleinem Bauraum bei möglichst geringen Druckverlusten übertragen werden. Neben Luft bzw. Abgas können grundsätzlich auch andere gasförmige oder flüssige Medien Gegenstand des Rekuperators sein.

[0004] Das Erreichen hoher (Luft-)Vorwärmtemperaturen wird grundsätzlich durch die Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe und die gezielte Beeinflussung der Strömung innerhalb eines Rekuperators erreicht. Grundsätzlich gibt es hierbei zwei verschiedene Varianten. Bei direkten Rekuperatoren befindet sich der Rekuperator innerhalb der Brenneinheit. In diesen Rekuperatoren strömt das wärmeabgebende Medium aus dem Brennraum auf dem gleichen Weg, jedoch in umgekehrter Richtung zum wärmeaufnehmenden Medium, durch den Rekuperator. Bei sogenannten "Zentralrekuperatoren" wird das Abgas bzw. der Oxidator durch einen Rekuperator geführt, der sich nicht in der Brenneinheit befindet. Diese Ausführungsform bietet den Vorteil hoher realisierbarer Wärmeübertragungsflächen, weist jedoch den Nachteil langer Transportwege und Leitungsverluste sowie ein hohes Bauvolumen auf. Zum anderen sind im Stand der Technik Rekuperatoren bekannt, die in die Brenneinheit integriert sind. Sie sind in ihrer Bauform kompakter, wärmen die Verbrennungsluft kontinuierlich auf und weisen keine Transportverluste auf.

[0005] Der den Rekuperator umgebende Rekuperatormantel stellt die äußere Dichtungsebene für das Abgas dar. Der Rekuperatormantel kann entweder zur Brenneinheit gehören, oder aber durch ein die Brenneinheit umschließendes Bauteil gebildet werden. In der Praxis werden Rekuperatoren z. B. in Brennersteine eingebaut, die eine innen liegende zylindrische Ausnehmung haben. In diese Ausnehmung wird dann der Rekuperator hineingeschoben, und der Brennerstein wird zum Rekuperatormantel. Auch werden Brenner dieser Bauart häufig in Strahlrohre eingebaut. Hierbei bildet dann der Teil des Stahlrohres, in das der Rekuperator

eingeschoben wird, den Rekuperatormantel.

[0006] Die Leistung eines Rekuperators ist unter anderen auch abhängig von seiner Geometrie und Oberfläche. Auf beide Faktoren kann in verschiedener Weise Einfluss genommen werden. So können durch additive Fertigung Wärmetauscherstrukturen erzeugt werden, die mit konventionellen Produktionsverfahren nicht herstellbar sind. Aufgrund der hohen Produktionsgenauigkeit der additiven Fertigung von 20 - 30 µm können auch sehr kompakte Strukturen mit großen Oberflächen realisiert werden, die einen deutlich verbesserten Wärmeübergang und somit eine optimierte Nutzung der Abgaswärme ermöglichen.

[0007] Es können nicht nur auf engem Raum große Flächen für den Wärmeübergang erzeugt werden, vielmehr bietet der 3D-Druck auch weitere Vorteile. Hierzu zählt etwa die Aufteilung in Teilströme zweier in umgekehrter Richtung strömender Hauptströme, sowohl der Eingang- als auch der Ausgangshauptstrom, können auf möglichst kleinem Bauraum sowohl mit gleichzeitig geringem Druckverlust in eine Vielzahl kleiner Teilströme aufgeteilt werden. Diese werden nach dem Durchgang durch den Rekuperator jeweils wieder zu einem Hauptstrom zusammengeführt. Gerade für solche komplexe Kanalsysteme ist die additive Fertigung besonders gut geeignet. Allerdings unterliegen TPMS-Strukturen auch besonderen Problemen. Beispielsweise verschmutzen diese sehr leicht oder setzen sich mit Flüssigkeiten zu.

[0008] Aus diesem Grunde schlägt die Erfindung zunächst vor, einen Rekuperator für gasförmige oder flüssige Medien mit dreifach periodischen Minimaloberflächen mit allseitigen Öffnungen zu versehen. Durch diese Öffnungen können schon bei der Herstellung Produktionsrückstände oder -überschüsse als auch im Einsatz anfallende Verschmutzungen entweder mechanisch oder z.B. auch durch eine Ultraschallbehandlung herausgespült und einer Reinigung unterzogen werden, ebenso ist durch diese auch eine Kondensatableitung möglich. Dabei können sowohl beide Kanäle als auch nur einer der beiden Kanäle mit allseitigen Öffnungen versehen sein. Bei einem eng anliegenden Rekuperatormantel ist es denkbar, in beiden Kanälen umlaufende Öffnungen vorzusehen und diese über den Rekuperatormantel abzudichten. Genauso ist es aber auch möglich, umlaufend nur einen Kanal, und zwar den Abgaskanal, mit erfindungsgemäßen Öffnungen zu versehen.

[0009] In vorteilhafter Ausgestaltung weisen die jeweiligen Segmente Reinigungsöffnungen auf. Durch diese können die entsprechenden dreifach periodischen Minimaloberflächen innerhalb der Patronen leicht und kostengünstig gereinigt werden. Erfahrungsgemäß ist eine derartige Reinigung in regelmäßigen Abständen erforderlich und führt bei herkömmlichen, einheitlichen Rekuperatoren zu langen Stillstandszeiten. Durch die erfindungsgemäße Ausführung des Rekuperators mit Segmenten ist es möglich, jeweils einzelne Segmente zu entnehmen und diese Patronen gegen eine Ersatzpatrone auszutauschen, während die erste Patrone gereinigt

wird. Damit können die erfindungsgemäßen Rekuperatoren ohne größere Stillstandszeiten kontinuierlich betrieben werden, indem stets nur einzelne Segmente entnommen und gereinigt bzw. gewartet oder in besonderen Fällen auch gänzlich ausgetauscht werden.

[0010] Die innere Reinigung der Patronen kann beispielsweise mittels einer einfachen Rund- oder Flaschenbürste erfolgen, die durch die entsprechende Reinigungsöffnung, d.h. einen Durchbruch der Außenwand der Patrone, eingeführt wird. Als mögliche Alternative kommt z.B. ein Ultraschallbad in Betracht. Eine stete Reinigung hat sich in der Praxis als erforderlich herausgestellt, da die feinen Strukturen der dreifach periodischen Minimaloberflächen dazu neigen, sich zuzusetzen und leicht zu verschmutzen, so dass der Rekuperator dann in seiner Leistung versagt.

[0011] Die 3D-Fertigung stößt bei größeren Rekuperatoren zuweilen aber auch an technische und finanzielle sowie räumliche Grenzen. Außerdem kann es für unterschiedliche Einsatzgebiete und -situationen gewünscht sein, einen Rekuperator variieren zu können.

[0012] In Ausgestaltung wird daher ein Rekuperator für gasförmige oder flüssige Medien mit dreifach periodischen Minimaloberflächen und einem mit allseitigen Öffnungen versehenen Rekuperator in Segmenten hergestellt und aus diesen zusammengesetzt. Hiermit kann in besonders geeigneter Weise auf die Leistung des Rekuperators durch Veränderung der Geometrien und Flächen Einfluss genommen werden.

[0013] Zur Leistungsvariation kann durch ein Baukastensystem über eine Anzahl standardisierter Segmente leicht die erforderliche Anpassung und Variation erzielt werden. Durch die Ausführung der Segmentstrukturen mit dreifach periodischer Minimaloberfläche (TPMS) können die beiden Kanäle sowohl kongruent als auch unterschiedlich konstruiert werden. Zusätzlich ergibt sich durch die Wahl einer solchen TPMS-Struktur eine turbulente und permanent umgelenkte Strömung, die die Wärmeübertragung innerhalb des Rekuperators weiter verbessert. Ein segmentweiser Aufbau in Form austauschbarer Patronen eröffnet in vorteilhafter Art und Weise die Möglichkeit, jeden Rekuperator auf die jeweilige Einbau- und Einsatzsituation und veränderte Bedingungen gezielt anzupassen.

[0014] Werden die einzelnen Segmente durch standardisierte Patronen gebildet, so kann über deren Anzahl und Anordnung jede beliebige Rekuperatorleistung definiert und realisiert werden. Die standardisierten Patronen können als Gleichteile in großen Stückzahlen preiswert hergestellt werden, z.B. über das neue 3D-Druckverfahren "Binder-Jetting".

[0015] Durch den segmentweisen Aufbau ist jede Patrone leichter an die Verhältnisse genau an jeder Stelle des Rekuperators anzupassen.

[0016] Die Reinigungsöffnungen sind auch für den Produktionsprozess des Binder-Jettings von großem Vorteil: Zunächst wird ein sogenannter "Grünling" in einem Pulverbett hergestellt. Dieser Grünling wird dann

vor dem darauffolgenden Sinterprozess vom innenliegenden Pulver befreit. Durch die Öffnungen kann das Pulver aus dem Inneren des Rekuperator-Grünlings vor dem Sintern leicht und von allen Seiten zugänglich entfernt werden.

[0017] Gleichzeitig können die Reinigungsöffnungen nach dem Sintern zur Kondensatableitung geeignet sein. Dies ist bei dem erfindungsgemäßen Rekuperator auch von besonderer Bedeutung, damit mit diesem auch die Rückgewinnung von überschüssiger Energie aus dem Abgas nach Art der Brennwertechnik möglich ist, da bei der Energiegewinnung aus dem Wasserdampf stets Kondensat anfällt.

[0018] Die Erfindung sieht weiter vor, dass die Segmente nur über eine Dichtungsebene gegeneinander abgedichtet sind, während eine zweite Dichtungsebene über den die Segmente umschließenden Rekuperatormantel gebildet ist. Dadurch wird der Aufwand beim Aufbau von größeren Strukturen erheblich reduziert, es ist nur ein Gehäuse als zweite Dichtungsebene notwendig. Die notwendige mechanische Bearbeitung wird auf ein Minimum reduziert. Dies erspart zusätzliche Dichtungen und erhöht die Dichtigkeit.

[0019] Die Dichtungsebenen der einzelnen Segmente können über Federkraft gegeneinander verspannt sein. Dabei kann sich die Feder vorteilhaft außerhalb des Rekuperators befinden, um sie auch vor Hitzeeinflüssen zu schützen. Die Segmente können auch über Stangen, Stäbe oder die Gaslanze zueinander positioniert und miteinander verspannt sein. Durch die Verwendung der Gaslanze kann auf zusätzliche Bauteile verzichtet werden. Auch können Stangen, Stäbe oder die Gaslanze über einen Bypass mit kalter Verbrennungsluft kühlbar sein, um sie zu schützen.

[0020] Die Einzelsegmente im Verbund können auch als Kreuzstromrekuperator ausgelegt sein. Das hat den Vorteil, dass sich eine homogenere Temperaturverteilung über mehrere, aneinander gereihete Segmente einstellt.

[0021] In vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass ausgewählte Segmente so ausgebildet sind, dass die Abgastemperatur bei einer Erdgasverbrennung unter 59° C fällt und das Abgas kondensiert. Dadurch kann auch aus dem Wasserdampf Energie gewonnen werden. Dieser Effekt ist bei einer Wasserstoffverbrennung noch stärker ausgeprägt, da das Abgas einer Wasserstoffverbrennung eine um 60 % größere Wasserfracht hat als die vergleichbare Erdgasverbrennung.

[0022] Die dreifach periodischen Minimaloberflächen sind strömungstechnisch möglichst optimiert, z.B. als Gyroid, Doppel-Gyroid, Schwarz-P, Diamond, als Gyroid mit rechteckig angeordneter Zellstruktur, zylindrisch angeordneter Zellstruktur oder sphärisch angeordneter Zellstruktur. Die Auswahl und Kombination kann danach optimiert sein, dass beim Durchfluss des gasförmigen oder flüssigen Mediums möglichst starke Turbulenzen oder möglichst geringe Druckverluste in jedem Segment entstehen. Es kann auch eine Optimierung dahingehend

erfolgen, dass eine möglichst große Leistung bei möglichst kleinem Bauraum übertragbar ist.

[0023] Segmente mit unterschiedlichen Vorteilen können auch hintereinander gestaffelt sein, in der Weise, dass auf eine gröbere Steigung und größere Zellgrößen und Segmente feinere Steigungen und/oder Zellgrößen folgen. Das hat den Vorteil, dass der Druckverlust innerhalb des Rekuperators positiv beeinflusst werden kann. Je heißer der jeweilige Bereich im Rekuperator ist, desto größer wird die Zellgröße dort gewählt. Gasförmige Medien dehnen sich temperaturabhängig deutlich aus, so dass die Strömungsgeschwindigkeiten in dem heißen Bereich deutlich größer sind als in kälteren Bereichen. Dem aus den größeren Strömungsgeschwindigkeiten resultierenden Druckverlusten kann durch größere Zellen entgegengewirkt werden.

[0024] Die Zellgrößen können innerhalb der einzelnen Segmente über ein parametrisierbares CAD-Modell abgebildet werden. Der Vorteil hieran ist, dass eine Vielzahl an Varianten in kürzester Zeit erstellt werden können. Da im 3D-Druck keine Vorrichtungskosten anfallen, kann so ohne Mehrkosten ein Rekuperator konfiguriert werden, der kundenspezifisch genau an die jeweils vorliegenden Anforderungen angepasst wird.

[0025] Die Parameter können derart gewählt werden, dass möglichst geringe Druckverluste in jedem Segment entstehen. Ebenso können Aufbau und Anwendung der Segmente so gewählt werden, dass das Abgas in einem zuvor genau definierten Bereich kondensiert und von dort gezielt ableitbar ist. Der Vorteil ist, dass die anderen Bereiche des Rekuperators so frei von Kondenswasser bleiben.

[0026] Auch ist es möglich, die Segmente derart zu konstruieren und zusammen zu setzen, dass die Abgastemperatur innerhalb ausgewählter Segmente unter 59° C fällt und indem Abgas kondensiert und ableitbar ist, was den Vorteil bietet, dass die bei der Kondensation des Wassers freiwerdenden Kondensationswärme zur Effizienzsteigerung des Rekuperators genutzt wird. Da üblicherweise die energetische Betrachtung einer Anlage auf den Heizwert bezogen wird, ist es bei der Nutzung der Kondensationswärme möglich, Wirkungsgrade von größer als 100% zu erreichen. Dies resultiert aus der Definition von Heizwert und Brennwert eines Brennstoffs, da der Brennwert um die Kondensationsenthalpie des im Abgas enthaltenen Wassers größer ist. Vor allem in Hinblick auf wasserstoffhaltige Brennstoffe können somit deutlich höhere Wirkungsgrade erreicht werden.

[0027] Die Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Diese zeigt in

- Fig. 1 das Innere eines Elements mit dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS) in Form eines Gyroiden,
 Fig. 2 a - c verschiedene Zellgrößen eines Gyroiden gem. Fig. 1,
 Fig. 3 a ein einzelnes Rekuperatorsegment in perspektivischer Ansicht,

- Fig. 3 b ein einzelnes Rekuperatorsegment in Seitenansicht,
 Fig. 3 c ein einzelnes Rekuperatorsegment in Aufsicht,
 5 Fig. 4 eine Aneinanderreihung mehrerer Rekuperatorsegmente,
 Fig. 5 einen zusammengesetzten Rekuperatorbrenner,
 Fig. 6 eine schematische Ansicht zweier Baukastensysteme für größere Rekuperatoren,
 10 Fig. 7 a eine alternative TPMS in Form eines Lidenoid,
 Fig. 7 b eine alternative TPMS in Form eines Schwarz-P,
 15 Fig. 7 c eine alternative TPMS in Form eines Diamond,
 Fig. 8 eine alternative zylindrische Anordnung der Zellstruktur sowie
 20 Fig. 9 eine alternative sphärische Anordnung der Zellstruktur.

[0028] Ein Rekuperator 1 für gasförmige oder flüssige Medien weist mehrere Elemente mit dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS) 2, 2', 2'' - 2ⁿ und jeweils zwei Kanälen 3, 4 auf, wobei der Kanal 3 als Abgaskanal und der Kanal 4 als Zuführkanal für ein gasförmiges oder flüssiges Medium dient. Die Zellgrößen können variieren, wie beispielhaft aus Fig. 2a - 2c hervorgeht. Der erfindungsgemäße Rekuperator 1 mit dreifach periodischen Minimaloberflächen 2, 2', 2'' - 2ⁿ ist, wie aus Fig. 4 hervorgeht, in einzelne Rekuperator-Segmente 5, 5', 5'' - 5ⁿ aufgeteilt, die, wie aus Fig. 4 ersichtlich, aneinandergereiht und zusammengesetzt werden können, und zwar über jeweils eine einzelne Dichtungsebene 6. Die Rekuperator-Segmente 5, 5', 5'' - 5ⁿ sind beispielsweise scheibenförmig ausgebildet. Die Elemente 5, 5', 5'' - 5ⁿ weisen eine Durchführung 7 für eine Gaslanze 13 und nicht näher dargestellte Elektroden auf. Insbesondere weisen die Rekuperator-Elemente 5, 5', 5'' - 5ⁿ neben den ein- und ausgangsseitigen Öffnungen 16 allseitig weitere Öffnungen 8 auf. Diese dienen sowohl zur Reinigung als auch zur Kondensatableitung.

[0029] Ein aus mehreren Segmenten 5, 5', 5'' - 5ⁿ zusammengesetzter Rekuperatorbrenner 14 ist beispielhaft aus Fig. 5 ersichtlich. Es können sowohl beide Kanäle 3, 4 oder nur einer von beiden mit erfindungsgemäßen Öffnungen 8 versehen sein. Bei eng anliegendem Rekuperatormantel 11 können Öffnungen in beiden Kanälen 3, 4 vorgesehen sein, die über den Mantel 11 abgedichtet werden. Vorzugsweise weist wenigstens ein Kanal, nämlich der Abgaskanal 3, umlaufende Öffnungen 8 auf. Durch den erfindungsgemäßen mehrteiligen, segment- bzw. patronenweisen Aufbau mit konzentrischen Dichtflächen 6 ergibt sich ein minimierter Bauraum mit hohem Wirkungsgrad, d.h. einer maximierten Wärmeübertragung von heißem Abgas auf das der Flamme zugeführte gasförmige oder flüssige Medium. Im Zusam-

menwirken mit geeigneten TPMS-Strukturen und den vorgeschlagenen Reinigungsöffnungen 8 ergibt sich ein äußerst praxistauglicher Aufbau eines Rekuperatorbrenners, der insbesondere auch leicht zu reinigen und aus dem anfallendes Kondensat einfach abzuleiten ist. Die gewählten TPMS-Strukturen 2, 2', 2" - 2ⁿ garantieren gleichzeitig geringe Druckverluste und hohe Wärmeübergänge durch entstehende Turbulenzen. Die Segmentstrukturen können in den verschiedenen Elementen unterschiedlich ausgestaltet sein, von eingangsseitig gröberen zu ausgangsseitig feineren Strukturen.

[0030] Wichtig ist, dass sich innerhalb der Elemente keine Flüssigkeitsansammlungen ("Pfützen") bilden, da diese die Wirkungsweise des Rekuperators herabsetzen und evtl. - je nach verwendetem Werkstoff - auch Korrosionsgefahren heraufbeschwören würden. Deshalb dienen die umlaufenden Reinigungsöffnungen 8 gleichzeitig auch der Kondensatableitung.

[0031] Größere Rekuperatoren können, wie aus Fig. 6 ersichtlich, über ein Baukastensystem 9, 10 gebildet werden.

[0032] Fig. 7 zeigt weitere alternative Segmente mit dreifach periodischen Minimaloberflächen (TPMS), und zwar einen Lidinoid 18, einen Schwarz-P 19 und einen Diamond 20.

[0033] Die Zellstruktur kann, wie aus Fig. 8 ersichtlich, auch zylindrisch oder, wie aus Fig. 9 ersichtlich, auch sphärisch angeordnet sein. Wie in Fig. 5 dargestellt, kann die Gaslanze 13 als Zugelement dienen.

[0034] Sämtliche Rekuperator-Segmente 5, 5', 5" - 5ⁿ sind von einem Rekuperator-Mantel 11 umfasst, der eine zweite Dichtungsebene bildet. Ergänzend zu der Gaslanze 13 als Zugelement ist ein außenliegendes Federelement 12 vorgesehen, damit es möglichst wenig hitzebelastet wird.

[0035] Auf der offenen Austrittsseite des Rekuperatorbrenners 14 bildet sich die gewünschte Flamme 15.

[0036] Natürlich ist die Erfindung nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt. Weitere Ausgestaltungen sind möglich, ohne den Grundgedanken zu verlassen.

Bezugszeichenliste:

[0037]

1	Rekuperator
2, 2', 2" - 2 ⁿ	TPMS-Strukturen
3	Abgaskanal
4	Zuführkanal
5, 5', 5" - 5 ⁿ	Rekuperator-Segmente
6	Dichtungsebene
7	Durchführung für Gaslanze und Elektroden
8	(Reinigungs-)Öffnungen
9	Baukasten zylindrisch
10	Baukasten würfelförmig
11	Rekuperatormantel

12	außenliegendes Federelement
13	Gaslanze als Zugelement
14	Rekuperatorbrenner
15	Flamme
5 16	Eingangsöffnungen
17	Ausgangsöffnungen
18	Lidinoid
19	Schwarz P
20	Diamond
10	

Patentansprüche

1. Rekuperator für gasförmige oder flüssige Medien mit dreifach-periodischen Minimaloberflächen und einem Rekuperatormantel,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rekuperator (1) neben den ein- und ausgangsseitig vorhandenen Öffnungen (16, 17) weitere Öffnungen (8) aufweist.
2. Rekuperator nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Öffnungen (8) zur Reinigung und/oder Kondensatableitung geeignet sind.
3. Rekuperator nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rekuperator (1) in Segmenten (5, 5', 5" - 5ⁿ) hergestellt und aus diesen zusammengesetzt ist.
4. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) nur über eine Dichtungsebene (6) gegeneinander abgedichtet sind.
5. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 2, 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine zweite Dichtungsebene über den die Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) umschließenden Rekuperatormantel (11) gebildet ist.
6. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Dichtungsebenen (6) der einzelnen Segmente über Federkraft (12, 13) gegeneinander verspannt sind.
7. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich die Feder (12) außerhalb des Rekuperators (1) befindet.
8. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprü-

- che 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) über Stangen, Stäbe oder eine Gaslanze (13) zueinander positioniert und verspannt sind. 5
9. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stangen, Stäbe oder Gaslanze (13) über einen Bypass mit kalter Verbrennungsluft kühlbar sind. 10
10. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einzelsegmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) im Verbund auch als Kreuzstrom-Rekuperator ausgelegt sind. 15
11. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass ausgewählte Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) so ausgebildet sind, dass die Abgastemperatur unter 59° C fällt und das Abgas kondensiert. 20 25
12. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die dreifach periodischen Minimaloberflächen (2, 2', 2" - 2ⁿ) strömungstechnisch optimiert sind. 30
13. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die sich aus der dreifach periodischen Minimaloberfläche (2, 2', 2" - 2ⁿ) ergebenden Zellstrukturen rechteckig, zylindrisch oder sphärisch ausgestaltet sind. 35
14. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die dreifach-periodischen Minimaloberflächen (2, 2', 2" - 2ⁿ) so konstruiert sind, dass beim Durchfluss des gasförmigen oder flüssigen Mediums möglichst starke Turbulenzen entstehen. 40 45
15. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die dreifach-periodischen Minimaloberflächen (2, 2', 2" - 2ⁿ) so konstruiert sind, dass möglichst geringe Druckverluste in jedem Segment (5, 5', 5" - 5ⁿ) entstehen. 50 55
16. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die dreifach-periodischen Minimaloberflächen (2, 2', 2" - 2ⁿ) so konstruiert sind, dass eine möglichst große Leistung bei möglichst kleinem Bauraum übertragbar ist. 5
17. Rekuperator nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass mehrere Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) in der Weise hintereinander gestaffelt sind, dass auf Segmente mit größeren Steigungen, Zellgrößen Segmente mit feineren Steigungen und/oder Zellgrößen folgen. 10
18. Verfahren zur Herstellung von Segmenten (5, 5', 5" - 5ⁿ) mit dreifach-periodischen Minimaloberflächen,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zellgrößen innerhalb der einzelnen Segmente über ein parametrisierbares CAD-Modell abgebildet werden. 15
19. Verfahren zur Herstellung von Segmenten mit dreifach-periodischen Minimaloberflächen,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Parameter derart gewählt werden, dass möglichst geringe Druckverluste in jedem Segment (5, 5', 5" - 5ⁿ) entstehen. 20
20. Verfahren zur Herstellung von Segmenten mit dreifach-periodischen Minimalflächen,
dadurch gekennzeichnet,
dass Aufbau und Anordnung der Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) so gewählt werden, dass das Abgas in einem zuvor genau definierten Bereich kondensiert und von dort gezielt ableitbar ist. 35
21. Verfahren zur Herstellung von Segmenten mit dreifach-periodischen Minimaloberflächen,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Segmente (5, 5', 5" - 5ⁿ) derart konstruiert und zusammengesetzt sind, dass die Abgastemperatur innerhalb ausgewählter Segmente unter 59° C fällt und in diesen das Abgas kondensiert und aus diesen das Kondensat ableitbar ist. 40 45

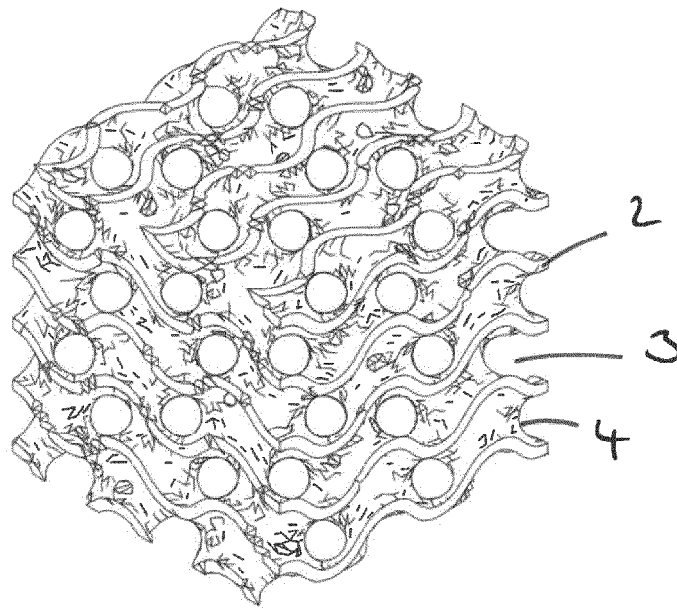


Fig. 1

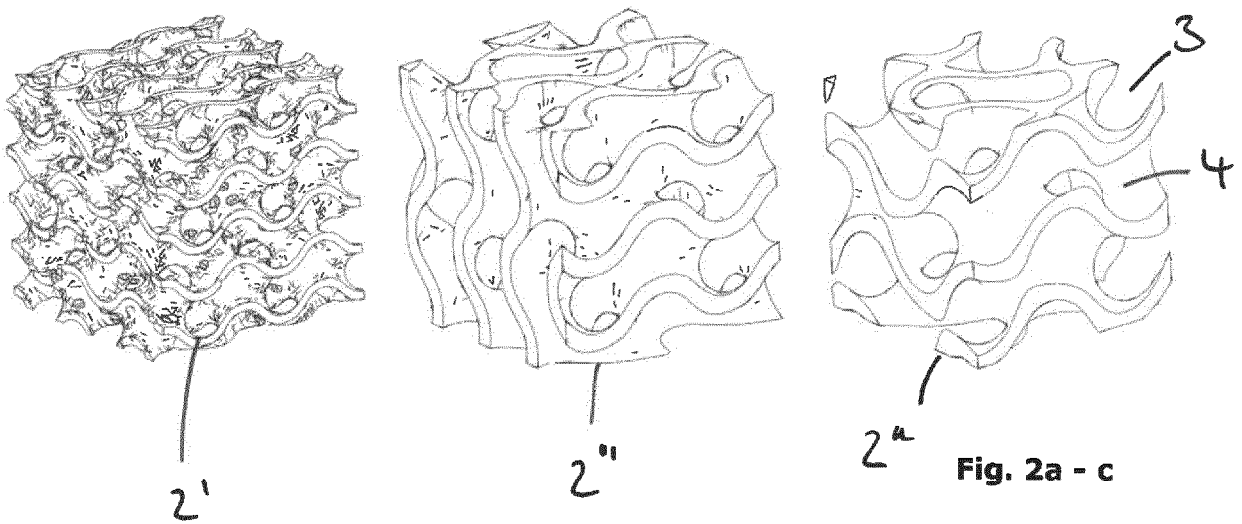


Fig. 2a - c

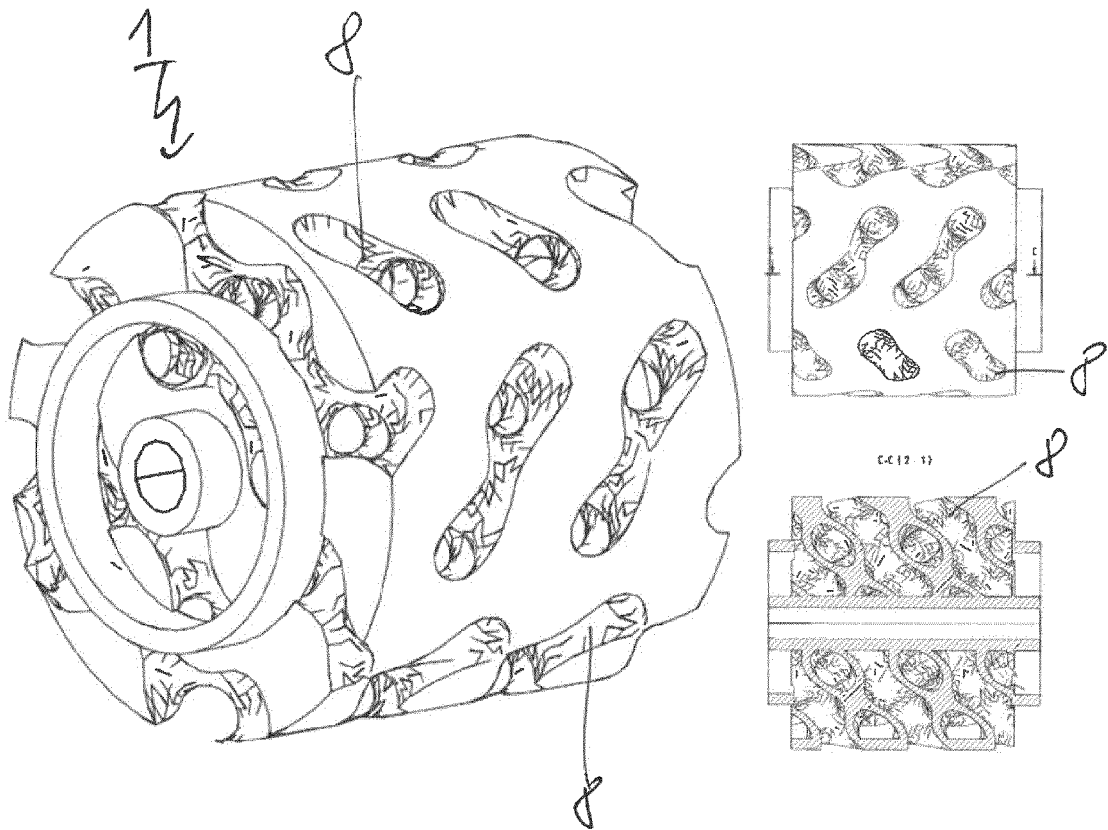


Fig. 3

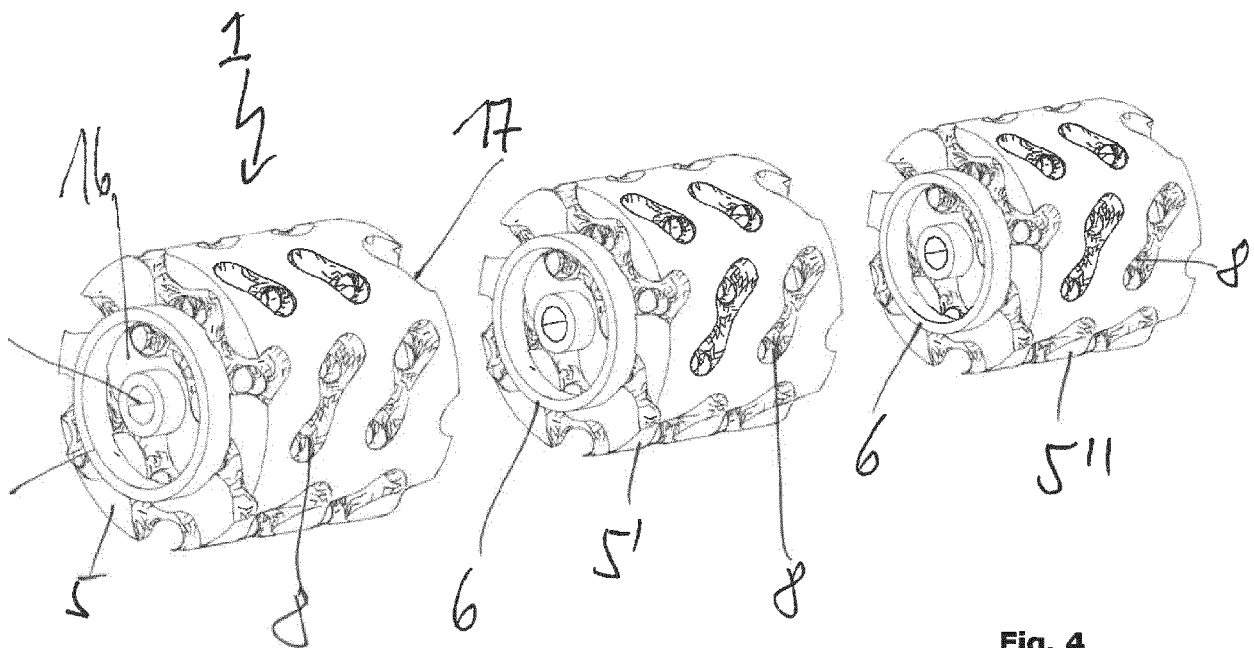


Fig. 4

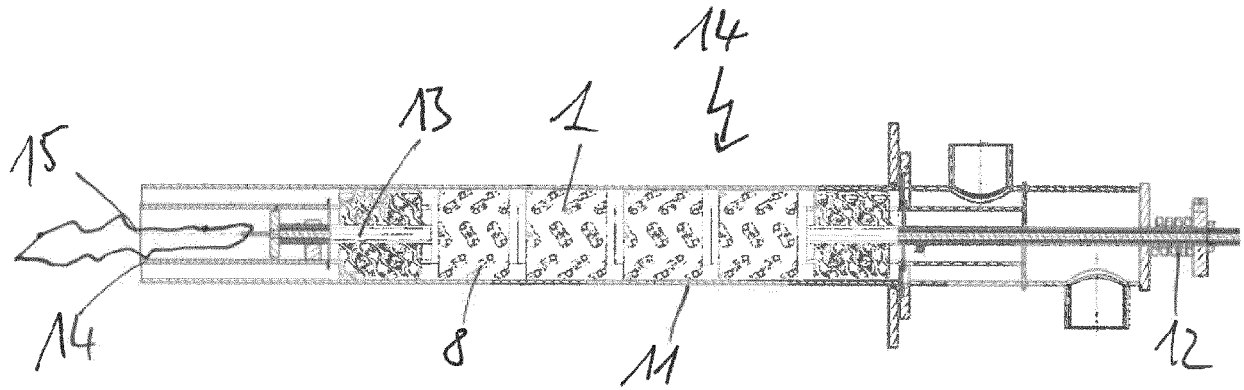


Fig. 5

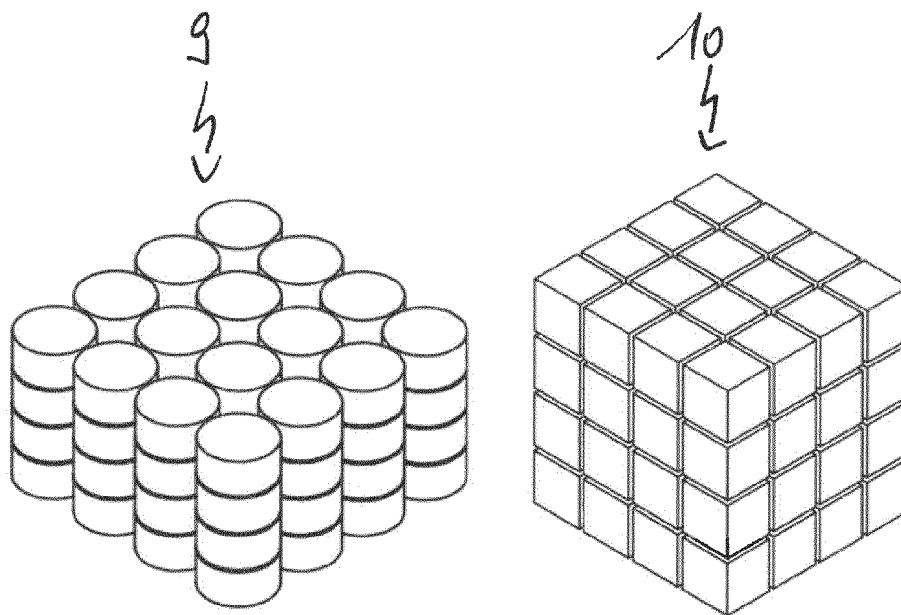


Fig. 6

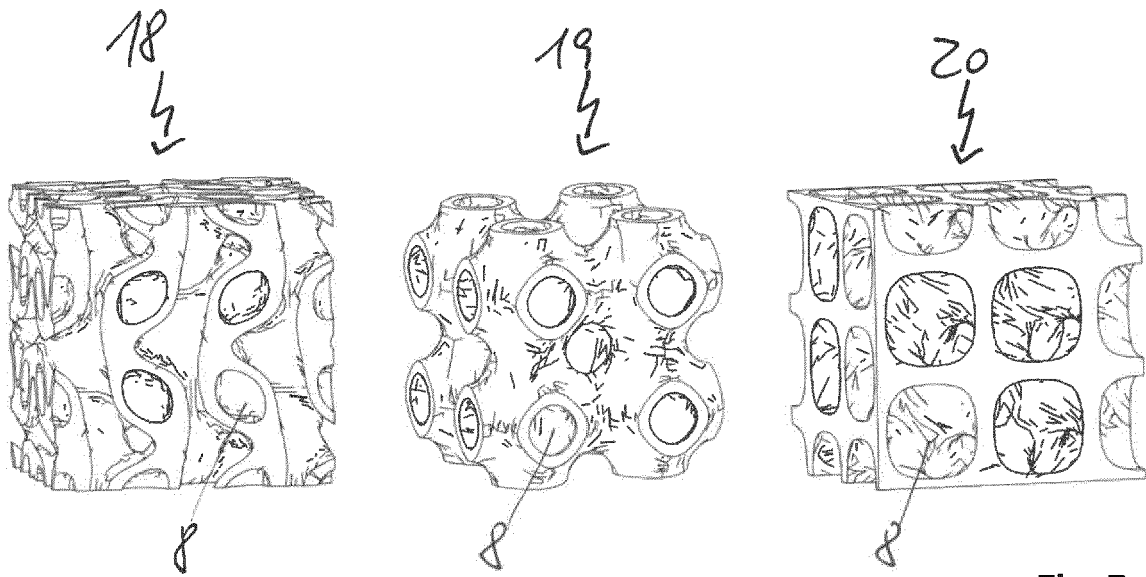


Fig. 7

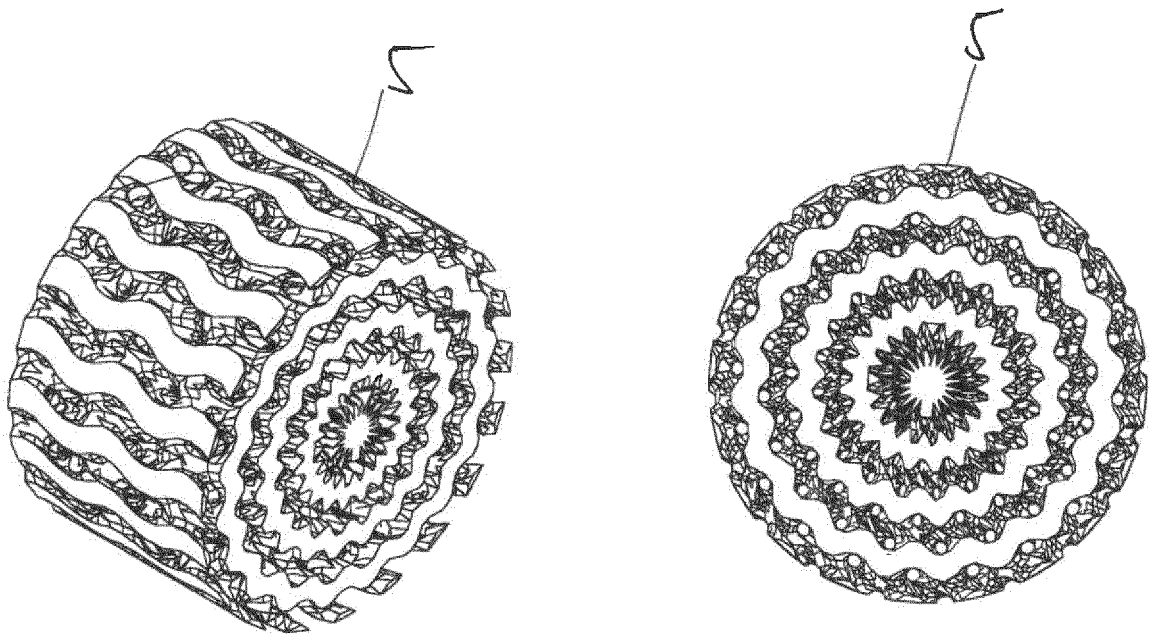


Fig. 8



Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 19 8087

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2020/033070 A1 (VLAHINOS ANDREAS [US] ET AL) 30. Januar 2020 (2020-01-30) * Absätze [0072], [0073], [0094] - [0102]; Abbildungen 2A, 2B, 3A, 12, 9A-9C, 13A-13H *	1-21	INV. F28D21/00 F28F7/02
X	----- CN 111 159 903 A (UNIV CHONGQING POSTS & TELECOM) 15. Mai 2020 (2020-05-15) * Absätze [0011] - [0043]; Abbildung 2 *	1-21	
X	----- EP 3 709 206 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 16. September 2020 (2020-09-16) * Absätze [0013] - [0028]; Abbildungen 1-5 *	1-21	
X	----- US 2018/187984 A1 (MANZO JOSEPH T [US]) 5. Juli 2018 (2018-07-05) * Absätze [0029] - [0115]; Abbildungen 1-18 *	1-21	

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F28D F28F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 2. März 2021	Prüfer Axters, Michael
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum 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 20 19 8087

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.

02-03-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2020033070 A1	30-01-2020	KEINE	
CN 111159903 A	15-05-2020	KEINE	
EP 3709206 A1	16-09-2020	EP 3709206 A1 US 2020292239 A1	16-09-2020 17-09-2020
US 2018187984 A1	05-07-2018	US 2018187984 A1 US 2020333088 A1	05-07-2018 22-10-2020

EPO FORM P0461

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