

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 2 584 301 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

24.04.2013 Patentblatt 2013/17

(51) Int Cl.:

F28D 7/16 (2006.01)**F28F 1/00 (2006.01)**(21) Anmeldenummer: **11185815.5**(22) Anmeldetag: **19.10.2011**

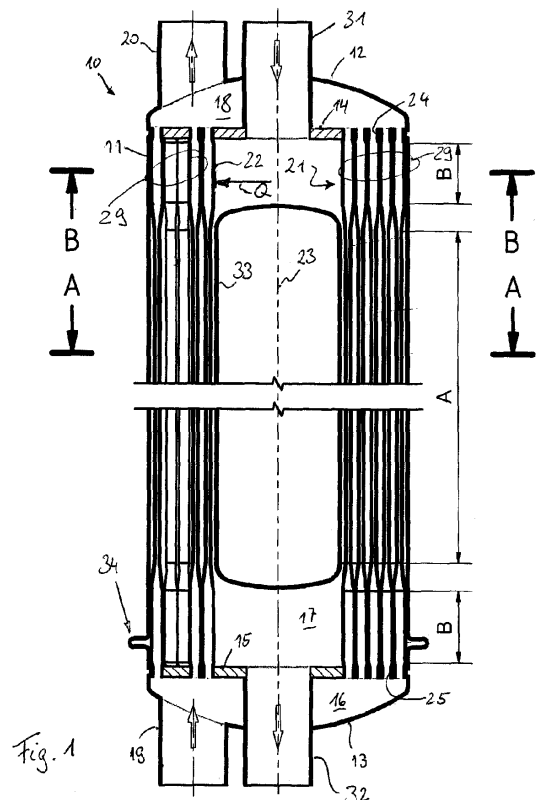
(84) Benannte Vertragsstaaten:

**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(71) Anmelder: **WS-Wärmeprocesstechnik GmbH****71272 Renningen (DE)**(72) Erfinder: **Wünning, Joachim A.****71229 Leonberg (DE)**(74) Vertreter: **Rüger, Barthelt & Abel****Webergasse 3****73728 Esslingen (DE)**(54) **Hochtemperatur-Wärmeübertrager**

(57) Zur Verbesserung der Energieeffizienz von Hochtemperatur-prozessen wird ein Flachrohrwärmetauscher (10) vorgeschlagen, der für hohe Temperaturen geeignet ist, eine hohe Temperaturspreizung verträgt und im Gegenstrombetrieb Übertragungswirkungsgrade von über 80% erreicht. Außerdem weist er eine hohe Packungsdichte, niedrige Druckverluste und z.B. weniger als 50 mbar, eine hohe Dauerhaftigkeit und Robustheit sowie niedrige Herstellungskosten auf. Der Flachrohrwärmetauscher weist Flachrohre auf, die flache Wärmetauscherabschnitte und runde Enden aufweisen. Die runden Enden definieren Quereinströmungszonen, die eine gleichmäßige Gasverteilung eines Heißgases zwischen den Flachabschnitten der Flachrohre (22) bei niedrigen Druckverlusten erbringen. Der Wirkungsgrad eines solchen Flachrohrwärmetauschers ist mit dem eines Plattenwärmetauschers vergleichbar, wobei jedoch eine wesentlich höhere Robustheit gegeben ist.

**EP 2 584 301 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Hochtemperatur-Wärmeübertrager, insbesondere für gasförmige Medien.

[0002] Die Energieeffizienz von Hochtemperatur-Prozessen kann mit Hilfe von Gas/Gas-Wärmeübertragern erheblich gesteigert werden, wenn die Wärmeübertrager den Wärmeinhalt eines Gasstroms möglichst vollständig auf einen anderen Gasstrom übertragen. Bei den Gasströmen kann es sich bspw. um Edukte und Produkte eines chemischen Reaktionsprozesses bspw. in Form eines Verbrennungsprozesses handeln. Die Reaktion kann bspw. in einer SOFC-Brennstoffzelle oder einem Brennstoffzellensystem, in Mikrogasturbinen oder anderen Wärmekraftmaschinen ablaufen. In vielen Fällen sind dabei die Massen bzw. Wärmekapazitätsströme der beiden Gase (z.B. Frischluft und Abgas) ungefähr gleich.

[0003] Entsprechende Wärmetauscher müssen verschiedene Anforderungen genügen, die untereinander teilweise nur schwer vereinbart sind. Die Wärmeübertrager müssen für:

- hohe Temperaturen und dabei insbesondere für
- eine hohe Temperaturspreizung, d.h. eine große Differenz zwischen den Eintrittstemperaturen der beiden Medien, geeignet sein. Bei SOFC-Systemen kann diese Temperaturspreizung bis zu 800 K betragen. Dabei werden
- hohe Wirkungsgrade der Wärmeübertragung von möglichst über 80% ebenso angestrebt, wie
- eine kompakte Bauart,
- niedrige Druckverluste,
- niedrige Herstellkosten und
- hohe Dauerhaftigkeit. Auch müssen
- Druckdifferenzen zwischen den beiden Gasströmen ausgehalten werden. Weitere Anforderungen, wie bspw.
- hohe Temperaturwechselbeständigkeit, kann bei Systemen eine Rolle spielen, die häufig ein- und ausgeschaltet bzw. hoch- und heruntergefahren werden.

[0004] Um Medien miteinander in Wärmetausch zu bringen, sind verschiedene Wärmetauscheranordnungen bekannt. Beispielsweise offenbart die WO 96/20808 einen Wärmetauscher mit einem geschlossenen etwa zylindrischen, durch gerundete Endkappen abgeschlossenen Gefäß und an gegenüber liegenden Enden des Gefäßes angeordneten Rohrböden. Die Rohrböden teilen den Innenraum in drei separate Räume ab, nämlich z.B. zwei Sammelräume und dazwischen ein Rohrbündelraum. Die Anschlüsse der Sammelräume sind bspw. konzentrisch zur Längsachse des zylindrischen Gehäuses an dessen Endkappen angeordnet. Zufluss und Abfluss des Rohrbündelraums sind z.B. radial an der zylindrischen Gehäusewand angeordnet. Die Rohre des Rohrbündels sind je nach Ausführungsform z.B. gerade

ausgebildet und mit Abschnitten verschiedenen Querschnitts versehen. Es wechseln Rundquerschnitte mit Ovalquerschnitten.

[0005] Während das vorgenannte Dokument einen geschlossenen Wärmetauscher offenbart, zeigt die EP 1 995 516 B1 einen offenen Wärmetauscher mit nur einseitig gefassten Flachrohren. Diese sind an ihren Enden rund und in einem mittleren Abschnitt flach ausgebildet. In dem flachen Abschnitt wird der Querschnitt des Rohres durch zwei einen Spalt begrenzende Abschnitte gebildet, die mit großem Radius gekrümmt sind, wobei diese an ihren Enden durch Abschnitte untereinander verbunden sind, die mit einem geringen Radius gekrümmt sind. Die Flachrohre sind auf konzentrischen Kreisen des insgesamt im Wesentlichen rotationssymmetrisch ausgebildeten Wärmetauschers angeordnet. Auf jedem Kreis ist dabei die gleiche Rohrzahl vorgesehen. Zwischen den Rohren sind gewellte Abstandshalter angeordnet. Dieser Flachrohrwärmeübertrager wird im Gegenstrombetrieb betrieben. Auf der einem Brennraum zugewandten Seite der Flachrohre sind Düsen ausgebildet, die eine hohe Gasaustrittsgeschwindigkeit bewirken. Es handelt sich hier speziell um einen Abgaswärmerekuperator, der aufgrund der hohen Gasaustrittsgeschwindigkeit in dem angeschlossenen Brennraum eine flammenlose Oxidation bewirken soll.

[0006] Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Wärmeübertrager anzugeben, der die oben genannten Bedingungen erfüllt. Insbesondere soll er eine hohe Temperaturspreizung, einen hohen Übertragungswirkungsgrad, eine hohe Packungsdichte und eine hohe Lebensdauer mit niedrigen Druckverlusten und niedrigen Herstellkosten verbinden.

[0007] Diese Aufgabe wird mit dem Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 1 gelöst:

Der erfindungsgemäße Flachrohrwärmetauscher weist ein geschlossenes Gehäuse auf, in dem zwei Rohrböden und ein zwischen den Rohrböden angeordnetes und von den Rohrböden getragenes Rohrbündel angeordnet ist. Das Rohrbündel umfasst mindestens einige sich in Rohrbündellängsrichtung erstreckende Flachrohre. Die Flachrohre sind an ihren Enden rund und in einem mittleren Abschnitt flach. Die im Querschnitt runden Enden der Flachrohre können kreisrund sein oder eine abweichende Rundform aufweisen. Z.B. können sie einen elliptischen Querschnitt, einen Ovalquerschnitt oder auch einen Polygonalquerschnitt (dreieckig, quadratisch, rechteckig, sechseckig oder dergleichen) aufweisen, der eine Rundform annähert. Der Querschnitt des Rundabschnitts liegt zwischen vorzugsweise 50% bis 70% des Querschnitts des Flachquerschnitts. Während die Rundquerschnitte kreisförmig sind, haben die Flachquerschnitte eine Ovalgestalt, die sich vorzugsweise aus bogenförmigen Endabschnitten mit geringem Radius und geraden Wandabschnitten ohne Krümmung zusammensetzt. Zum

Beispiel werden derartige Flachrohre erzeugt, indem zunächst von einem Rohr ausgegangen wird, das zwischen zwei Abschnitten mit Kreisquerschnitt und geringerem Durchmesser einen Abschnitt mit Kreisquerschnitt und größerem Durchmesser aufweist. Der Abschnitt mit größerem Durchmesser kann in einem Umformprozess, z.B. Walzprozess, z.B. zwischen Zylinderwalzen, flachgedrückt werden. Die insoweit beschriebene Konfiguration der Flachrohre wird für alle Ausführungsformen des erfindungsge-
mäßigen Wärmetauschers bevorzugt.

[0008] Vorzugsweise sind in dem Rohrbündelraum drei Zonen ausgebildet, nämlich zwei bei den Rohrbündelraumanschlüssen ausgebildete Querströmungszonen und eine zwischen diesen Querströmungszonen ausgebildete Längsströmungszone. Die Querströmungszonen werden vorzugsweise dadurch definiert, dass auf beiden an die Rohrböden grenzenden Seiten jeweils ein Abschnitt vorgesehen wird, indem die Flachrohre einen Rundquerschnitt (vorzugsweise Kreisquerschnitt) oder kreis-ähnlichen Polygonalquerschnitt aufweisen und verjüngt sind, um die Ein- bzw. Ausströmung des Gases quer zu den Flachrohren zu ermöglichen. Vorzugsweise sind dazu zwischen den einzelnen Flachrohren entsprechende Gassen ausgebildet. Es wird bevorzugt, diese Gassen in Ein- bzw. Ausströmungsrichtung zu orientieren. Bei einem rotationssymmetrischen Aufbau sind diese Gassen vorzugsweise radial orientiert. Der Zu- oder Abstrom kann radial von innen oder auch radial von oder nach außen erfolgen. Die von der Querströmungszone festgelegte Querströmungsrichtung ist vorzugsweise senkrecht zu den Flachseiten der Flachrohre, d.h. parallel zu der Flächennormalenrichtung der Flachseiten orientiert. Dieses Konzept kann bei allen Ausführungsformen des Wärmetauschers angewandt werden.

[0009] Die Längsströmungszone ist dadurch definiert, dass in ihr im wesentlichen keine Querströmung existiert. Die sich zwischen den Flachrohrabschnitten einstellende Strömung verläuft antiparallel zu der in den Flachrohren fließenden Strömung. Insbesondere wechselt die Strömung vorzugsweise nicht zwischen den verschiedenen zwischen den Flachrohren vorhandenen Längsströmungsgassen. Dies wird erreicht, indem benachbarte Flachrohre einander berührend oder mit geringem Spalt fast berührend angeordnet sind.

[0010] Der Flachrohrwärmetauscher kann als Rechteck oder auch als Rundanordnung aufgebaut sein. In der Rechteckanordnung weist er einen quaderförmigen Rohrbündelraum auf. In der Rundanordnung weist er einen zylindrischen Rohrbündelraum auf. Bevorzugterweise ist der Wärmetauscher in Rundanordnung als Ringwärmetauscher aufgebaut. Sein Gehäuse ist dann bspw. zylindrisch oder auch polygonal begrenzt. Koaxial zu der Außenwand kann das Wärmetauschergehäuse eine Innenwand aufweisen. Diese kann weitere Aggregate umschließen, wie bspw. einen Reaktor, in dem das zuge-

führte Prozessgas einen chemischen Prozess durchläuft, einen Brenner, eine sonstige Wärmequelle oder Kombinationen davon. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der Längsströmungsraum, in dem die Flachabschnitte der Flachrohre angeordnet sind, ringförmig (d.h. hohlzylindrisch) ausgebildet. Mindestens einer der beiden Querströmungsräume ist hingegen vorzugsweise zylindrisch ausgebildet und weist einen freien zentralen Gasverteilungsraum (Gassammelraum) auf, von dem ausgehend die Gaströmung radial nach außen zwischen die runden Abschnitte der Flachrohre führt (oder umgekehrt).

[0011] Das Rohrbündel weist in Querströmungsrichtung vorzugsweise eine Ausdehnung auf, die höchstens doppelt so groß ist wie die in Rohrbündellängsrichtung gemessene Länge der Quereinströmzone. Dadurch kann eine gleichmäßige Verteilung des Gases erreicht werden, bevor es durch die Längsströmungszone zwischen den Flachrohren entlang strömt. Die genannte Maßnahme schafft auch eine gute Voraussetzung dafür, die Flachrohre in dem Rohrbündel relativ dicht anordnen zu können, so dass sich eine gute Raumaussnutzung und damit eine kompakte Bauform ergeben. Dazu kann auch beitragen, dass für die Flachrohre bestimmte Maße eingehalten werden. Vorzugsweise haben die Flachrohre eine innere Spaltweite s von 1 mm bis 5 mm, vorzugsweise 1 mm bis 3 mm. Optimal beträgt die Spaltweite 2 mm. Die freie Breite des Flachrohrinnenraums beträgt vorzugsweise 7 mm bis 20 mm. Die Flachrohre sind vorzugsweise in einer Packungsdichte p von $0,9 \text{ m}^2/\text{dm}^3$ bis $0,2 \text{ m}^2/\text{dm}^3$ angeordnet.

[0012] An den Flachrohren können außerdem abstandshaltende Strukturen, bspw. in Gestalt aufgeprägter Noppen, Rippen oder dergleichen vorhanden sein, um den Abstand zwischen den Rohren zu fixieren. Der Abstand zwischen den Flachrohren liegt vorzugsweise höchstens in der Größenordnung der Spaltweite. Die Spaltweite beträgt vorzugsweise allenfalls wenige Millimeter. Der Abstand der gerundeten Bereiche der Flachrohre voneinander ist vorzugsweise geringer als die Spaltweite. Damit sind die zwischen den Flachrohren gebildeten Gassen praktisch voneinander separiert. Der gleichmäßigen Gasverteilung in der Querströmungszone kommt hohe Bedeutung zu.

[0013] Anstelle der Flachrohre können auch sogenannte strukturierte Rohre genutzt werden, bei denen der Wärmeübergang durch Turbulenzwirbel verbessert wird. Zur Erzeugung von Turbulenzwirbeln können an den inneren und/oder äußeren Oberflächen der Flachrohre turbulenzerzeugende Elemente, bspw. Rippen, Vorsprünge, Dellen oder dergleichen, ausgebildet sein.

[0014] Vorzugsweise haben alle Flachrohre die gleiche Form, sind also einheitlich ausgebildet, was den Herstellungsaufwand niedrig hält.

[0015] Die Rohre können einstückig oder mehrteilig ausgebildet sein. Dies kann insbesondere bei einer sehr hohen Temperaturspreizung zweckmäßig sein. Es können Rohre aus unterschiedlichen Materialien stumpf an-

einander gefügt insbesondere geschweißt werden. Somit können in der kalten Zone andere Materialien angewendet werden als in der warmen Zone. An dem Gehäuse kann ein Dehnungselement angeordnet sein, das Ausdehnungsunterschiede zwischen dem Gehäuse und dem Rohrbündel kompensiert. Das Dehnungsausgleichselement wird vorzugsweise auf der kalten Seite des Wärmeübertragers angeordnet.

[0016] Sind die Wärmetauscherrohre in einer Ringzone angeordnet, die einen zentralen Bereich umschließt, kann dort ein Brenner mit einer Brennkammer angeordnet sein, bspw. um einen dort vorhandenen Reaktor zu beheizen. Zwischen der Brennkammer und dem Wärmeübertrager wird vorzugsweise eine Isolierschicht angeordnet. Diese Kombination aus Wärmeübertrager und Brennkammer eignet sich beispielsweise für die Erwärmung der Katodenluft für eine SOFC-Brennstoffzelle.

[0017] In dem Innenraum, insbesondere in dem Rohrbündelraum des Wärmeübertragers kann auch ein katalytischer Reaktor angebracht sein. Dieser kann bspw. als Reformer in dem Anodengaskreislauf eines SOFC-Brennstoffzellensystems angeordnet werden.

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Flachrohrwärmetauscher können im Gegenstrombetrieb Wirkungsgrade über 80% erreicht werden. Vorzugsweise wird das zu erwärmende Gas in den Rohren und das wärmeabgebende Gas zwischen den Rohren geführt. Es können Gase mit sehr hohen Eintrittstemperaturen, wie bspw. 1000°C verarbeitet werden. Die Wärmeübertragungsraten liegen bezogen auf das Bauvolumen im gleichen Bereich wie die von Plattenwärmeübertragern und Regeneratoren bei vergleichbaren Spaltweiten. Allerdings sind geschweißte Plattenwärmeübertrager für derart hohe Temperaturen nicht geeignet. Der vorgeschlagene Flachrohrwärmetauscher eignet sich somit insbesondere bei der dezentralen Energieerzeugung z.B. bei SOFC-Brennstoffzellen oder Mikrogasturbinen. Er kommt ohne die bei Regeneratoren erforderlichen Umschaltventile und Steuerungen aus.

[0019] Weitere Einzelheiten vorteilhafter Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen der Zeichnung und der Beschreibung. In der Beschreibung sind einige wenige Ausführungsmöglichkeiten der Erfindung veranschaulicht. Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die konkreten Ausführungsformen und Beispiel beschränkt ist. Es zeigen:

Figur 1 einen erfindungsgemäßen Flachrohrwärmetauscher im schematisierten Längsschnitt,

Figur 2 den Flachrohrwärmetauscher nach Figur 1, geschnitten entlang der Linie A-A in Figur 1,

Figur 3 den Flachrohrwärmetauscher nach Figur 1, geschnitten entlang der Linie B-B in Figur 1,

Figur 4 ein Flachrohr des Flachrohrwärmetauschers, in Draufsicht, in schematisierter Darstellung,

Figur 5 das Flachrohr nach Figur 4, in einer abschnittweisen Seitenansicht,

Figur 6 das Flachrohr nach Figur 4 und 5, in einer Perspektivansicht,

Figur 7 den Flachrohrwärmetauscher mit eingebautem Brenner, in einer längs geschnittenen Prinzipansicht,

Figur 8 eine abgewandelte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Flachrohrwärmetauschers, im Vertikalschnitt,

Figur 9 eine weitere abgewandelte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Flachrohrwärmetauschers, in vertikal geschnittener Seitenansicht,

Figur 10 den Flachrohrwärmetauscher nach Figur 9, geschnitten an der Linie X-X in Fig. 9 und mit einer Schnittrlinie IX-IX zur Veranschaulichung der Schnittrführung in Fig. 9, und

Figur 11 den Flachrohrwärmetauscher nach Figur 9, geschnitten entlang der Linie XI-XI in Figur 9.

[0020] In Figur 1 ist ein Flachrohrwärmetauscher 10 veranschaulicht, der hier in einem zylindrischen Gehäuse 11 untergebracht ist. An beiden Enden des Gehäuses 11 sind vorzugsweise gewölbte Verschlussdeckel 12, 13 angebracht, die zu dem Gehäuse 11 gehören und z.B. Teil desselben sein können. Das Gehäuse 11 umschließt zusammen mit den Deckeln 12, 13 einen Innenraum, der durch zwei Rohrböden 14, 15 in insgesamt drei Räume nämlich einen eingangsseitigen Sammelraum 16 (Figur 1 unten), einen Rohrbündelraum 17 und einen ausgangseitigen Sammelraum 18 unterteilt. Die Sammelräume 16, 18 sind jeweils mit einem Anschluss 19, 20 versehen. Der Anschluss 19 wird bspw. mit kalter Luft beaufschlagt. An dem Anschluss 20 soll bspw. heiße Luft abgegeben werden.

[0021] Zwischen den Rohrböden 14, 15 ist ein Rohrbündel 21 angeordnet. Dieses besteht aus zahlreichen untereinander vorzugsweise gleich ausgebildeten Flachrohren 22. Die Querschnitte der Flachrohre 22 weisen gerade Flanken auf, die zwischen einander den inneren Spaltquerschnitt begrenzen. Die flachen Flanken sind untereinander durch mit geringem Radius gebogener Abschnitte verbunden. Jedes Flachrohr 22 ist vorzugsweise gerade ausgebildet und parallel zu einer gedachten Zentralachse 23 des Gehäuses 11 angeordnet. Die Flachrohre 22 sind mit ihren Enden 24, 25 an den Rohrböden 14, 15 verankert. Beispielsweise sind sie mit dem jeweiligen Rohrboden 14, 15 verschweißt, hart verlötet, verpresst, vercrimpt oder auf andere geeignete Weise verbunden. Vorzugsweise ist die Verbindung fluiddicht und temperaturfest.

[0022] Jedes Flachrohr 22 weist einen vergleichswei-

se langen mittleren Abschnitt A mit Flachquerschnitt und an seinen beiden Enden 24, 25 einen kürzeren Abschnitt B mit Rundquerschnitt auf. Figur 2 veranschaulicht das Rohrbündel 21 im Bereich seines Abschnitts A in Schnittdarstellung. Wie ersichtlich, weist jedes Flachrohr 22 einen inneren Spaltquerschnitt auf, dessen Weite 1 mm bis 4 mm, vorzugsweise 2 mm bis 3 mm beträgt. Der Umfang dieses Querschnitts liegt vorzugsweise zwischen 20 mm und 40 mm. Wie ersichtlich, sind die Flachrohre 22 jeweils in einer ringförmig geschlossenen Reihe angeordnet, wobei jede Reihe kreisförmig (genau genommen polygonal) ist und konzentrisch zu der Zentralachse 23 angeordnet ist.

[0023] Innerhalb der Reihe sind die Flachrohre 22 zumindest vorzugsweise so angeordnet, dass sich die einzelnen Flachrohre 22 mit ihren stark gekrümmten Abschnitten gerade eben nicht berühren. Die verbleibenden Spalte zwischen den Flachrohren 22 innerhalb einer Reihe sind jedoch gering. Die Flachrohre können sich alternativ auch bei jeder Temperatur oder nur bei bestimmten Temperaturen gegenseitig berühren. Die Flachseiten der Flachrohre sind in Umfangsrichtung orientiert, also tangential zu dem jeweiligen Kreis, auf dem sie angeordnet sind.

[0024] Die zwischen den Reihen oder Grenzen verschiedener Flachrohre 22 gebildeten ringförmigen Zwischenräume sind relativ eng. Es handelt sich um weitgehend frei von anderen Einbauten gehaltene ringförmige Strömungskanäle. Die einzelnen ringförmigen Strömungskanäle sind voneinander durch die Flachrohrkränze strömungsmäßig weitgehend getrennt.

[0025] Es wird darauf hingewiesen, dass andere Flachrohrkonfigurationen anwendbar sind. Beispielsweise können die Flachrohre in einer einzigen zu einer Spirale gewundenen Reihe angeordnet sein. Auch können sie gegen die Umfangsrichtung etwas geneigt, also um ihre jeweilige Längsachse etwas gedreht sein. Mit der Tangentialrichtung schließen sie dann einen spitzen Winkel ein. Die obigen Ausführungen hinsichtlich Querschnittsform und Rohrabstand gelten aber entsprechend.

[0026] Vorzugsweise sind die in jeder in Figur 2 dargestellten ringförmigen Reihe angeordneten Rohre in ihrer Anzahl so bemessen, dass sich eine möglichst geschlossene Reihe ergibt. Vorzugsweise stimmen die Anzahl der Flachrohre 22 in den Reihen miteinander nicht überein. Die Rohrzahl nimmt vorzugsweise radial gesehen von innen nach außen zu. Vorzugsweise unterscheiden sich die Anzahlen der Rohre benachbarter ringförmiger Reihen um 1 bis 3, vorzugsweise 2.

[0027] Wie aus Figur 3 ersichtlich ist, bilden die Flachrohre 22 mit ihren Abschnitten B eine Anordnung, die radial strömungsdurchlässig ist, jedenfalls durchlässiger als die Anordnung der Abschnitte A gemäß Figur 2. Es bilden sich Strömungsgassen 26 bis 28, die eine radiale Strömung ermöglichen. Somit ist bei den runden Abschnitten B der Flachrohre 22 eine Querströmungszone 29 gebildet. Dies gilt sowohl für die an den oberen Rohr-

boden 14 grenzenden Enden 24 der Flachrohre wie auch für die an den unteren Boden 15 grenzenden Enden 25 der Flachrohre 22. Das Rohrbündel 21 weist in Quereinströmungsrichtung eine Dicke C auf, die vorzugsweise höchstens doppelt so groß ist wie die Länge des Abschnitts B, d.h. der Quereinströmungszone. Die Flachabschnitte A der Flachrohre 22 können sich in die Quereinströmungszone 29 erstrecken. Dies insbesondere, wenn die Quereinströmung, wie es auch möglich ist, parallel oder im spitzen Winkel zu den Flachseiten der Flachabschnitte erfolgt. Dies gilt für alle Ausführungsformen.

[0028] Die zwischen den beiden Querströmungszone 29 liegenden Abschnitte A der Flachrohre 22 bilden eine Längsströmungszone 30, die dem eigentlichen Wärmetausch dient.

[0029] Zum Einleiten und Ausleiten von Fluid in den Rohrbündelraum 17 dienen Rohrbündelraumanschlüsse 31, 32, die z.B. koaxial zu der Zentralachse 23 angeordnet sein koaxial zu der Zentralachse 23 angeordnet sein können und in diesem Fall die Verschlussdeckel 12, 13 und die Rohrböden 14, 15 durchsetzen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Rohrbündelanschlüsse 32, 33 auch anderweitig angeordnet sein können. Beispielsweise können sie das Gehäuse 11 durchsetzend in den Bereichen B radial oder tangential an das Gehäuse 11 ansetzend ausgebildet sein. Weiter kann konzentrisch zu der Zentralachse 23 eine innere Gehäusewand 33 angeordnet sein. Diese kann durch einen Vollkörper oder einen Hohlkörper gebildet sein. Sie kann weitere Anlagenteile, einen Wärmespeicher oder Ähnliches umschließen oder auch leer sein.

[0030] Das Gehäuse 11 kann an geeigneter Stelle mit einem Dehnungsausgleichselement 34 versehen sein. Vorzugsweise ist dieses in dem zylindrischen Bereich des Gehäuses 11 zwischen den Rohrböden 14, 15, vorzugsweise in der Nähe des kälteren Rohrbodens, d.h. hie des eingangsseitigen Anschlusses 19 angebracht. Das Dehnungsausgleichselement kann in gewissen Grenzen eine axiale Dehnung und Stauchung des Gehäuses 11 gestatten, so dass der Abstand zwischen den Rohrböden 14, 15 von der Temperatur und somit der Länge des Rohrbündels 21 festgelegt ist. Das Gehäuse 11 passt sich entsprechend an.

[0031] Der insoweit beschriebene Flachrohrwärmetauscher 10 arbeitet wie folgt:

In Betrieb wird dem Flachrohrwärmetauscher 10 über den Rohrbündelraumanschluss 31 heißes, vorzugsweise gasförmiges Fluid, bspw. Abgas einer Mikrogasturbine oder dergleichen zugeleitet. Oberhalb des ungefähr zylindrischen, durch die innere Gehäusewand 33 umschlossenen Mittelkörpers wird diese Strömung im Wesentlichen in Radialrichtung umgelenkt. Sie erreicht die in Figur 3 ersichtlichen Gassen 26 bis 28 und verteilt sich radial und in Umfangsrichtung in dem Rohrbündel 21. Von der Quereinströmungszone 29 ausgehend verläuft der Heißgasstrom dann in Längsrichtung im Wesentlichen par-

allel zu der Zentralachse 23 durch die ringförmigen Zonen zwischen den Flachrohren 22, die in Figur 2 zu erkennen sind. Die in dem Heißgasstrom enthaltene Wärme überträgt sich auf die Wandung der Flachrohre 22.

[0032] Gleichzeitig wird über den eingangsseitigen Anschluss 19 kaltes Gas, bspw. Luft mit Umgebungstemperatur in den Sammelraum 16 geleitet. Sie tritt von dort aus in die runden unteren Enden der Flachrohre 22 ein und strömt durch die inneren Spaltvolumina der Flachrohre 22 in den gegenüber liegenden Sammelraum 18 ab. Dabei fließt sie im Gegenstrom zu dem Heißgas, dessen Eingangstemperatur, bspw. um 1000° C betragen kann. Die zugeführte kühle Luft nimmt einen großen Teil der Wärme auf und kann in dem Sammelraum, bspw. 800° oder 900° erreichen. Sie fließt dann über den ausgangsseitigen Anschluss 20 ab.

[0033] Aufgrund der dargestellten Strömungsstruktur weist der Flachrohrwärmetauscher 10 sowohl für den Heißgasstrom wie auch für den Kaltgasstrom nur einen geringen Differenzdruckbedarf auf. Der entstehende Druckverlust ist gering. Aufgrund der engen Spaltweite der Flachrohre 22 und der dichten Anordnung derselben wird eine hohe Wärmeausnutzung erreicht. Das den Rohrbündelraum 17 über den Rohrbündelraumanschluss 32 verlassende Abgas ist bspw. auf geringe Temperaturen von wenigen 100°C, bspw. 200°C oder 300°C abgekühlt.

[0034] Figur 4 bis 6 veranschaulichen optionale Einzelheiten des Flachrohrs 22. Vorzugsweise weist es in den Abschnitten A und B unterschiedliche Umfänge auf, wie oben schon anhand der Querschnitte erläutert.

[0035] Weiter optional können insbesondere die Flachseiten des Abschnitts A jedes Flachrohrs 22 mit Vorsprüngen 35 bspw. in Form von Noppen oder Rippen, Flossen oder dergleichen versehen sein. Diese Vorsprünge 35 können als Abstandshalter dienen, um zu verhindern, dass sich Flachrohre 22 verschiedener Reihen zu sehr annähern und den dazwischen vorhandenen Strömungskanal versperren. Es ist auch möglich, diese Vorsprünge 35 als turbulenz erzeugende Elemente zu nutzen, um den Wärmeübergang von dem zwischen den Flachrohren 22 strömenden Heißgasen auf die Flachrohre 22 zu verbessern.

[0036] Figur 7 veranschaulicht eine abgewandelte Ausführungsform des Flachrohrwärmetauschers 10. Dieser ist hier mit einem Brenner 36 zur Erzeugung von Heißgas kombiniert und baulich vereinigt. Dazu ist der Rohrbündelraumanschluss 31 als Zuluftkanal für Verbrennungsluft ausgebildet bzw. genutzt. In diesem Kanal ist z.B. konzentrisch ein Brennstoffkanal 37 angeordnet. Über diesen kann bspw. Anodenrestgas oder ein sonstiger Brennstoff in den Brennraum 38 geführt werden. Der Brennraum 38 kann in dem Innenraum des von der inneren Gehäusewand 33 umschlossenen Behälters angeordnet sein. Eine Zündelektrode 39, die sich z.B. durch den Brennstoffkanal 37 erstrecken kann, komplettiert

den Brenner. Die innere Gehäusewand 33 kann innen mit einer thermisch isolierenden Auskleidung 40 versehen sein. Sie bildet mit einem den Brennraum 38 eingrenzenden Rohr einen Ringkanal 41, der zu dem Querströmungsraum 29 hin offen ist. Von dort strömt das von dem Brenner 36 abgegebene Heißgas durch die Längsströmungszone 30 (Rohrabschnitte A), um dort die vorhandene Wärme abzugeben. Das abgekühlte Abgas verlässt den Flachrohrwärmetauscher 10 wieder durch die Querströmungszone 29 (in Figur 7 links) und den Rohrbündelraumanschluss 32. Die über den Anschluss 19 zugeleitete

[0037] Luft wird im Gegenstrom durch die Flachrohre 22 geführt und dabei stark erhitzt, um durch den Sammelraum 18 und den Anschluss 20 mit hoher Temperatur bspw. deutlich höher als 700° oder 800° abgegeben zu werden. In dieser Anordnung bildet der Flachrohrwärmetauscher 10 einen Wärmetauscher mit interner Wärmequelle. Als Wärmequelle dient ein Brenner. Es können aber bei ansonsten gleicher Ausführung auch andere Wärmequellen in den Wärmetauscher 10 integriert werden.

[0038] Die vorstehend beschriebenen Prinzipien lassen sich auch an nicht ringförmigen bzw. nicht zylindrischen Wärmetauschern verwirklichen. Figur 8 veranschaulicht einen solchen Flachrohrwärmetauscher 10. Das von den Flachrohren 22 gebildete Rohrbündel 21 ist von einem im Querschnitt rechteckigen oder quadratischen Gehäuse 11 umschlossen. Die Flachrohre 22 sind in zueinander parallelen Reihen angeordnet und wie vorstehend beschrieben ausgebildet. Ihre runden Abschnitte B bilden Querströmungszonen. Beispielsweise kann dem Rohrbündelraum 17 Heißgas über einen oder mehrere Anschlüsse 31 zugeleitet werden. Abgekühltes Heißgas kann über einen oder mehrere Anschlüsse 32 aus dem Rohrbündelraum 17 ausgeleitet werden. Die Sammelräume 16, 18 können kastenförmig ausgebildet sein. Bei dieser wie bei den vorbeschriebenen Ausführungsformen weist das von den Flachrohren 22 gebildete Rohrbündel in Quereinströmungsrichtung eine Dicke auf, die vorzugsweise höchstens doppelt so groß ist wie die Länge des Abschnitts B, d.h. der Quereinströmungszone. Dies dient der Erzielung einer gleichmäßigen Gasverteilung zwischen den Flachrohren 22. Während die Richtung der Quereinströmung bei der Ausführungsform des Flachrohrwärmetauschers 10 nach Figur 8 durch die Längsrichtung der Anschlüsse 31, 32 bestimmt wird (in Figur 8 senkrecht zur Zeichenebene) ist diese Richtung bei den vorstehenden Ausführungsformen die Radialrichtung. Somit ist die Dicke C des Rohrbündels 21 im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 bis 3 durch den Abstand der äußeren Wand des Gehäuses 11 mit der inneren Gehäusewand 33 bestimmt. Dieser Abstand C ist vorzugsweise höchstens 1,5 bis 2 mal so groß wie die Länge B.

[0039] Einen weiter abgewandelten Wärmetauscher 10 veranschaulichen Figur 9 bis Figur 11. Soweit strukturelle und/oder funktionelle Übereinstimmung mit dem

Wärmetauscher 10 nach Figur 8 und im weiteren Sinne mit dem Wärmetauscher 10 nach Figur 1 - 7 besteht, wird unter Zugrundelegung der bereits eingeführten Bezugszeichen auf die vorige Beschreibung verwiesen. Ergänzend wird auf die Vorsprünge 35 hingewiesen, die hier als Verdickungen der Flachabschnitte A der Flachrohre 22 ausgebildet sind. Die Verdickungen dienen als Abstandshalter. Die z.B. zwischen 0,5 und 1 m Flachrohre 22 können solche Verdickungen 35 im Abstand von mehreren dm, z.B. 2 dm aufweisen. Sie stabilisieren die Abstände zwischen den Flachrohren 22 und machen den Wärmetauscher 10 unempfindlich gegen thermischen Versug, z.B. infolge von Temperaturdifferenzen.

[0040] Zur Verbesserung der Energieeffizienz von Hochtemperaturprozessen wird ein Flachrohrwärmetauscher 10 vorgeschlagen, der für hohe Temperaturen geeignet ist, eine hohe Temperaturspreizung verträgt und im Gegenstrombetrieb Übertragungswirkungsgrade von über 80% erreicht. Außerdem weist er eine hohe Packungsdichte, niedrige Druckverluste und z.B. weniger als 50 mbar, eine hohe Dauerhaftigkeit und Robustheit sowie niedrige Herstellungskosten auf. Der Flachrohrwärmetauscher weist Flachrohre auf, die flache Wärmetauscherabschnitte und runde Enden aufweisen. Die runden Enden definieren Quereinströmungszonen, die eine gleichmäßige Gasverteilung eines Heißgases zwischen den Flachabschnitten der Flachrohre 22 bei niedrigen Druckverlusten erbringen. Der Wirkungsgrad eines solchen Flachrohrwärmetauschers ist mit dem eines Plattenwärmetauschers vergleichbar, wobei jedoch eine wesentlich höhere Robustheit gegeben ist.

Bezugszeichenliste:

[0041]

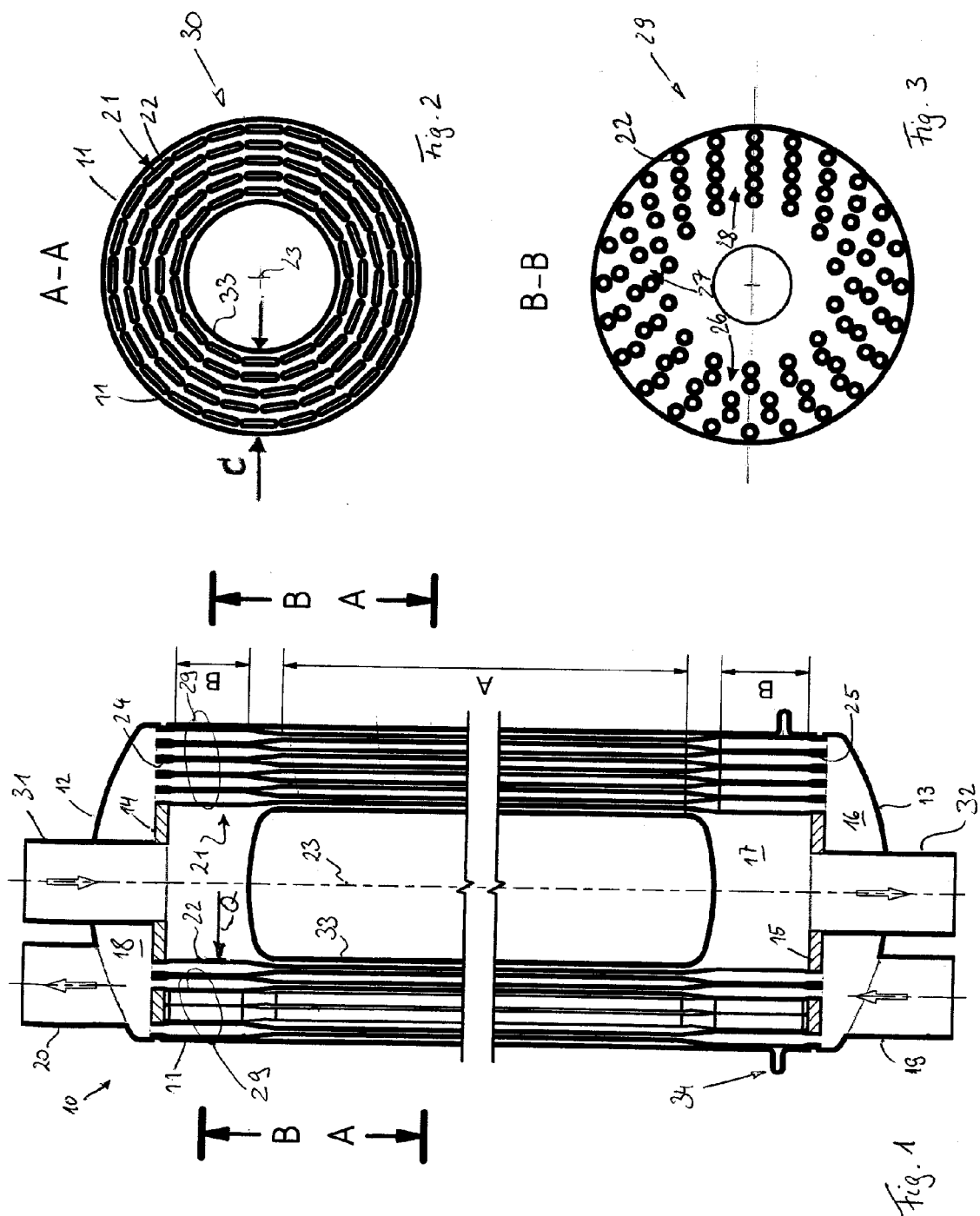
10	Flachrohrwärmetauscher
11	Gehäuse
12, 13	Verschlussdeckel
14, 15	Rohrböden
16	eingangsseitiger Sammelraum
17	Rohrbündelraum
18	ausgangsseitiger Sammelraum
19	eingangsseitiger Anschluss
20	ausgangsseitiger Anschluss
21	Rohrbündel
22	Flachrohr

23	Zentralachse
A	flacher Abschnitt des Flachrohrs 22
5 B	runder Abschnitt des Flachrohrs 22
C	Rohrbündeldicke
24, 25	Ende des Flachrohrs 22
10 26 - 28	Gassen
29	Querströmungszone
15 30	Längsströmungszone
31, 32	Rohrbündelraumanschlüsse
33	innere Gehäusewand
20 34	Dehnungsausgleichselement
35	Vorsprünge
25 36	Brenner
37	Brennstoffkanal
38	Brennraum
30 39	Zündelektrode
40	Auskleidung
35 41	Ringkanal
Q	Querströmungsrichtung

40 Patentansprüche

1. Flachrohrwärmetauscher (10), insbesondere für gasförmige Medien, mit einem geschlossenen Gehäuse (11, 12, 13), das an zwei einander gegenüberliegenden Seiten zwei Rohrböden (14, 15) aufweist, die in dem Gehäuse (11, 12, 13) einen eingangsseitigen Sammelraum (16), einen Rohrbündelraum (17) und einen ausgangsseitigen Sammelraum (18) abteilen, mit einem Rohrbündel (21), das eine Rohrbündellängsrichtung (23) festlegt und zumindest vorwiegend aus gerade ausgebildeten Flachrohren (22) mit runden oder polygonalen Enden (B) besteht, die parallel zu der Rohrbündellängsrichtung (23) angeordnet und an den Rohrböden (14, 15) bei entsprechenden Öffnungen befestigt sind, so dass die Flachrohre (22) mit den Sammelräumen (16, 18) kommunizieren,

- wobei jeder Sammelraum (16, 18) mit zumindest einem Sammelraumanschluss (19, 20) und der Rohrbündelraum (17) mit zumindest zwei in Rohrbündellängsrichtung (23) voneinander im Abstand angeordneten Rohrbündelraumanschlüssen (31, 32) versehen ist, wobei der Rohrbündelraum (17) drei Zonen aufweist, nämlich zwei bei den Rohrbündelraumanschlüssen (31, 32) ausgebildete Querströmungszonen (29) und eine zwischen diesen Querströmungszonen (29) ausgebildete Längsströmungszone (30).
2. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querströmungszonen (29) unmittelbar an die beiden Rohrböden (14, 15) grenzen.
 3. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flachrohre (22) in den Querströmungszonen (29) jeweils einen Rund-, Kreis- oder Polygonalquerschnitt und in der Längsströmungszone (30) einen Flachquerschnitt aufweisen.
 4. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flachrohre (22) in der Längsströmungszone (30) einen Flachquerschnitt mit ebenen Flanken aufweisen.
 5. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**, wenn das Rohrbündel (21) in der Querströmungszone (29) in Querströmungsrichtung (Q) eine Querausdehnung (C) aufweist und wenn die Querströmungszone (29) in Rohrbündellängsrichtung (23) eine Länge (B) aufweist, die Länge (B) mindestens das 0,5-fache der Querausdehnung (C) beträgt.
 6. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (11, 12, 13) eine im Querschnitt ringförmig geschlossene Innenwand (33) und eine im Querschnitt ebenfalls ringförmig geschlossene Außenwand (11) aufweist.
 7. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Innenwand (33) eine Wärmequelle (36) umschließt.
 8. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flachrohre (22) auf zueinander konzentrischen Kreisen angeordnet sind.
 9. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Umfangsrichtung zu messenden Abstände geringer sind als die Spaltweite der Flachrohrabschnitte (A).
 10. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den runden Enden der Flachrohre Querströmungsgassen (26, 27, 28) ausgebildet sind.
 11. Flachrohrwärmetauscher nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrbündelraumanschlüsse (31, 32) den Rohrboden (14, 15) durchsetzend angeordnet sind.
 12. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flachrohre (22) mit Abstandshaltestrukturen (35) versehen sind.
 13. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens einige der Flachrohre (22) mit Turbulenz erzeugenden Strukturen (35) versehen sind.
 14. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (11, 12, 13) mit zumindest einem Dehnungsausgleichselement (34) versehen ist.
 15. Flachrohrwärmetauscher nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Rohrbündelraum (17) ein Katalysator angeordnet ist.



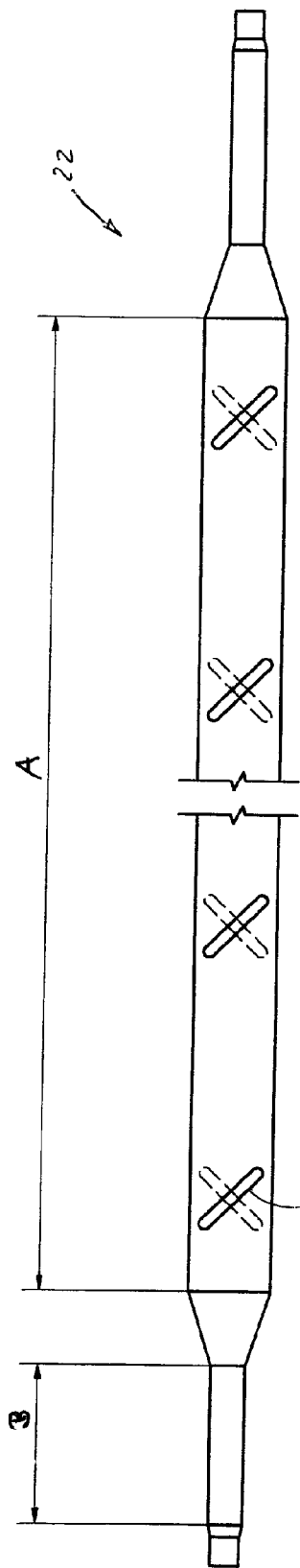


Fig. 4

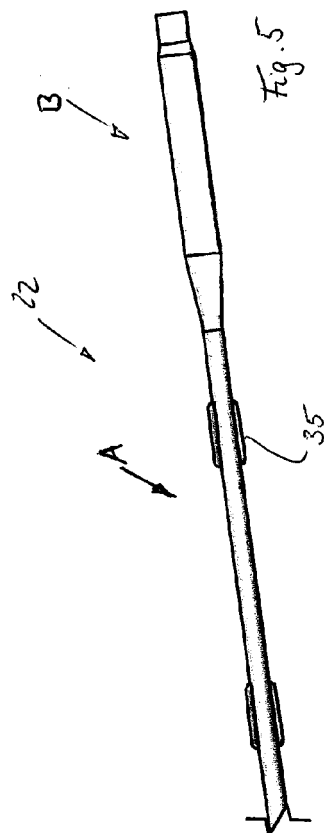


Fig. 5

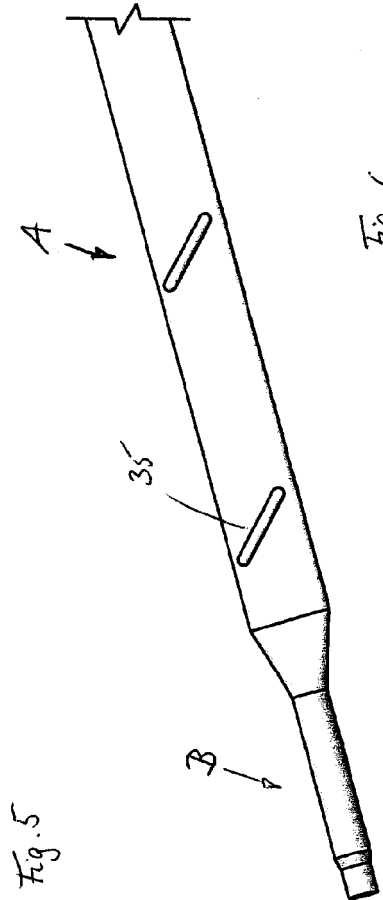


Fig. 6

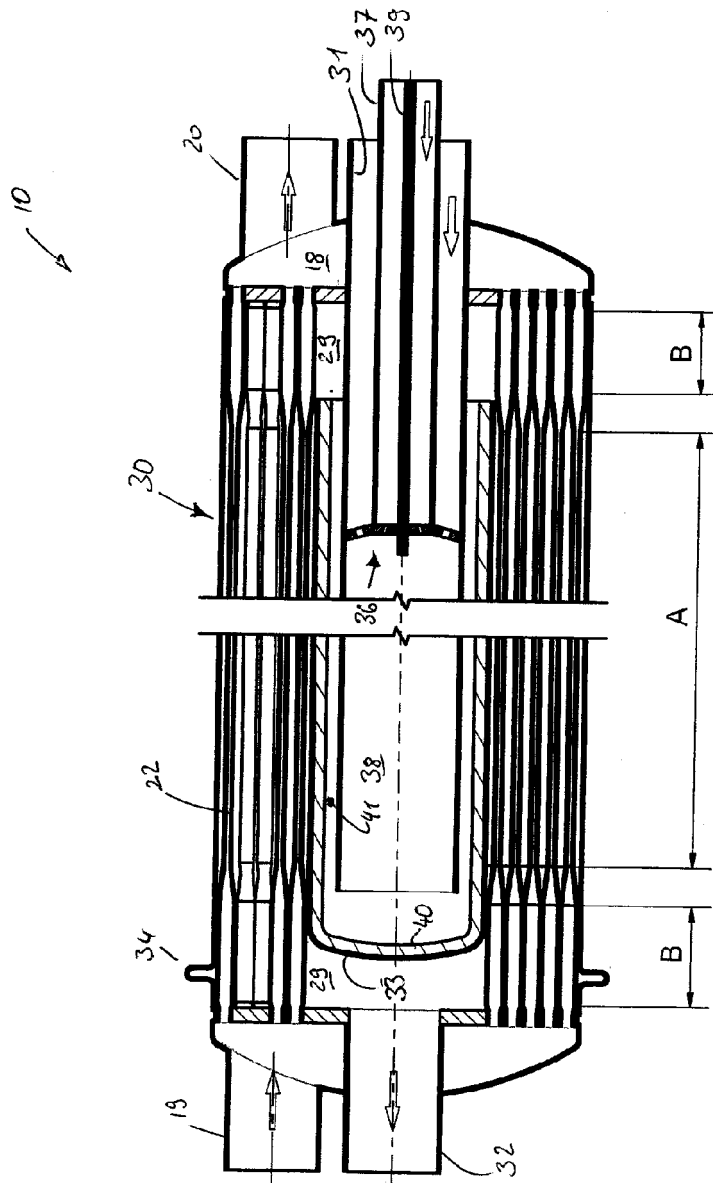


fig. 7

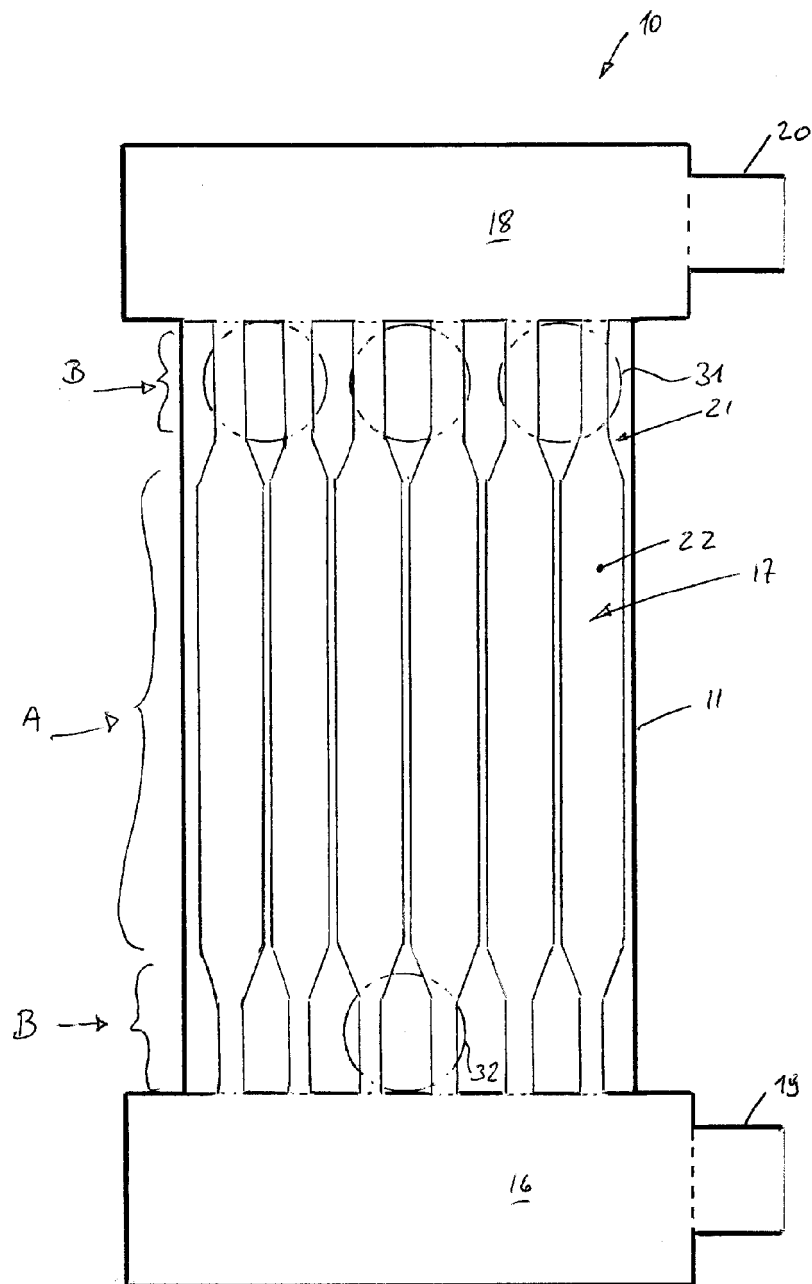


Fig. 8

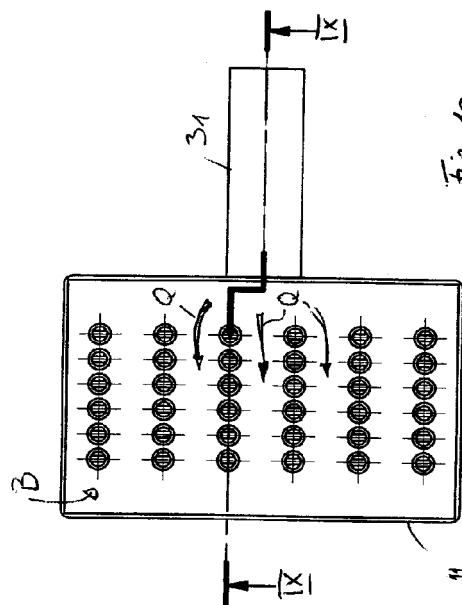


Fig. 10

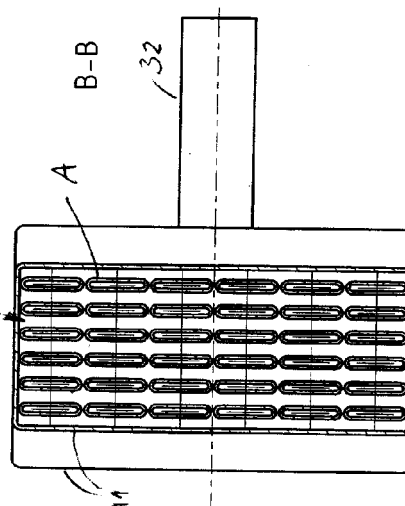


Fig. 11

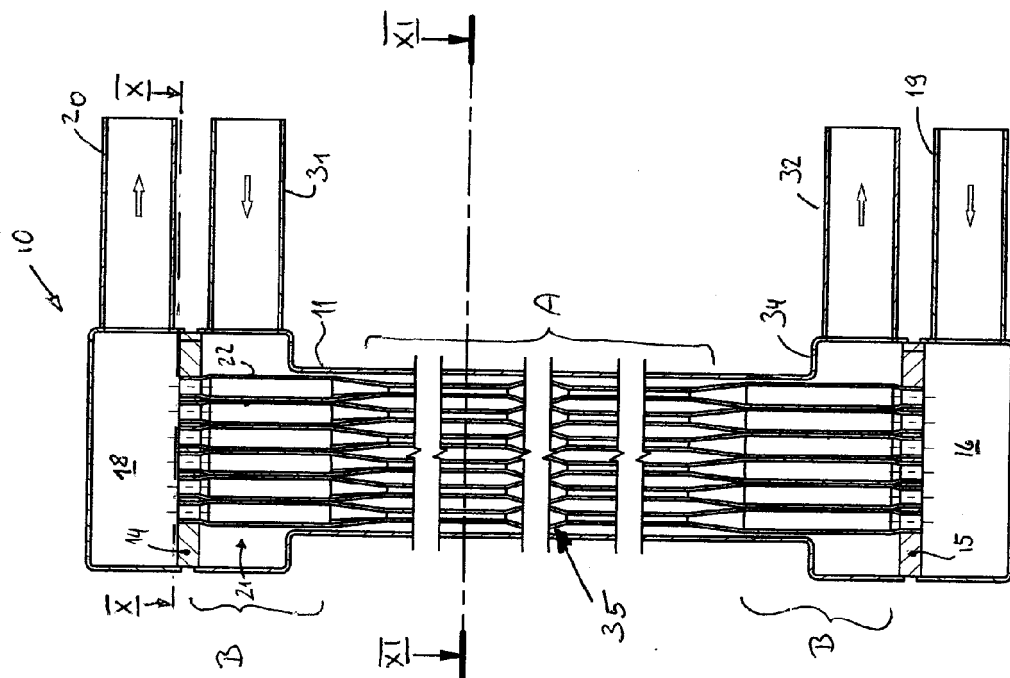


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 11 18 5815

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 2 138 795 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 30. Dezember 2009 (2009-12-30) * Abbildungen 2,5 *	1-15	INV. F28D7/16 F28F1/00
A	FR 2 812 719 A1 (CIE IND D APPLIC THERMIQUES [FR]) 8. Februar 2002 (2002-02-08) * Abbildung 1 *	1-15	
A	JP 2005 180268 A (ISUZU MOTORS LTD) 7. Juli 2005 (2005-07-07) * Zusammenfassung *	1-15	
A	US 1 946 234 A (JOSEPH PRICE) 6. Februar 1934 (1934-02-06) * das ganze Dokument *	1-15	
A	FR 2 293 684 A2 (TREPAUD GEORGES [FR]) 2. Juli 1976 (1976-07-02) * Abbildung 1 *	1-15	
A	US 4 836 276 A (YAMANAKA YASUTOSHI [JP] ET AL) 6. Juni 1989 (1989-06-06) * Abbildungen 1,3 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F28D F28F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Januar 2012	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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 11 18 5815

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.

24-01-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2138795 A1	30-12-2009	CN 101652621 A	17-02-2010
		EP 2138795 A1	30-12-2009
		JP 2008256253 A	23-10-2008
		US 2010116483 A1	13-05-2010
		WO 2008123599 A1	16-10-2008
FR 2812719 A1	08-02-2002	KEINE	
JP 2005180268 A	07-07-2005	JP 4345470 B2	14-10-2009
		JP 2005180268 A	07-07-2005
US 1946234 A	06-02-1934	KEINE	
FR 2293684 A2	02-07-1976	CA 1028316 A1	21-03-1978
		DE 2554597 A1	10-06-1976
		ES 443250 A2	16-05-1977
		FR 2293684 A2	02-07-1976
		GB 1484409 A	01-09-1977
		IT 1053114 B	31-08-1981
		JP 1223592 C	15-08-1984
		JP 51075802 A	30-06-1976
		JP 58054321 B	03-12-1983
		SE 7513651 A	08-06-1976
		US 4058161 A	15-11-1977
US 4836276 A	06-06-1989	KEINE	

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 9620808 A [0004]
- EP 1995516 B1 [0005]