



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 007 214.3**

(22) Anmeldetag: **25.11.2020**

(43) Offenlegungstag: **01.07.2021**

(51) Int Cl.: **F25B 17/08 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:
10 2019 008 705.4 17.12.2019

(71) Anmelder:
Silica Verfahrenstechnik GmbH, 13509 Berlin, DE

(74) Vertreter:
**COHAUSZ HANNIG BORKOWSKI WIRGOTT
Patentanwaltskanzlei GbR, 12437 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Hartbrich, Andreas, Dr., 13509 Berlin, DE; Jekow,
Alexander, Dipl.-Ing., 17194 Klocksın, DE; Marxer,
Ruprecht, Dipl.-Ing. (FH), 10823 Berlin, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

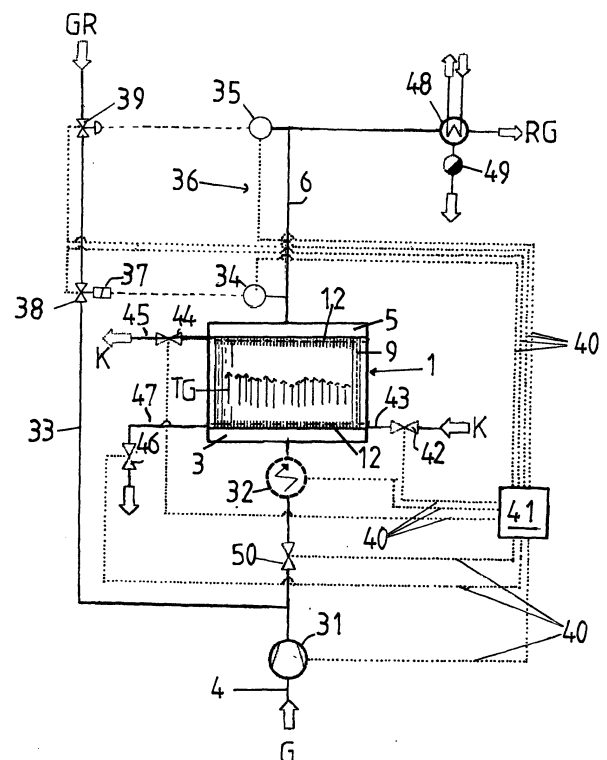
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Reaktor für exotherme Reaktionen in der Gasphase**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Reaktor für exotherme Reaktionen in der Gasphase. Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und einen Reaktor bereitzustellen, mit denen es möglich ist, im großtechnischen Maßstab Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher mit schlanken Strömungskanälen zum Behandeln eines mit unerwünschten Bestandteilen belasteten Gases oder zur exothermen Reaktion zwischen Gasen einzusetzen, indem das Reaktionsverhalten der Katalysatorschüttung in den Strömungskanälen des Wärmeaustauschers vergleichmäßigt, die Gefahr einer Verblockung von den mit Katalysator gefüllten Strömungskanälen und der Bildung von Hot-Spots in der Katalysatorschüttung gesenkt, die Randgängigkeit des Gases am Katalysator vorbei unter gleichzeitiger Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit weitgehend vermieden wird.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verwenden mindestens eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers (1) mit vom Verteilraum (3) zum Sammelraum (5) durchströmungsoffenen Strömungskanälen (9) mit einer lichten Weite (W) von mindestens 10 bis maximal 80 mm eines Strömungskanals (9), Strömungsübergängen (17) zwischen benachbarten Strömungskanälen (9), in den Strömungskanälen (9) positionierte Strömungsschikanen (19) und in den Strömungsräumen (12) befindliche Strömungspfade (SF) für das Kühlmedium (K) bildende Strömungsleit- und Abstandsbleche (22) in folgenden Schritten:

a) gleichzeitiges Erzeugen ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur exothermen Reaktion zwischen Gasen, beispielsweise zum katalytischen Behandeln eines mit unerwünschten gasförmigen Bestandteilen belasteten Gases, insbesondere Prozessgase, bei dem ein Reaktionsgas wie Sauerstoff, Wasserstoff oder Kohlenmonoxid dem Prozessgas zugemischt oder Kohlendioxid mit Wasserstoff an einem Katalysator zur Reaktion gebracht wird, das Gasgemisch in einem Erhitzer auf Reaktionstemperatur erhitzt wird und über einen zufuhrseitigen Verteilraum mindestens eines Plattenwärmeaustauschers eine Vielzahl von mit einer Katalysatorschüttung gefüllte Strömungskanäle, die von spiegelbildlich aufeinander liegenden durch Stege verbundene, zu Well- oder Profilblechpaaren zusammengefasste Well- und/oder Profilblechen gebildet sind, in parallel aufgeteilten Teilströmen durchströmt, wobei die unerwünschten Bestandteile am Katalysator der Katalysatorschüttung oxidiert bzw. verbrannt werden und die Reaktionswärme durch ein in Strömungsräumen, die zwischen den Well- oder Profilblechpaaren ausgebildet sind, im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen geführtes Kühlmedium indirekt abgeführt wird, und die Teilströme nach ihrem Verlassen der Strömungskanäle über einen abströmseitigen Sammelraum als Reingas abgeführt werden,

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin einen Reaktor zur Durchführung des Verfahrens, mit mindestens einem Plattenwärmeaustauscher, der eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten mit einer Katalysatorschüttung gefüllten Strömungskanälen und dazu senkrecht liegenden Strömungsräumen umfasst, die von spiegelbildlich aufeinander liegenden, durch Stege verbundene, zu Wellblechpaaren zusammengefasste Well- und/oder Profilbleche gebildet sind, wobei die Strömungsräume zwischen den Wellblechpaaren angeordnet sind, und die Strömungskanäle für den Durchtritt der vom Prozessgas und Reaktionsgas abgeteilten Teilströme zuströmseitig mit einem Verteilraum und abströmseitig mit einem Sammelraum durchströmungsoffen verbunden sind, wobei der zuströmseitige Verteilraum mit einer Zufuhrleitung für ein Gemisch aus Prozessgas und Reaktionsgas und der abströmseitige Sammelraum mit einer Reingasleitung in Verbindung steht, und die Strömungsräume in einen Verteilraum zum Zu- und Abführen eines Kühlmediums zum indirekten Kühlen der Katalysatorschüttung durchströmungsoffen münden.

Stand der Technik

[0003] Unerwünschte Bestandteile aus Gasen mittels Katalysatoren zu entfernen, gehören seit langem zum Stand der Technik. Zum Einsatz kommen beispielsweise Katalysatoren aus Platin, Palladium oder deren Gemische, die in einer vom zu reinigenden Gas durchströmten Schüt-

tung (DE 33 18 098A1, DE 35 05 351 A1, DE 197 54 185 C1, DE 198 09 200 A1), oder in einer Bettanordnung des Katalysators zwischen Wärmeaustauscherplatten (DE 103 61 515 A1, EP 0 534 295 A1, EP 2 718 086 B1, EP 1 284 813 B1, DE 603 17 545 A2) vorliegen.

[0004] Bei der klassischen katalytischen Umsetzung durchströmt das zu reinigende Gas den mit Katalysatorgranulat gefüllten Reaktor, wobei die unerwünschten Bestandteile in einer exothermen Reaktion unter Freisetzung von Wärme am Katalysator oxidiert werden. Zur vollständigen Beschreibung einer Katalysatorschüttung gehört die Form, Größe und Größenverteilung der Katalysatorpartikel. Bei einer Katalysatorschüttung im Festbett liegt ein sehr großes Verhältnis von den Schüttungsabmessungen zur Partikelgröße vor, so dass der Störeinfluss der die Schüttung begrenzenden Wand vernachlässigbar ist. In einem Rohr mit geringem Innendurchmesser ist dieser Störeinfluss nicht mehr vernachlässigbar, weil die Schüttdichte direkt an der Wand am kleinsten ist und dadurch einen geringeren Druckverlust nach sich zieht, was zu einer höheren Strömungsgeschwindigkeit, der sogenannten Randgängigkeit, führt. Erfahrungsgemäß weisen die Katalysatorschüttungen eine Partikelgrößenverteilung, mit einer Abweichung von der mittelen Partikelgröße auf, wodurch die Partikel mit einer kleineren Größe die Lücken zwischen den größeren Partikeln füllen, so dass auch die Schüttdichte in der Nähe der Wand steigt, so dass die Randgängigkeit vernachlässigbar gering ausfällt. Steigt die Schüttdichte, so steigt auch der Druckverlust und die Eigenschaften der Schüttung ändern sich hinsichtlich der Strömungsgeschwindigkeit, der Mischungseigenschaften und der Wechselwirkung mit dem Katalysator bzw. das Reaktionsverhalten sowie dem Wärmetransport (DE 20 2006 014 118 U1).

Im Gegensatz zu den in Rohrbündelreaktoren eingesetzten Präzisionsrohren mit nahezu konstanten Innendurchmessern, die weitgehend gleiche Eigenschaften der Katalysatorschüttung gewährleisten sollen, haben Strömungskanäle in Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschern fertigungsbedingt keine gleichbleibend innere lichte Weite, so dass die Schüttdichte von Strömungskanal zu Strömungskanal nicht gleich und das Reaktionsverhalten in den Strömungskanälen unterschiedlich ist.

Die Umsetzungsreaktionen sind überwiegend exothermer Natur. d.h. die während der Oxidation freiwerdende Wärme kann bedingt durch das unterschiedliche Reaktionsverhalten die Bildung von sogenannten Hot-Spots in der Katalysatorschüttung begünstigen, was zur Unbrauchbarkeit des Katalysators führt.

[0005] Neben der Anordnung des Katalysators als Schüttung im Festbett oder der Anordnung des Katalysators zwischen Wärmeaustauscherplatten ist auch die Befüllung eines inneren Rohres eines Platten-

wärmeaustauschers mit einem Katalysator oder mit Füllkörpern bekannt (DE 34 11 675 A1). Vorgeschlagen wird eine Vorrichtung zum Wärme- und Stoffaustausch zwischen zwei oder mehr strömungsfähigen Medien oder zum Einleiten einer Reaktion zwischen den Medien mit einer Zu- und einer Ableitung für das eine und einer Zu- und Ableitung für das andere Medium und mindestens zwei umschließenden Rohren, von denen das eine an die eine und das andere an die andere Zu-/Ableitung angeschlossen ist. Das innere Rohr ist mit seinen beiden Enden durch das äußere Rohr geführt, wobei dieses mit seinen Enden übersteht. Das innere Rohr kann mit einem Katalysator oder mit Füllkörpern gefüllt sein. Es können auch mehrere sich umschließende innere und äußere Rohre nebeneinander angeordnet und das innere und äußere Rohr auch sich mit Abstand gegenüberliegenden und parallel zueinander verlaufenden Platten gebildet sein.

[0006] Weiterhin ist aus der DE 198 09 200 A1 ein Apparat, insbesondere für die Verwendung als chemischer Reaktor und/oder Adsorber und/oder Regenerator bekannt, der im Wesentlichen zylindersymmetrisch um eine Vorzugsachse aufgebaut ist und wenigstens zwei Schüttungen aus Teilchen enthält, die katalytisch und/oder adsorptiv und/oder wärmspeichernd wirken. Der Apparat weist Mittel zum Zu- und Abführen von gasförmigen oder flüssigen Medien auf, die jeweils den voneinander abgewandten und den einander zugewandten Enden der Schüttungen zugeordnet sind.

[0007] In der EP 1 975 539 A2 ist ein Wärmeaustauscher oder chemischer Reaktor offenbart, der einen Wärmeaustauschkörper umfasst, welcher einen Fluidströmungskanal oder mehrere Fluidströmungskanäle definiert, und einen entfernbaren Einsatz aufweist. Der Einsatz umfasst eine Reihe von Kontaktplatten, die entlang einer gemeinsamen Achse gestapelt sind und eine Presspassung in einen der Strömungskanäle aufweisen, wodurch sekundäre Wärmeaustauschflächen in thermischem Kontakt mit den Primärwandflächen vorgesehen sind.

[0008] Nach diesem Stand der Technik gibt es zwei grundlegende Systeme, einen Katalysator in einen vom Prozessfluid durchströmten Strömungskanal einzubringen. Die erste Möglichkeit besteht darin, den Katalysator als geträgerte Schicht im Strömungskanal anzuordnen (EP 1 195 193 B1, EP 1 361 919 B1, EP 1 430 265 B1, DE 11 2006 000 447 T5, EP 1 434 652 B1, WO 03/095924 A1). Die Partikelgröße in diesen Fällen liegt bei weniger als 0,15 mm, so dass dieser Lösungsansatz für Strömungskanäle mit geringen Querschnitten und geschlossenen Strömungskanälen von Plattenwärmeaustauschern geeignet ist. Bei der zweiten Möglichkeit wird der Katalysator oder das Adsorptionsmittel als eine Schüttung

oder Packung in einen relativ offenen ungehinderten Strömungsdurchgang mit größeren Strömungsquerschnitten eingebracht (WO 2006/075 163 A2). Die verwendeten Partikelgrößen liegen hier bei mehr als 2 bis 3 mm. Ist die Katalysatorpackung verbraucht, muss diese aus den Strömungskanälen entfernt werden, indem die Packung durch einen in den Strömungskanal eingeführten Stab gedrückt wird.

[0009] Beide Systeme sind mit gravierenden Nachteilen verbunden. Das erste System ist aufgrund seines komplizierten konstruktiven Aufbaus gewissermaßen ein Einwegsystem, weil der Katalysator bzw. das Adsorptionsmittel nach ihrem Verbrauch nur mit verhältnismäßig hohem technischen Aufwand entfernt werden können oder der Apparat sogar verschrottet werden muss.

[0010] Beim zweiten System ist eine Verblockung einzelner Strömungskanäle durch die in den Strömungskanälen befindliche Katalysatorschüttung nicht sicher auszuschließen, die dazu führt, dass die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens beeinträchtigt wird. Außerdem erhöht sich der Verbrauch an Katalysator, was die Betriebskosten des Verfahrens erhöht.

[0011] Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Nachteil besteht darin, dass insbesondere die mit Katalysator gefüllten Strömungskanäle mit kleinen Querschnittsflächen zur Randgängigkeit des Prozessgases am Katalysator vorbei neigen. Für kleine Querschnitte der Strömungskanäle konnten sich deshalb Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher als Reaktoren im großtechnischen Maßstab nicht durchsetzen.

Aufgabenstellung

[0012] Bei diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und einen Reaktor bereitzustellen, mit denen es möglich ist, im großtechnischen Maßstab Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher mit schlanken Strömungskanälen zum Behandeln eines mit unerwünschten Bestandteilen belasteten Gases oder zur exothermen Reaktion zwischen Gasen einzusetzen, indem das Reaktionsverhalten der Katalysatorschüttung in den Strömungskanälen des Wärmeaustauschers vergleichmäßig, die Gefahr einer Verblockung von den mit Katalysator gefüllten Strömungskanälen und der Bildung von Hot-Spots in der Katalysatorschüttung gesenkt, die Randgängigkeit des Gases am Katalysator vorbei unter gleichzeitiger Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit weitgehend vermieden wird.

[0013] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch einen Reaktor mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und des Reaktors sind den Unteransprüchen entnehmbar.

[0015] Der erfindungsgemäßen Lösung liegt die Erkenntnis zugrunde, für den Stoffaustausch zwischen dem Gas und dem Katalysator kleinquerschnittige Strömungskanäle eines mit Katalysator gefüllten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers zu verwenden und gleichzeitig für den Wärmeaustausch mit dem Katalysator in Form einer Kühlung während der Oxidation die im Kreuz- oder Gegenstrom zu den Strömungskanälen des Stoffaustauschs geführten Strömungskanäle zu nutzen.

[0016] Dies wird durch ein Verwenden mindestens eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers mit vom Verteilraum zum Sammelraum durchströmungsoffenen Strömungskanälen mit einer lichten Weite von mindestens 10 bis maximal 80mm, Strömungsübergängen zwischen benachbarten Strömungskanälen, in den Strömungskanälen positionierte Strömungsschikanen und in den Strömungsräumen befindliche Strömungspfade für das Kühlmedium bildende Strömungsleit- und Abstandsbleche in folgenden Schritten:

- a) gleichzeitiges Erzeugen von Turbulenzen in den Teilströmen des Gemisches aus Prozessgas und Reaktionsgas innerhalb der Strömungskanäle und im Kühlmedium innerhalb der Strömungsräume,
- b) Aufteilen des Gasgemisches aus Prozessgas und Reaktionsgas in Bypassströme während der katalytischen Reaktion und Einleiten der Bypassströme in die Durchtrittsöffnungen der Strömungsübergänge seitwärts gerichtet in die benachbarten Strömungskanäle.

[0017] Die Turbulenzen im Gasgemisch aus Prozessgas und Reaktionsgas werden nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens durch Strömungsschikanen erzeugt, die als Ausprägungen senkrecht und/oder quer zur Strömungsrichtung in der Wandung des Strömungskanals gleichzeitig mit dem Wellbiegen bzw. Wellwalzen der Wellbleche ausgebildet werden, wobei die Ausprägungen nach innen in den Strömungskanal und/oder nach außen in den Strömungsraum ausgerichtet sind.

[0018] Die Strömungsschikanen tragen dazu bei, dass der in den Strömungskanal jeweils eintretende Teilstrom des Prozessgases zusätzlich in das Innere des Strömungskanals gelenkt und Turbulenzen erzeugt werden, die der Ausbildung einer Randgängigkeit entlang der Wandung des Strömungskanals entgegenwirken. Die erzeugten Turbulenzen haben außerdem den Vorteil, dass das Kühlmedium von den nach außen in die Strömungsräume gerichteten Aus-

prägungen direkt an der Oberfläche verwirbelt wird und so den Wärmeaustausch verbessert.

[0019] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Turbulenzen im Kühlmedium durch in den Strömungsräumen zwischen den Wellblechpaaren positionierte Strömungsleit- oder Abstandbleche erzeugt, wobei das Kühlmedium während der katalytischen Reaktion im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen ein- oder mehrgängig geführt werden kann.

[0020] Für den Fall, dass das Kühlmedium mehrgängig geführt werden soll, werden benachbarte Strömungsräume wechselweise miteinander verbunden, wodurch das Kühlmedium von Strömungsraum zu Strömungsraum umgelenkt wird.

[0021] Durch die Strömungsleit- und Abstandsbleche in den Strömungsräumen zwischen den Wellblechpaaren wird eine ständige Umlenkung des an den Strömungskanälen vorbeiströmenden Kühlmediums erzwungen, so dass der indirekte Wärmeaustausch mit dem Katalysator eine hohe Effektivität erreicht. Gleichzeitig stellen die Strömungsleit- und Abstandsbleche einen genauen Abstand der über- oder untereinanderliegenden Wellblechpaare sicher und ermöglichen eine stabile und kompakte Bauweise.

[0022] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Größe der Durchtrittsöffnung für den Bypassstrom durch die Anzahl der Strömungsübergänge bestimmt wird, wobei die jeweilige Durchtrittsöffnung auf eine Größe und Form angepasst wird, die kleiner als die Abmessung und Form der kleinsten Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist. Die Durchtrittsöffnung eines Strömungsübergangs definiert somit eine Querschnittsfläche, über die eine bestimmte Menge des vom Prozessgas abgeteilten, in den jeweiligen Strömungskanal eintretenden Teilstroms als Bypassstrom in den benachbarten Strömungskanal gelangt, so dass mit der Querschnittsfläche aller Durchtrittsöffnungen und deren Verteilung entlang der Stege die Größe der Bypassströme bestimmt und eine gleichmäßige oder ungleichmäßige Verteilung der Bypassströme über das Adsorptionsmittel im jeweilig benachbarten Strömungskanal erreicht werden kann.

[0023] So kann beispielsweise die Anzahl der Strömungsübergänge in den Stegen in Nähe des zufuhrseitigen Verteilraums größer sein als die Anzahl der Strömungsübergänge in den Stegen nahe dem abfuhrseitigen Verteilraum, d.h. die Anzahl der entlang der Stege verteilten Strömungsübergänge kann variieren.

[0024] Dies hat den außerordentlichen Vorteil, dass sich eine eventuell beginnende Verblockung des

Gasgemisches an den Durchtrittsöffnungen der Strömungsübergänge auflöst oder unterbrochen wird.

[0025] Nach einer vorzugsweisen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Strömungsübergang aus einer beim Wellwalzen der Well- oder Profilbleche in deren Stege eingeformten Einsenkung/Rille gebildet werden, die beim seitenerkehrten Übereinanderlegen der Well- oder Profilbleche vom darüber oder darunterliegenden Bereich der Stege abgedeckt wird und die aufeinanderliegenden Stege durch Laserschweißen oder Hartlöten stoffschlüssig verbunden werden, wobei eine Schweißnaht in Längsrichtung der Stege von der Einsenkung durchdrungen wird und die Einsenkung durch Schweißnähte in Querrichtung der Stege gasdicht abgedichtet wird.

[0026] Nach einer weiteren Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Strömungsübergang beim losen Übereinanderlegen der Well- oder Profilbleche aus einem flachen Spalt zwischen den Stegen gebildet, indem die Stege durch Laserlinienschweißen mit Schweißnähten stoffschlüssig so verbunden werden, dass der Spalt die Schweißnaht in Längsrichtung der Stege unterbricht und der Spalt durch beidseitig parallel verlaufende Schweißnähte in Querrichtung der Stege gasdicht abgedichtet wird.

[0027] In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Reingas einem Kühler zugeführt und auskondensiertes Wasser aus dem Reingas abgeschieden werden. Durch eine Nachschaltung einer Adsorptions-Trocknungsanlage lässt sich der Wassergehalt im Reingas weiter auf einen Wert von unter 1 ppmv reduzieren.

[0028] Die weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass als Katalysator lose Schüttungen verwendet werden, die folgende Materialien umfassen: Palladium, Platin, Vanadium, Wolfram, Chrom, Molybdän, Titan, Mangan, Kobalt, Nickel, Silber, Kupfer, Zink, Eisen, Aluminium, Silizium, Magnesium, Phosphor, Beryllium und dessen Oxide, Barium, Ruthenium oder deren Gemische mit einer mittleren Partikelgröße zwischen 0,6 bis 6,0 mm verwendet werden.

Als Kühlmedium kommt Wasser oder ein Wasser-Glykol-Gemisch oder ein Thermalöl zum Einsatz.

[0029] Die Lösung der Aufgabe wird mit dem erfindungsgemäßen Reaktor dadurch erreicht, dass der Plattenwärmeaustauscher ein modifizierter Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher mit vom Verteilraum zum Sammelraum durchströmungsoffenen Strömungskanälen mit folgenden Merkmalen ist:

a) die Strömungskanäle haben eine lichte Weite von mindestens 10 bis maximal 80 mm,

b) benachbarte Strömungskanäle sind durch in die Stege eingeformte Strömungsübergänge zum seitwärts gerichteten Einleiten von Bypassströmen aus dem jeweiligen Teilstrom des Gasgemisches in die Strömungskanäle verbunden,

c) in den Strömungskanälen sind Strömungsschikanen zum Erzeugen von Turbulenzen im jeweiligen Teilstrom des Gasgemisches innerhalb der Strömungskanäle angeordnet und

d) in den Strömungsräumen zwischen den Wellblechpaaren sind Strömungspfade bildende Strömungsleit- und Abstandsbleche zum Erzeugen von Turbulenzen im Kühlmedium angeordnet.

[0030] Nach einer bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Reaktors umfasst das Strömungsleit- und Abstandsblech ein dünnes Wellblech mit in die Wellenberge eingeformte, die Höhe der Wellenberge übersteigende Abstandshalterprofile, die zueinander von Wellenberg zu Wellenberg auf Lücke versetzt angeordnet sind, wobei die Abstandshalterprofile in den von den Stegen der über- und untereinanderliegenden Wellblechpaaren gebildeten Versatz abstützend eingreifen und das jeweilige Abstandshalterprofil jeweils endseitig am dazugehörigen Wellblechpaar stoffschlüssig fixiert ist.

[0031] Dies hat den Vorteil, dass die Strömungsleit- und Abstandsbleche nicht nur die Turbulenzen im Kühlmedium erzeugen, sondern zugleich auch die aus den spiegelbildlich aufeinanderliegenden Wellbleche gebildeten Wellblechpaare zueinander auf Abstand halten, so dass das Kühlmedium während der katalytischen Reaktion im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen ein- oder mehrgängig ohne Behinderung durch die Strömungsräume geführt werden kann.

[0032] Des Weiteren tragen die Strömungsleit- und Abstandsbleche zu einer kompakten Bauweise des erfindungsgemäßen Reaktors bei.

[0033] Wesentlich für die weitgehende Vermeidung einer Randgängigkeit der Teilströme des Gasgemisches am Katalysator vorbei ist, dass die Strömungsschikanen durch Ausprägungen gebildet sind, die quer und/oder parallel zur Strömungsrichtung des jeweiligen Teilstroms des Gasgemisches in die Wandung der Strömungskanäle nach innen und/oder von der Wand nach außen gerichtet eingeformt sind.

[0034] Die Strömungsschikanen ermöglichen es, den in den jeweiligen Strömungskanal eintretenden Teilstrom des Prozessgases in das Innere des Kanals zu lenken und Turbulenzen zu erzeugen, die der

Randgängigkeit, insbesondere in Strömungskanälen mit kleinem Querschnitt, entgegen zu wirken.

[0035] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Reaktors ist der Strömungsübergang quer zur Längsrichtung der Stege angeordnet ist, dessen Durchtrittsöffnungen jeweils in die benachbarten Strömungskanäle münden, wobei der Strömungsübergang aus mindestens einer im Steg eingeformten Einsenkung/Rille gebildet ist, die vom darüber- oder darunterliegenden Bereich des dazu seitenverkehrt angeordneten Stegs abgedeckt ist, wobei die Stege in Längs- und Querrichtung stoffschlüssig verbunden sind.

Die stoffschlüssige Verbindung kann durch Laserlinsenschweißen erzeugte Schweißnähte oder Hartlötverbindungen umfassen.

[0036] In einer weiteren zweckmäßigen Ausführungsform der Erfindung kann der Strömungsübergang aus mindestens einem flachen Spalt mit Durchtrittsöffnungen zwischen den in Längsrichtung mit einer Schweißnaht stoffschlüssig und gasdicht verbundenen Stegen bestehen, wobei die Stege in Querrichtung durch parallel zum Spalt verlaufenden Schweißnähte gasdicht abgedichtet sind.

[0037] Die der Einsenkung oder dem Spalt zugeordneten Durchtrittsöffnungen haben eine Geometrie oder Form, die kleiner als die Abmessung und Form der kleinsten Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist, so dass Katalysatorpartikel nicht aus dem einen in den anderen Strömungskanal gelangen können.

[0038] Nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors weist die Durchtrittsöffnung des Strömungsübergangs eine Querschnittsfläche auf, über die eine bestimmte Menge des in den Strömungskanal eingetretenen Teilstroms des Gasgemisches als Bypassstrom in den jeweils benachbarten Strömungskanal gelangt, wobei die jeweilige Durchtrittsöffnung auf eine Größe und Form angepasst ist, die kleiner als die Größe und Form der kleinsten Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist. Dies gewährleistet, dass die Partikel der Katalysatorschüttung nicht über die Durchtrittsöffnung in benachbarte Strömungskanäle gelangen können.

[0039] Die Strömungsübergänge sind gemäß einem weiteren bevorzugten Merkmal des erfindungsgemäßen Reaktors in Längsrichtung des jeweiligen Stegs vertikal gleichmäßig oder unterschiedlich lang voneinander beabstandet und verteilt angeordnet. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die von den Durchtrittsöffnungen abgeteilten Bypassströme über die gesamte Länge des Strömungskanals in die Katalysatorschüttung verteilt werden können.

[0040] In besonders vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors sind die Strömungskanäle zu- und abströmseitig mit einem vom Prozessgas, Reaktionsgas und Reingas durchström- und demontierbaren Sieb abgedeckt, dessen Maschengröße kleiner ist als die kleinste Partikelgröße der Katalysatorschüttung. Bei notwendig werdendem Austausch des Katalysators lässt sich das Sieb von den Strömungskanälen demontieren und die verbrauchte Katalysatorschüttung über den zuführseitigen Verteilraum problemlos entfernen. Die Befüllung der Strömungskanäle mit neuem Katalysator erfolgt nach Entfernung des abströmseitigen Siebs und der erneuten Montage des zuströmseitigen Siebs über den abströmseitigen Verteilraum vertikal in die offenen Strömungskanäle entsprechend.

[0041] Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Reaktors bindet eine Reaktionsgasleitung für die Zumischung von Reaktionsgas in Stromrichtung vor dem Erhitzer in die Zuführleitung für das Prozessgas ein.

[0042] Eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Reaktors sieht vor, dass in die Reaktionsgasleitung ein Kühler mit Kondensatablass für auskondensiertes Wasser eingebunden ist. Natürlich kann auch ein Economizer zur Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.

[0043] Von besonderer Bedeutung für den erfindungsgemäßen Reaktor ist, dass der den Strömungsräumen für den Wärmeaustausch im Kreuzstrom zugeordnete Kühlkreis sicherstellt, dass die Reaktionswärme am Ort ihrer Entstehung direkt abgeführt werden kann, wodurch das Reaktionsverhalten am Katalysator gleichmäßig und zugleich eine Überhitzung der Katalysatorschüttung vermieden wird.

[0044] Nach einem weiterem Merkmal des erfindungsgemäßen Reaktors besteht der Katalysator aus einer losen Schüttung von Partikeln, die folgende Materialien umfasst: Palladium, Platin, Vanadium, Wolfram, Chrom, Molybdän, Titan, Mangan, Kobalt, Nickel, Silber, Kupfer, Zink, Eisen, Aluminium, Silizium, Magnesium, Phosphor, Beryllium und dessen Oxide, Barium, Ruthenium oder deren Gemische mit einer mittleren Partikelgröße zwischen 0,6 bis 6,0 mm ist.

[0045] Die Partikelgröße ist nach einem weiteren Merkmal der Erfindung auf die Abmessung, den Querschnitt und die Form der Strömungskanäle so abgestimmt, dass die Partikel einen geringen Abstand zur Wand des Strömungskanals für eine hohe Wärmeleitung haben.

[0046] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sieht vor,

dass der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher eine rechteckige Baueinheit bildet, die im Innenraum eines rechteckigen oder zylindrischen Gehäuses angeordnet ist, wobei der Verteilraum als ein Fußteil, der Sammelraum als ein Kopfteil ausgebildet ist und der Verteilraum für das Kühlmedium alle Strömungsräume durchströmungsoffen umschließt.

[0047] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weist die Baueinheit einen zuströmseitigen Boden und einen abströmseitigen Boden auf, wobei der jeweilige Boden entweder aus einem einzigen Formteil oder aus mehreren an die Kontur der Strömungskanäle angepassten Formteile bestehen, die untereinander und mit den Wellblechbaren stoffschlüssig verbunden sind.

[0048] In weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors sind mehrere Baueinheiten senkrecht übereinander in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet, wobei jede Baueinheit mit einem zuflussseitigen Verteilraum, einen abströmseitigen Sammelraum und einen Verteilraum für das Kühlmedium versehen ist und die Verteilräume und Sammelräume untereinander durch die Strömungskanäle strömungsverbunden sind.

[0049] Die modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher bestehen aus dünnem Edelstahlblech, Kohlenstoffstahlblech, Kupfer- oder Aluminiumblech mit einer Dicke von 0,1 mm bis 1,0 mm, das durch Wellwalzen zu Well- oder Profilblech mit unterschiedlichen Profilformen umgeformt ist. So können die Wellbleche ein halbrundes, ovales, dreieckiges, trapezoides oder viereckiges Profil besitzen, so dass beim Übereinanderlegen der Profil- oder Wellbleche die entstehenden Strömungskanäle einen rohrförmigen, wellenartigen, rhombischen, rechteckigen oder vieleckigen Querschnitt aufweisen.

[0050] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen.

Figurenliste

[0051] Die Erfindung soll nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

[0052] Es zeigen

Fig. 1a eine perspektivische Explosionsdarstellung von zwei zueinander versetzte, spiegelbildlich übereinander angeordnete Wellblechpaare, in deren aufeinanderliegenden stoffschlüssig verbundenen Stegen mindestens ein Strömungsübergang aus Einsenkungen eingeformt ist,

Fig. 1b einen Schnitt entlang der Linie A-A der **Fig. 1a**

Fig. 1c einen Schnitt entlang der Linie B-B der **Fig. 1b**,

Fig. 1d einen Schnitt entlang der Linie C-C der **Fig. 1b**

Fig. 2 einen Ausschnitt in Draufsicht der **Fig. 1a**,

Fig. 3 eine perspektivische Darstellung des in den Strömungsräumen zwischen den Wellblechpaaren eingesetzten Strömungsleit- und Abstandsbleches.

Fig. 4a eine perspektivische Darstellung einer aus mehreren Wellblechpaaren zusammengesetzten Baueinheit mit kopf- und fußseitigem Boden,

Fig. 4b den Aufbau des Bodens in einer Explosionsdarstellung,

Fig. 5 ein Beispiel von Strömungsschikanen in der Wandung eines Strömungskanals in perspektivischer Darstellung,

Fig. 6 eine Seitenansicht eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers mit zuflußseitigem Verteilraum für das Gasgemisch aus Prozessgas und Reaktionsgas und abflußseitigem Sammelraum für das Reingas in einem viereckigen Gehäuse,

Fig. 7 eine Seitenansicht eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers im Innenraum eines zylindrischen Gehäuses,

Fig. 8 eine Seitenansicht eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers aus beispielsweise zwei übereinander angeordneten Baueinheiten,

Fig. 9 eine Explosionsdarstellung von zwei zueinander versetzte, im Steg in Längsrichtung stoffschlüssig verbundene Wellblechpaare mit Strömungsübergang, der durch einen Spalt gebildet ist,

Fig. 9a einen Schnitt entlang der Linie D-D der **Fig. 9**,

Fig. 9b einen Schnitt entlang der Linie E-E der **Fig. 9a** und

Fig. 10 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0053] Die **Fig. 1a** zeigt den grundsätzlichen Aufbau von Wellblechpaaren **7c**, die aus spiegelbildlich übereinandergelegten Wellblechen **7a** und **7b** aus Edelstahl mit einer Dicke von 0,3 mm bestehen. Die Wellbleche **7a** und **7b** bilden mit ihren Wellprofilen **8** jeweils parallel nebeneinanderliegende vertikale Strömungskanäle **9**, deren Stege **10a** bzw. **10b** einander zugewandt sind.

In den Steg **10a** bzw. **10b** ist quer zur Längsrichtung **LR** über die gesamte Breite **B** des Stegs **10a** bzw. **10b** mindestens eine Einsenkung **14a** bzw. **14b** ein-

geformt, die beim Wellwalzen der Well- oder Profibleche **7a** bzw. **7b** eingebracht wird.

Die Einsenkungen **14a** bzw. **14b** kommen beim spiegelbildlichen Aufeinanderlegen der Well- oder Profibleche **7a** bzw. **7b** jeweils seitenverkehrt zu liegen und werden vom Steg **10a** bzw. **10b** des darüber- und darunterliegenden Well- oder Profiblech **7a** bzw. **7b** abgedeckt. Die einander zugewandten flachen Bereiche der Stege **10a** bzw. **10b** lagern aufeinander und stützen sich gegenseitig ab. Zum gasdichten Verbinden werden die Stege **10a** bzw. **10b** mechanisch zusammengepresst, fixiert und durch Laserschweißen oder Hartlöten in Längsrichtung **LR** gasdicht verbunden.

Die Einsenkungen **14a** bzw. **14b** durchdringen somit die in Längsrichtung **LR** verlaufende stoffschlüssige Verbindung/Schweißnaht **16a** in Querrichtung **QR**. Die gasdichte Verbindung zwischen übereinanderliegenden Stegen **10a** bzw. **10b** erfolgt durch parallel zur jeweiligen Einsenkung **14a** bzw. **14b** verlaufende weitere Schweißnähte **16b** wie aus den **Fig. 1b** und **Fig. 1c** zu entnehmen ist.

Da die Einsenkungen **14a** bzw. **14b** Vertiefungen in den Stegen **10a** bzw. **10b** darstellen, berühren sich die Stege im Bereich der Einsenkungen **14a** bzw. **14b** nicht und bleiben unverschweißt, so dass ein Strömungsübergang **17** mit Durchtrittsöffnungen **18** entsteht, die in die jeweils benachbarten Strömungskanäle **9** münden.

[0054] Die Einsenkungen **14a** bzw. **14b** haben eine Tiefe **T**, die kleiner als die kleinste Korngröße des Katalysators der Katalysatorschüttung **KS** ist, so dass kein Katalysatorpartikel aus dem einen Strömungskanal in den anderen Strömungskanal gelangen kann.

[0055] Durch den Strömungsübergang **17** gelangt während der katalytischen Reaktion jeweils ein seitwärts gerichteter Bypassstrom **BS** vom Teilstrom **TG** des Gasgemisches aus Prozessgas **G** und Reaktionsgas **RG** in die benachbarten Strömungskanäle **9**. Dies ermöglicht, einer beginnenden Verblockung in den Strömungskanälen entgegenzuwirken.

Man erkennt aus der **Fig. 1b**, dass die Querschnittsfläche **QF** der Durchtrittsöffnung **18** von der Geometrie und Form der Einsenkung **14a** bzw. **14b** abhängt. Die Abmessung der Durchtrittsöffnung **18** ist so gewählt, dass die Katalysatorpartikel mit ihrem kleinsten Korn die Durchtrittsöffnung nicht passieren können.

[0056] Die spiegelbildlich aufeinander gelegten Well- oder Profibleche **7a** und **7b** bilden eine Lage eines Wellblechpaares **7c** aus. Die Wellblechpaare **7c** liegen über- oder untereinander angeordnet und weisen zueinander einen Versatz **24** auf, wobei die über- oder untereinanderliegenden Wellblechpaare **7c** voneinander beabstandet sind und zwischen sich Strömungsräume **12** ausbilden, in dem ein Kühlmedium **K** im Kreuzstrom zum Strömungskanal **9** ein-

gängig, d.h. gleichzeitig durch alle Strömungsräume **12** geführt werden kann. Ebenso ist es aber auch möglich, das Kühlmedium **K** mehrgängig, d.h. nacheinander durch die Strömungsräume **12** zu führen. In einem solchen Fall sind jeweils benachbart liegenden Strömungsräume **12** miteinander verbunden, wodurch das Kühlmedium **K** von Strömungsraum zu Strömungsraum umgelenkt wird.

Die Well- oder Profibleche **7a** bzw. **7b** besitzen ein halbrundes, ovales, dreieckiges, trapezoides oder viereckiges Profil **8**, so dass beim Übereinanderlegen der Well- oder Profibleche **7a** bzw. **7b** die entstehenden Strömungskanäle **9** einen rohrförmigen, wellenartigen, rhombischen, rechteckigen oder vieleckigen Querschnitt aufweisen können.

[0057] In die Strömungsräume **12** zwischen den Wellblechpaaren **7c** ist -wie auch **Fig. 2** zeigt, ein wellblechartig geformtes Strömungsleit- und Abstandsblech **22** eingesetzt. In die Wellenberge **WB** des Strömungsleit- und Abstandsblechs **22** sind in regelmäßigen Abständen voneinander Abstandshalterprofile **23** eingeformt, die jeweils wechselseitig in den durch den Versatz **24** ausgebildeten Bereich der übereinander angeordneten Wellblechpaare **7c** abstützend eingreifen, wobei das Abstandshalterprofil **23** am jeweiligen Wellblechpaar **7c** anfangs- und endseitig stoffschlüssig befestigt ist, so dass ein Verschieben des Strömungsleit- und Abstandsblechs **22** im Strömungsraum **12** ausgeschlossen ist. Die Strömungsleit- und Abstandsbleche **22** tragen zur Versteifung der über- oder untereinander angeordneten Wellblechpaare **7c** bei.

[0058] Nach **Fig. 3** sind die Abstandshalterprofile **23** in den benachbarten Wellbergen **WB** des Strömungsleit- und Abstandsblechs **22** zueinander auf Lücke **25** versetzt angeordnet, so dass Strömungspfade **SF** entstehen, die das im Kreuzstrom geführte Kühlmedium **K** zur Umlenkung zwingen und dabei Turbulenzen erzeugen. Ein Beispiel eines Strömungspfades **SF** ist durch Pfeile in der **Fig. 3** gekennzeichnet.

[0059] Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** verdeutlichen den Aufbau einer aus mehreren Wellblechpaaren **7c** zusammengesetzten Baueinheit **1a**. Die Wellblechpaare **7c** durchdringen mit ihren offenendigen Strömungskanälen **9** einen kopfseitigen Boden **26** und einen abströmseitigen Boden **27**.

Die Böden **26** und **27** sind aus Formteilen 26 bis 26.n bzw. 27.1 bis 27.n zusammengesetzt, deren Kontur an die Form und Abmessung der Wellblechpaare **7c**, zweckmäßig durch Laserschneiden, angepasst ist. Die Formteile werden mit den eingelegten Wellblechpaaren **7c** entlang der Kontur zusammengefügt und durch Laserschweißen oder Hartlöten stoffschlüssig verbunden, so dass ein im Wesentlichen rechteckiger Baueinheit entsteht, der wahlweise in einen rechteckigen oder zylindrischen Gehäuse **2** ein-

gesetzt werden kann. Die Fügerichtung ist durch einen Pfeil in der **Fig. 4b** gekennzeichnet.

[0060] Es ist bekannt, dass schlanke Kolonnen mit einem Verhältnis aus Schütt- und Partikeldurchmesser <20 zur Randgängigkeit neigen (K.Salem, Dissertation „Instationäre Temperatur- und Konzentrationsfelder in hochbelasteten Festbettadsorbent“, Cu-villier-Verlag Göttingen, 2006). BAKER ET AL („The Course of Liquor Flow in Packed Towers“, Trans AIChE 31(1935), S. 296-315) geben an, dass die Tendenz zur Randgängigkeit bei einem Verhältnis aus Kolonnendurchmesser zu Fullkorperdurchmesser von 8:1 signifikant zunimmt.

Um der Randgängigkeit entgegenzuwirken, besitzen die Strömungskanäle **9** -wie in **Fig. 5** dargestellt- Strömungsschikanen **19**, die in das Wellprofil **8** der Wellbleche **7a** bzw. **7b** beim Wellwalzen in Form von Ausprägungen **21** eingeformt werden und von der Wandung **20** in das Innere der Strömungskanäle **9** hineinragen und/oder von der Wandung **20** in den Strömungsraum **12** für das Kühlmedium **K** heraustreten. Die Ausprägungen **21** sind quer und parallel zur Strömungsrichtung **SRR** des Teilstroms **TG** des Gasgemisches an der Wandung **20** der Strömungskanäle **9** verteilt angeordnet. Die Strömungsschikanen **19** bewirken, dass das in Wandnaher befindliche Gas in das Innere des Strömungskanals **9** gelenkt wird und damit Turbulenzen erzeugt werden, die die Randgängigkeit weitgehend verhindern.

[0061] Die **Fig. 6** stellt den Aufbau des erfindungsgemaen Reaktors in Seitenansicht im Schnitt dar. Der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwarme austauscher **1** ist als Baueinheit **1a** in einem Gehäuse **2** aus Edelstahl untergebracht. Das Gehäuse **2** besteht aus einem rechteckigen Gehäusemantel **2a**, in dessen Innenraum die Baueinheit **1** angeordnet ist. Der kopfseitige Boden **26** ist zusammen mit einem zum Gehäuse **2** gehörenden Kopfteil **28** stirnseitig an der Wandung **29** des Gehausemantels **2a** angeflanscht, so dass zuströmseitig ein Verteilraum **3** für das Gasgemisch aus Prozessgas **G** und Reaktionsgas **GR** entsteht, in den das Gasgemisch über eine mit dem Kopfteil **28** verbundene Zuführleitung **4** eintritt.

Der fuseitige Boden **27** der Baueinheit **1a** und ein an der Wandung **29** des Gehausemantels **2a** stirnseitig angeflanscht fusteil **30** bilden einen Sammelraum **5** für das die Strömungskanäle **9** verlassende Reingas **RG**, das über eine mit dem fusteil **30** verbundene Abführleitung **6** einem nicht weiter dargestellten Verbraucher zugeführt oder als Abluft in die Atmosphäre abgegeben wird.

Der zuströmseitige Verteilraum **3** befindet sich am Kopf des Kreuzstrom-Plattenwarme austauschers **1**, wodurch die Stromrichtung **SRR** des Gasgemisches aus Prozessgas **G** und Reaktionsgas **GR** vertikal abwärtsgerichtet durch die Baueinheit **1a** verläuft. Natürlich kann das Gasgemisch die Baueinheit **1a** auch vertikal aufwärts durchströmen.

[0062] Die mit einem Katalysator befüllten Strömungskanäle **9** sind vorzugsweise vertikal ausgerichtet und verbinden durchstromungssoffen den Verteilraum **3** mit dem Sammelraum **5**.

Zu- und abströmseitig sind die Strömungskanäle **9** endseitig mit jeweils einem demontierbaren gasdurchlässigen Sieb **11** abgedeckt. Das Sieb **11** hat eine Maschengroe, die kleiner gewählt ist als die kleinste Korngroe der in den Strömungskanälen **9** eingefüllten Partikel der Katalysatorschüttung **KS**, so dass der Katalysator nicht aus den Strömungskanälen gelangen kann.

Die Strömungskanäle **9** haben eine lichten Weite (**W**) von mindestens 10 bis maximal 80 mm. Beispielsweise kann die Länge der Strömungskanäle **1** bis **2** m sowie die mittlere Partikelgroe des Katalysators 0,6 bis 6 mm betragen.

[0063] Das mit einer unerwünschten gasförmigen Komponente belastete Prozessgas **G** tritt zusammen mit einem Reaktionsgas **GR** über die Zuführleitung **4** in den Verteilraum **3** ein und teilt sich in Teilströme **TG** auf, von denen jeder einen mit Katalysator, beispielsweise Palladium oder Platin, befüllten Strömungskanal **9** durchströmt und am Katalysator katalytisch umgesetzt wird. Abstromseitig besitzt der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwarme austauscher **1** einen Sammelraum **5** für das Reingas **RG**, das über eine Abführleitung **6** einem nicht weiter gezeigten Verbraucher zugeführt wird.

Die im Innenraum des Gehäuses **2** angeordnete Baueinheit **1a** ist für die Zu- und Abführung eines Kühlmediums **K** von einem Verteilraum **13** umgeben, der zwischen der Wandung **29** des Gehausemantels **2a** und der Baueinheit **1a** ausgebildet ist. Die Strömungsräume **12** zwischen den Wellblechpaaren **7c** münden durchstromungssoffen in den Verteilraum **13** ein.

[0064] Nach **Fig. 7** ist der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwarme austauscher **1** im Innenraum eines zylindrischen Gehäuses **2** angeordnet. Der kopfseitige Boden **26** der Baueinheit **1a** lagert auf der Wandung **29** des Gehausemantels **2a** des Gehäuses **2** auf und ist zusammen mit dem Kopfteil **28** in Form eines Klöpperbodens und der fuseitige Boden **27** der Baueinheit **1a** mit dem fusteil **30** stirn- bzw. fuseitig an der Wandung **29** des zylindrischen Gehausemantels **2a** angeflanscht. Der Verteilraum **3** und der Sammelraum **5** werden durch das Kopfteil **28** und das fusteil **30** mit den entsprechenden Böden **26** bzw. **27** der Baueinheit **1a** gebildet.

Der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwarme austauscher **1** besteht aus dünnem Edelstahl-, Kupfer- oder Aluminium-Wellblech mit einer Dicke zwischen 0,1 bis 3,0 mm,

[0065] In **Fig. 8** ist ein Reaktor gezeigt, der aus zwei übereinander abgeordneten Baueinheiten **1a** besteht, wobei die beiden Baueinheiten in einem gemeinsamen Gehäuse **2** untergebracht sind.

[0066] Die Fig. 9, Fig. 9a und Fig. 9b zeigt eine zweite Ausführungsform eines Strömungsübergangs 17 zwischen benachbarten Strömungskanälen 9.

[0067] Der Strömungsübergang 17 wird durch einen flachen Spalt 15 beim losen Übereinanderlegen der Well- oder Profilbleche zwischen den Stegen 10a und 10b gebildet. Die Stege 10a bzw. 10b sind miteinander durch eine in Längsrichtung LR verlaufende Schweißnaht 16a gasdicht verbunden, die von mindestens einem Spalt 15 unterbrochen ist. Der Spalt 15 stellt einen Strömungsübergang 17 mit Durchtrittsöffnungen 18 dar, die die benachbarten Strömungskanäle 9 durchströmungsoffen miteinander verbinden. Der Spalt 15 ist in Querrichtung QR der Stege 10a bzw. 10b durch Schweißnähte 16b gasdicht abgedichtet (siehe Fig. 9b).

[0068] Durch die Anzahl, Geometrie und Form der Strömungsübergänge 17 kann die Größe bzw. Menge der in die Strömungskanäle 9 gelangenden Bypassströme BS beeinflussen werden. So kann beispielsweise je nach Auslegung die Anzahl der Strömungsübergänge 17 zwischen benachbarten Strömungskanälen 9 erhöht oder verringert werden, so dass sich die Querschnittsfläche QF je nach Art der Prozessgase und des Katalysators KS anpassen lässt und einer Verblockung der Strömungskanäle 9 durch eine gleichmäßige oder ungleichmäßige Verteilung der Bypassströme BS über die Katalysatorsäule entgegengewirkt werden kann.

[0069] Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren mit einem modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschern 1 für die katalytische Gasreinigung eines mit unerwünschten gasförmigen Komponenten belasteten Prozessgases beispielsweise mit Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenmonoxid oder Kohlenwasserstoffen beladenen Prozessgases, beschrieben.

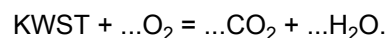
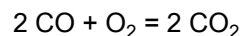
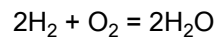
[0070] Die Fig. 9 zeigt die schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0071] In den zuströmseitigen Verteilraum 3 des Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers 1 führt die Zuführleitung 4 für das Prozessgas G, das durch ein an die Zuführleitung 4 angeschlossenes Gebläse 31 in den Verteilraum 3 befördert wird. In die Zuführleitung 4 ist ein elektrisch betriebener Erhitzer 32 eingebunden. Eine Reaktionsgasleitung 33 für das Zumischen des Reaktionsgases GR, beispielsweise Wasserstoff, Sauerstoff oder Kohlenmonoxid, in das Prozessgas G, führt in Strömungsrichtung vor dem Erhitzer 32 in die Zuführleitung 4. Das Zumischen des Reaktionsgases GR in das Prozessgas G erfolgt in einem auf den Katalysator und der zu entfernenen Komponente abgestimmten stöchiometrischen Verhältnis mit einem gewissen Überschuss von beispielsweise 0,1%.

[0072] An der Abführleitung 6 unmittelbar am Ausgang des Sammelraumes 5 befindet sich eine erste Messsonde 34 und stromabwärts von dieser ersten Messsonde 34 eine zweite Messsonde 35, die die Konzentrationen des Reaktionsgases GR im Reingas RG messen. Die Messsonden 34 und 35 gehören einer automatischen Regelstrecke 36 an, die eine der Messsonde 34 zugeordnete Absperrklappe 37 mit Schaltventil 38, welches die Reaktionsgasleitung 33 öffnet oder schließt, und ein der Messsonde 35 zugeordnetes Regelventil 39 umfasst, das die Menge an Reaktionsgas GR bei einem Minimalwert konstant hält, so dass auch bei stark schwankenden Betriebsverhältnissen nur die unbedingt notwendige Menge an Reaktionsgas GR verbraucht wird.

Die Messsonden 34 und 35, das Schaltventil 38 und Regelventil 39 sind über Steuerleitungen 31 mit einer Steuereinheit 41 verbunden, die die Menge des zugeführten Reaktionsgases GR überwacht.

[0073] Im Erhitzer 32 wird das Gasgemisch aus Reaktionsgas GR und Prozessgas G auf eine Temperatur erhitzt, bei der am Katalysator je nach Vorliegen der Gaskomponenten im Prozessgas folgende Reaktionen ablaufen:



An dem in den Strömungskanälen 9 befindlichen Palladium- oder Platinkatalysator wird somit der Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser bzw. Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid umgesetzt. Diese Reaktionen sind sehr stark exotherm. Die Reaktionswärme wird am Ort ihrer Entstehung durch ein Kühlmedium K, hier Wasser, im indirekten Wärmeaustausch kontinuierlich abgeführt.

[0074] Unmittelbar über dem Verteilraum 3 des Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers 1 mündet eine durch eine Absperrarmatur 42 öffnungs- und schließbare Zuführleitung 43 für das Kühlmedium K in die Strömungsräume 12 ein, der im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen 9 vertikal aufsteigend bis in den Strömungsraum 12 unterhalb des Sammelraumes 5 in eine durch eine Absperrarmatur 44 öffnungs- und schließbare Abführleitung 45 für das abzuführende Kühlmedium K führt. Die Stromrichtung des Kühlmediums K verläuft horizontal aufsteigend in Strömungsrichtung der abgeteilten Teilströme TG des Gasgemisches aus Prozessgas G und Reaktionsgas GR. Die Strömungsrichtung ist durch Pfeile kenntlich gemacht.

Die dem Verteilraum 13 zugeordnete Strömungsräume 12 sind gleichzeitig mit einer durch eine Absperrarmatur 46 öffnungs- und schließbare Entlee-

rungsleitung **47** zum Ablassen des Kühlmediums **K** verbunden.

Der Erhitzer **32**, die Absperrarmaturen **42**, **44** und **46** sind über die Steuerleitungen **40** mit der Steuereinheit **41** elektrisch verbunden, die die Stellbefehle für die Absperrarmaturen **42** und **44** in Abhängigkeit der vom Erhitzer **32** eingestellten Reaktionstemperatur ausgibt.

[0075] Die die Strömungskanäle **9** verlassenden gereinigten Teilströme **TG** aus Prozessgas **G** und Reaktionsgas **GR** werden im Sammelraum **5** zusammengeführt und über die Abführleitung **6** als Reingas **RG** abgeführt.

[0076] Für eventuell auskondensiertes Wasser im Reingas **RG** ist die Abführleitung **6** mit einem Kühler **48** verbunden, der das Wasser über einen Kondensatablass **49** ausschleust.

[0077] Während der Oxidation ist die Absperrarmatur **50** in der Zuführleitung **4** für das Prozessgas **G** geöffnet. Ebenso sind die zum Kühlkreis gehörenden Absperrarmaturen **42** und **44** geöffnet, dagegen die Absperrarmatur **46** der Entleerungsleitung **47** geschlossen.

[0078] Das auf Reaktionstemperatur erhitze Prozessgas **G** mit zugemischtem Reaktionsgas **GR** gelangt somit in den Verteilraum **3**, teilt sich in Teilströme **TG** auf, die vertikal aufwärts gerichtet in die mit Katalysator **KS** gefüllten Strömungskanäle **9** einströmen.

[0079] Am Katalysator oxidieren die unerwünschten Gasbestandteile, hier Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenmonoxid oder Kohlenwasserstoffe, mit dem Reaktionsgas **GR** zu Wasser und Kohlendioxid.

[0080] Die während der Oxidation entstehende Reaktionswärme wird durch das im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen **9** in den Strömungsräumen **12** geführte Kühlmedium **K**, hier Wasser, ständig abgeführt. Dies hat den außerordentlichen Vorteil, dass die Reaktionsbedingungen in den einzelnen Strömungskanälen gleichmäßig werden.

[0081] Das erfindungsgemäße Verfahren soll nachfolgend an zwei Beispielen näher erläutert werden.

Beispiel A

[0082] Ein mit Sauerstoff belastetes Prozessgas **G** soll mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gereinigt werden.

[0083] Folgende Betriebsdaten liegen zugrunde:

Katalysator: 0,3% Platin oder Palladium auf Aluminiumoxid-Gel

Katalysatorgröße: 1,0 bis 2,5 mm

Länge der Strömungskanäle: 1.000 mm

Weite der Strömungskanäle: 20 mm

Eintrittskonzentration: 2,0 Vol.% O₂

Austrittskonzentration: < 10 ppmv O₂

Durchsatz: 660 m³/h

Druck: 1,1 bara

Wassergehalt am Eintritt: ca. 1 g/Nm³

Temperaturerhöhung ohne Kühlung: ca. 340°C

Abzuführende Reaktionswärme: ca. 80 kW

Kühlmedium: Wasser Eintritt 35°C

Reaktionsgas: H₂

Reaktionsgasverbrauch: ca. 28 m³/h

Reaktionsprodukt: H₂O ca. 21,1 kg/h

[0084] Es wurde ein Restgehalt von weniger als 10 ppmv Sauerstoff im gereinigten Prozessgas erreicht.

[0085] Im vorliegenden Beispiel läuft das erfindungsgemäße Verfahren wie folgt ab. Das Gemisch aus Prozessgas **G** und Reaktionsgas **GR** wird in den Verteilraum **3** des Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers **1** über die Zuführleitung **4** und das Gebläse bzw. Verdichter **31** zugeführt.

[0086] Der Reaktor besteht aus einem Paket von 10 Edelstahl-WellblechPaaren **7c** mit einer Abmessung von jeweils 1.000 x 2.000 mm, die miteinander vertikal aufwärts gerichtete mit Katalysator **KS** gefüllte Strömungskanäle **9** mit einem Durchmesser von jeweils 20 mm bilden, welche untereinander durch Strömungsübergänge **17** in Verbindung stehen. Die vertikalen Strömungskanäle **9** werden von einem in Strömungsräumen **12** geführten Kühlmedium **K** im Kreuzstrom umströmt, wodurch der im Strömungskanal **9** am Katalysator **KS** stattfindende Stoffaustausch im Wärmeaustausch mit dem Kühlmedium **K** steht, so dass die entstehende Reaktionswärme von ca. 80kW dort, wo sie entsteht abgeführt wird.

Als Katalysator **KS** kommt Platin oder Palladium auf einem Aluminiumoxid-Gel mit einer Partikelgröße von 1,0 bis 2,5 mm zum Einsatz, der in die Strömungskanäle **9** eingeschüttet wird.

Beispiel B

[0087] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren soll ein mit einem Elektrolyseur regenerativ hergestellter Wasserstoff katalytisch mit Kohlendioxid zu Methan reagieren (Sebatier-Prozess). Diese Reaktion

ist stark exotherm und erfordert eine intensive Kühlung des Reaktors.

Sebatier-Reaktion: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Folgende Betriebsdaten liegen zugrunde:

- Katalysator: Nickel, Zirkoniumdioxid stabilisiert
- Katalysatorgröße: 1,0 bis 3,0 mm
- Länge der Strömungskanäle: 1.000 mm
- Weite der Strömungskanäle: 20 mm
- Eintrittskonzentration: 80 Vol.% H_2 , 20 Vol.% CO_2
- Eintrittstemperatur: ca. 120 bis 150°C (Kompressionswärme vom Verdichter)
- Durchsatz: 699 m³/h
- Druck: 13,0 bis 18,0 bar
- Reaktionstemperatur am Katalysator: 20 bis 350°C
- Abzuführende Reaktionswärme: ca. 260 kW
- Kühlmedium: Thermalöl bei 2,0 bis 4,0 bar

[0088] Es wird der im Beispiel A beschriebene Reaktor verwendet. Das im Kreuzstrom in den Strömungsräumen **12** als Kühlmedium **K** geführte Thermalöl sorgt für eine exakt einstellbare Reaktionstemperatur über die gesamte Länge der Strömungskanäle **9**, was zur geringen Nebenproduktbildung und damit zu einer sehr guten Methanausbeute führt. Die entstehende Reaktionswärme von ca. 260 kW kann sowohl radial als auch axial sehr gut abgeführt und mit dem Thermalöl ausgekoppelt sowie gut für energetische Weiterverwendung genutzt werden. Eine lokale Überhitzung des Katalysators wird durch die gleichmäßige Wärmeabfuhr vermieden.

In dem kompakten, gut skalierbaren erfindungsgemäßen Reaktor können preiswerte Schüttkatalysatoren zum Einsatz kommen, die sich im Gegensatz zu beschichteten Rohr-, Waben- oder Mehrphasenkatalysatoren einfach austauschen lassen.

[0089] Die zwischen den Strömungskanälen **9** bestehenden Strömungsübergänge **17** erlauben mindestens eine Bypassströmung **BS** in die benachbarten Strömungskanäle **9**. Dies ermöglicht, eine beginnende Verblockung der Strömungskanäle aufzulösen und gleichzeitig die Reaktionsbedingungen in den einzelnen Strömungskanälen trotz der Toleranzunterschiede in den Innenabmessungen der Strömungskanäle **9** und damit nicht gleichen Schüttmengen an Katalysator zu vergleichmäßigen. Die in den Strömungskanälen **9** angeordneten Strömungsschikanen **19** wirken außerdem durch die Erzeugung von Turbulenzen der Randgängigkeit in den Strömungskanälen **9** entgegen.

Bezugszeichenliste

Modifizierter Kreuzstrom-

1	Plattenwärmeaustauscher
1a	Baueinheit
2	Gehäuse
2a	Gehäusemantel von 2
3	zuflusssseitiger Verteilraum von 1
4	Zuführleitung für Prozessgas G
5	abströmseitiger Sammelraum von 1
6	Abführleitung für Reingas RG
7a, 7b	Wellblech
7c	Wellblechpaar
8	Wellprofil von 7a, 7b
9	Vertikale Strömungskanäle in 1
10a, 10b	Stege von 7a, 7b
11	Sieb
12	Strömungsräume zwischen Wellblechpaaren 7c
13	Peripherer Verteilraum für Kühlmedium
14a, 14b	Einsenkung/Rille
15	Spalt
16a	Schweißnaht in LR
16b	Schweißnaht in QR
16c	Hartlötverbindung in QR und LR
17	Strömungsübergänge
18	Durchtrittsöffnungen von 17
19	Strömungsschikanen
20	Wandung von 9
21	Ausprägungen
22	Strömungsleit- und Abstandsblech
23	Abstandshalterprofil
24	Versatz der Wellblechpaare 7c
25	Lücken zwischen WB von 22
26	Kopfseitiger Boden von 1a
26.1-26.n	Formteile von 26
27	Fußseitiger Boden von 1a
27.1-27.n	Formteile von 27

28	Kopfteil von 1
29	Wandung von 2a
30	Fußteil von 1
31	Gebläse bzw. Verdichter
32	Erhitzer
33	Reaktionsgasleitung
34	Erste Messsonde
35	Zweite Messsonde
36	Regelstrecke
37	Absperrklappe
38	Schaltventil
39	Regelventil
40	Steuerleitungen
41	Steuereinheit
42	Absperrarmatur in 43
43	Zuführleitung für Kühlmedium
44	Absperrarmatur in 45
45	Abführleitung für Kühlmedium
46	Absperrarmatur in 47
47	Entleerungsleitung
48	Kühler
49	Kondensatablass
50	Absperrarmatur in 4
BS	Bypassstrom
G	Prozessgas
GR	Reaktionsgas
K	Kühlung/Kühlmedium
KS	Katalysator/Katalysatorschüt- tung
LR	Längsrichtung von 10a, 10b
QR	Querrichtung von 10a, 10b
QF	Querschnittsfläche von 18
RG	Reingas
SF	Strömungspfade für Kühlmedi- um
SRR	Strömungsrichtung der Teilströ- me TG von G und GR
T	Tiefe von 14a, 14b
TG	Teilströme von G und GR
W	Lichte Weite von 9

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 3318098 A1 [0003]
- DE 3505351 A1 [0003]
- DE 19754185 C1 [0003]
- DE 19809200 A1 [0003, 0006]
- DE 10361515 A1 [0003]
- EP 0534295 A1 [0003]
- EP 2718086 B1 [0003]
- EP 1284813 B1 [0003]
- DE 60317545 A2 [0003]
- DE 202006014118 U1 [0004]
- DE 3411675 A1 [0005]
- EP 1975539 A2 [0007]
- EP 1195193 B1 [0008]
- EP 1361919 B1 [0008]
- EP 1430265 B1 [0008]
- DE 112006000447 T5 [0008]
- EP 1434652 B1 [0008]
- WO 03/095924 A1 [0008]
- WO 2006/075163 A2 [0008]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- K.Salem, Dissertation „Instationäre Temperatur- und Konzentrationsfelder in hochbelasteten Festbettadsorbern“, Cuvillier-Verlag Göttingen, 2006 [0060]
- BAKER ET AL („The Course of Liquor Flow in Packed Towers“, Trans AIChE 31(1935), S. 296-315 [0060]

Patentansprüche

1. Verfahren zur exothermen Reaktion zwischen Gasen, beispielsweise zum katalytischen Behandeln eines mit unerwünschten gasförmigen Bestandteilen belasteten Gases, insbesondere Prozessgase, bei dem ein Reaktionsgas (GR) wie Sauerstoff, Wasserstoff oder Kohlenmonoxid dem Prozessgas (G) zugemischt oder Kohlendioxid mit Wasserstoff an einem Katalysator zur Reaktion gebracht wird, das Gasgemisch in einem Erhitzer (23) auf Reaktionstemperatur erhitzt wird und über einen zufuhrseitigen Verteilraum (3) mindestens eines Plattenwärmeaustauschers (1) eine Vielzahl von mit einer Katalysatorschüttung (KS) gefüllte Strömungskanäle (9), die von spiegelbildlich aufeinander liegenden durch Stege (10a, 10b) verbundene, zu Well- oder Profilblechpaaren (7c) zusammengefasste Well- und/oder Profilblechen (7a, 7b) gebildet sind, in parallel aufgeteilten Teilströmen (TG) durchströmt, wobei die unerwünschten Bestandteile am Katalysator der Katalysatorschüttung (KS) oxidiert bzw. verbrannt werden und die Reaktionswärme durch ein in Verteilräumen (13), die zwischen den Well- oder Profilblechpaaren (7c) ausgebildet sind, im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen (9) geführtes Kühlmedium (K) indirekt abgeführt wird, und die Teilströme (TG) nach ihrem Verlassen der Strömungskanäle (9) über einen abströmseitigen Sammelraum (5) als Reingas (RG) abgeführt werden, **gekennzeichnet durch** ein Verwenden mindestens eines modifizierten Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauschers (1) mit vom Verteilraum (3) zum Sammelraum (5) durchströmungsoffenen Strömungskanälen (9) mit einer lichten Weite (W) von mindestens 10 bis maximal 80 mm, Strömungsübergängen (17) zwischen benachbarten Strömungskanälen (9), in den Strömungskanälen (9) positionierte Strömungsschikanen (19) und in den Strömungsräumen (12) befindliche Strömungspfade (SF) für das Kühlmedium (K) bildende Strömungsleit- und Abstandsbleche (22) in folgenden Schritten:

a) gleichzeitiges Erzeugen von Turbulenzen in den Teilströmen des Gemisches aus Prozessgas (G) und Reaktionsgas (RG) innerhalb der Strömungskanäle (9) und im Kühlmedium (K) innerhalb der Strömungsräume (12),
 b) Aufteilen des Gasgemisches aus Prozessgas und Reaktionsgas in Bypassströme (BS) während der katalytischen Reaktion und Einleiten der Bypassströme (BS) in die Durchtrittsöffnungen (18) der Strömungsübergänge (17) seitwärts gerichtet in die benachbarten Strömungskanäle (9).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Turbulenzen im Gasgemisch aus Prozessgas (G) und Reaktionsgas (RG) durch Strömungsschikanen (19) erzeugt werden, die als Ausprägungen (21) senkrecht und/oder quer zur Strömungsrichtung (SRR) in der Wandung (20) des Strömungskanals (9) gleichzeitig mit dem Wellbiegen

bzw. Wellwalzen der Wellbleche ausgebildet werden, wobei die Ausprägungen (21) nach innen in den Strömungskanal (9) und/oder nach außen in den Strömungsraum (12) ausgerichtet sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbulenzen im Kühlmedium (K) durch in den Strömungsräumen (13) zwischen den Wellblechpaaren (7c) positionierte Strömungsleit- oder Abstandsbleche (22) erzeugt werden, wobei das Kühlmedium (K) während der katalytischen Reaktion im Kreuzstrom zu den Strömungskanälen (9) ein- oder mehrgängig geführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Größe der Durchtrittsöffnung (18) für die Bypassströme (BS) durch die Anzahl der Strömungsübergänge (17) im jeweiligen Strömungskanal (9) bestimmt wird, wobei die jeweilige Durchtrittsöffnung (18) auf eine Größe und Form angepasst wird, die kleiner als die Abmessung und Form der kleinsten Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Strömungsübergänge (17) gleichmäßig oder unterschiedlich über die Länge der Strömungskanäle (9) beabstandet und verteilt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Durchtrittsöffnung (18) eines Strömungsübergangs (17) eine Querschnittsfläche (QF) definiert, über die eine bestimmte Menge des vom in den jeweiligen Strömungskanal (9) eintretenden Teilstroms (TG) des Gases (G) als Bypassstrom in den benachbarten Strömungskanal (19) gelangt, so dass mit der Querschnittsfläche aller Durchtrittsöffnungen (18) die Größe bestimmt und deren Verteilung eine gleichmäßige oder ungleichmäßige Verteilung der Bypassströme (BS) über die Katalysatorschüttung (KS) im jeweilig benachbarten Strömungskanal (9) erreicht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungsübergang (17) aus einer beim Wellwalzen der Well- oder Profilbleche (7a, 7b) in deren Stege (10a, 10b) eingeformten Einsenkung/Rille (14a, 14b) gebildet wird, die beim seitenverkehrten Übereinanderlegen der Well- oder Profilbleche (7a, 7b) vom darüber oder darunterliegenden Bereich der Stege (10a, 10b) abgedeckt wird und die aufeinanderliegenden Stege (7a, 7b) durch Laserschweißen oder Hartlöten stoffschlüssig verbunden werden, wobei eine Schweißnaht (16a) in Längsrichtung der Stege (10a, 10b) von der Einsenkung (14a, 14b) durchdrungen wird und die Einsenkung (14a, 14b) durch Schweißnähte in Querrichtung der Stege (10a, 10b) gasdicht abgedichtet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungsübergang (17) beim losen Übereinanderlegen der Well- oder Profilbleche (7a,7b) aus einem flachen Spalt (15) zwischen den Stegen (10a, 10b) gebildet wird, indem die Stege (10a,10b) miteinander durch Laserlinienschweißen mit Schweißnähten (16a, 16b) stoffschlüssig so verbunden werden, wobei der Spalt (15) die Scheißnaht (16a) in Längsrichtung (LR) der Stege (10a,10b) unterbricht und der Spalt (15) durch beidseitig parallel verlaufende Schweißnähte (16b) in Querrichtung (QR) der Stege (10a,10b) gasdicht abgedichtet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Reingas (RG) einem Kühler (39) zugeführt und auskondensiertes Wasser aus dem Reingas (RG) abgeschieden wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Reingas (RG) anschließend adsorptiv getrocknet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Katalysatorschüttungen verwendet werden, die Palladium, Platin, Vanadium, Wolfram, Chrom, Molybdän, Titan, Mangan, Kobalt, Nickel, Silber, Kupfer, Zink, Eisen, Aluminium, Silizium, Magnesium, Phosphor, Beryllium und dessen Oxide, Barium, Ruthenium oder deren Gemische mit einer mittleren Partikelgröße zwischen 0,6 bis 6,0 mm umfassen.

12. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Kühlmedium (K) Wasser oder ein Wasser-Glykol-Gemisch oder ein Thermalöl verwendet wird.

13. Reaktor zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit mindestens einem Plattenwärmeaustauscher, der eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten mit einer Katalysatorschüttung (KS) gefüllten Strömungskanälen (9) und dazu senkrecht liegenden Strömungsräumen (12) umfasst, die von spiegelbildlich aufeinanderliegenden, durch Stege (10a, 10b) verbundene, zu Wellblechpaaren (7c) zusammengefasste Well- und/oder Profilbleche (7a, 7b) gebildet sind, wobei die Strömungsräume (12) zwischen den Wellblechpaaren (7c) angeordnet sind, und die Strömungskanäle (9) für den Durchtritt der vom Prozessgas (G) und Reaktionsgas (GR) abgeteilten Teilströme (TG) zuströmseitig und abströmseitig des Plattenwärmeaustauschers mit einem Verteilraum (3) durchströmungsoffen verbunden sind, wobei der zuströmseitige Verteilraum (3) mit einer Zufuhrleitung (4) für ein Gemisch aus Prozessgas (G) und Reaktionsgas (GR) und der abströmseitige Sammelraum (5) mit einer Reingasleitung (6) in Verbindung steht, und die Strömungsräume (12) in einen Verteilraum (13) zum Zu- und Abführen eines Kühlmediums (K) zum indirekten Kühlen der Katalysa-

torschüttung (KS) durchströmungsoffen münden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Plattenwärmeaustauscher ein modifizierter Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher (1) mit vom Verteilraum (3) zum Sammelraum (5) durchströmungsoffenen Strömungskanälen (9) mit folgenden Merkmalen ist:

a) die Strömungskanäle (9) haben eine lichte Weite (W) von mindestens 10 bis 80 mm,

b) benachbarte Strömungskanäle (9) sind durch in den Stegen (10a,10b) eingeformte Strömungsübergänge (17) zum seitwärts gerichteten Einleiten von Bypassströmen (BS) des Gasgemisches in die Strömungskanäle (9) verbunden,

c) in den Strömungskanälen (9) sind Strömungsschikanen (19) zum Erzeugen von Turbulenzen im Gasgemisch innerhalb der Strömungskanäle (9) angeordnet und

d) in den Strömungsräumen (12) zwischen den Wellblechpaaren (7c) sind Strömungspfade (SF) bildende Strömungsleit- und Abstandsbleche (22) zum Erzeugen von Turbulenzen im Kühlmedium (K) angeordnet.

14. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strömungsleit- und Abstandsblech (22) ein dünnes Wellblech mit in die Wellenberge (WB) eingeformte, die Höhe der Wellenberge (WB) übersteigende Abstandshalterprofile (23) umfasst, die zueinander von Wellenberg zu Wellenberg auf Lücke (25) versetzt angeordnet sind, wobei die Abstandshalterprofile (23) in den von den Stegen (10a,10b) der über- und untereinanderliegenden Wellblechpaare (7c) gebildeten Versatz (24) abstützend eingreifen und das jeweilige Abstandshalterprofil (23) jeweils endseitig am dazugehörigen Wellblechpaar (7c) stoffschlüssig fixiert ist.

15. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsschikanen (19) aus Ausprägungen (21) gebildet sind, die quer und/oder parallel zur Strömungsrichtung (SRR) des Teilstroms (TG) aus Prozessgas (G) und Reaktionsgas (RG) in die Wandung (20) der Strömungskanäle (9) nach innen und/oder von der Wandung (20) nach außen gerichtet eingeformt sind.

16. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungsübergang (17) quer zur Längsrichtung (LR) der Stege (10a,10b) angeordnet ist, dessen Durchtrittsöffnungen (18) jeweils in die benachbarten Strömungskanäle (9) münden, wobei der Strömungsübergang (17) aus mindestens einer im Steg (10a, 10b) eingeformten Einsenkung/Rille (14a, 14b) gebildet ist, die vom darüber- oder darunterliegenden Bereich des dazu seitenverkehrt angeordneten Stegs (10a, 10b) abgedeckt ist, wobei die Stege (10a, 10b) in Längs- und Querrichtung (LR, QR) stoffschlüssig verbunden sind.

17. Reaktor nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die stoffschlüssige Verbindung zwischen den Stegen (10a, 10b) Schweißnähte (16a, 16b) oder Hartlötverbindungen (16c) sind.

18. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungsübergang (17) aus mindestens einem flachen Spalt (15) mit Durchtrittsöffnungen (18) zwischen den in Längsrichtung (LR) mit einer Schweißnaht (16a) stoffschlüssig und gasdicht verbundenen Stegen (10a, 10b) besteht, wobei die Stege (10a, 10b) in Querrichtung (QR) durch parallel zum Spalt (15) verlaufenden Schweißnähte (16b) gasdicht verbunden sind.

19. Reaktor nach Anspruch 16 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die der Einsenkung/Rille (14a,14b) oder dem Spalt (15) zugeordneten Durchtrittsöffnungen (18) eine Geometrie oder Form haben, die kleiner als die Abmessung und Form der kleinsten Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist.

20. Reaktor nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Strömungsübergänge (17) gleichmäßig oder unterschiedlich lang voneinander beabstandet und verteilt in Längsrichtung des Stegs (10a, 10b) angeordnet sind, wobei die Durchtrittsöffnung (18) eine Geometrie und Form hat, die kleiner als die kleinste Korngröße des Adsorptionsmittels (AM) ist.

21. Reaktor nach Anspruch 16 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Durchtrittsöffnungen (18) des Strömungsübergangs (17) eine Querschnittsfläche (QF) aufweisen, über die eine bestimmte Menge des abgeteilten Teilstroms (TS) als Bypassstrom (BS) in den jeweils benachbarten Strömungskanal (9) gelangt.

22. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungskanäle (9) zuström- und abströmseitig mit einem vom Prozessgas (G), Reaktionsgas (GR) und Reingas (G, RG) durchströmbar Sieb (11) abgedeckt sind, dessen Maschengröße kleiner ist als die kleinste Partikelgröße der Katalysatorschüttung ist.

23. Reaktor nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Well- oder Profilbleche (7a,7b) ein halbrundes, ovales, dreieckiges, trapezoides oder viereckiges Profil (8) besitzen, so dass beim Übereinanderlegen der Profil- oder Wellbleche (7a,7b) die entstehenden Strömungskanäle (9) einen rohrförmigen, wellenartigen, rhombischen, rechteckigen oder vieleckigen Querschnitt aufweisen.

24. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher (1) eine rechteckige Baueinheit (1a) bildet, die im Innenraum eines rechteckigen oder

zylindrischen Gehäuses (2) angeordnet ist, wobei der Verteilraum (3) als ein Kopfteil (28), der Sammelraum (5) als ein Fußteil (30) ausgebildet ist und der Verteilraum (13) für das Kühlmedium (K) alle Strömungsräume (12) durchströmungsoffen umschließt.

25. Reaktor nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Baueinheit (1a) einen zuströmseitigen Boden (26) und einen abströmseitigen Boden (27) aufweist, wobei die Böden (26,27) aus jeweils einem einzigen Formteil oder aus mehreren an die Kontur der Wellblechpaare (7c) angepasste Formteile (26.1-26.n;27.1-27.n) bestehen, die untereinander und mit den Wellblechpaaren (7c) stoffschlüssig verbunden sind.

26. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator (KS) eine Partikelgröße hat, die auf die Abmessung, den Querschnitt und die Form der Strömungskanäle (9) so abgestimmt ist, dass die Katalysatorpartikel einen geringen Abstand zur Wand (20) des Strömungskanals (9) für eine hohe Wärmeleitung haben.

27. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator (KS) eine lose Schüttung von Partikeln umfasst, die Palladium, Platin, Vanadium, Wolfram, Chrom, Molybdän, Titan, Mangan, Kobalt, Nickel, Silber, Kupfer, Zink, Eisen, Aluminium, Silizium, Magnesium, Phosphor, Beryllium und dessen Oxide, Barium, Ruthenium oder deren Gemische mit einer mittleren Partikelgröße zwischen 0,6 bis 6, 0 mm enthalten.

28. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Baueinheiten (1a) senkrecht übereinander in einem gemeinsamen Gehäuse (2) angeordnet sind und dass jede Baueinheit (1a) mit einem zuflussseitigen Verteilraum (3), einem abströmseitigen Sammelraum (5) und einem Verteilraum (13) für das Kühlmedium (K) versehen ist, wobei die Verteilräume (3) und die Sammelräume (5) untereinander durch die Strömungskanäle (9) strömungsverbunden sind.

29. Reaktor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der modifizierte Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher (1) aus dünnem Edelstahl-, Kohlenstoffstahl-, Kupfer- oder Aluminiumblech besteht.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

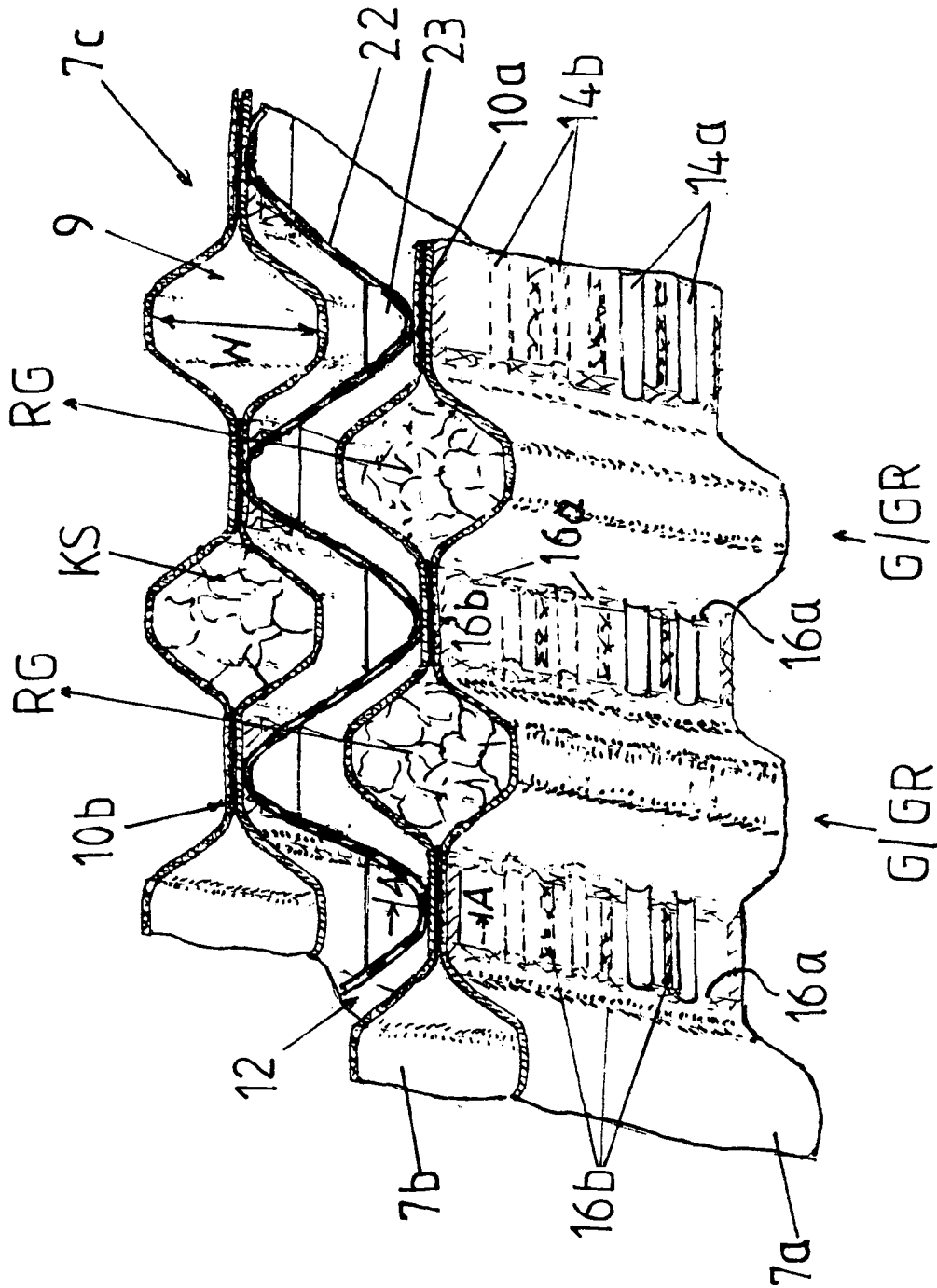


FIG. 1a

Schnitt A-A

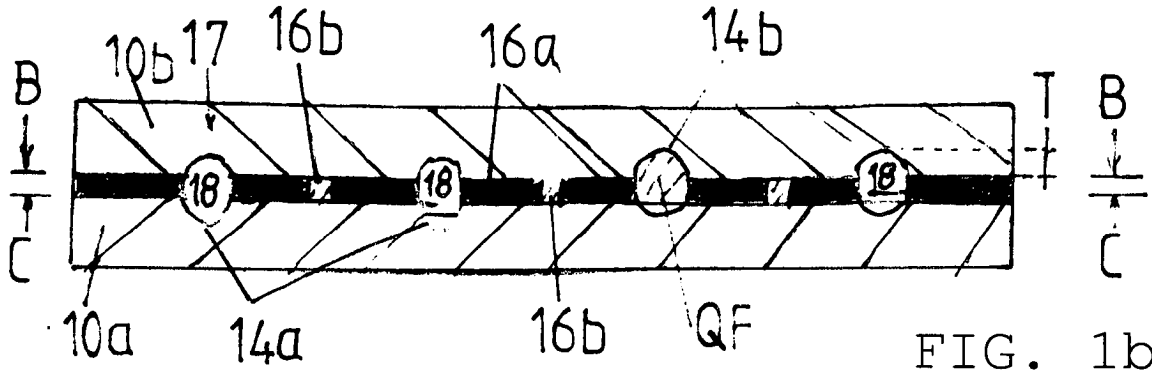


FIG. 1b

Schnitt B-B

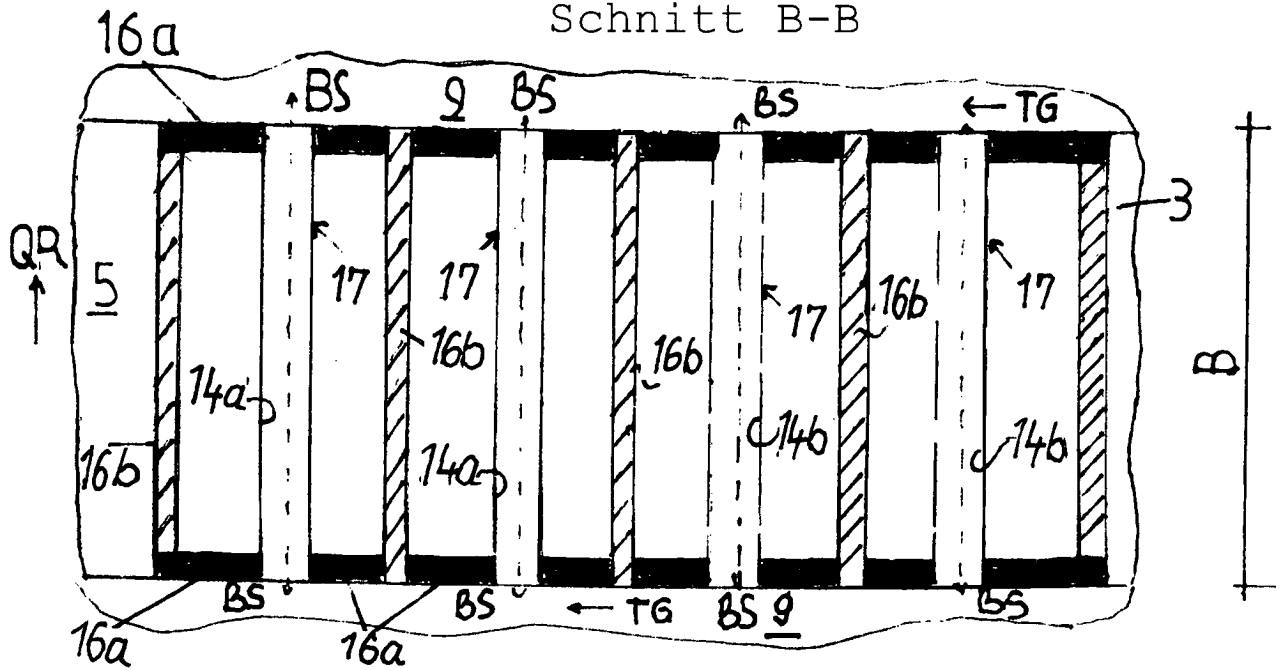


FIG. 1c

Schnitt C-C

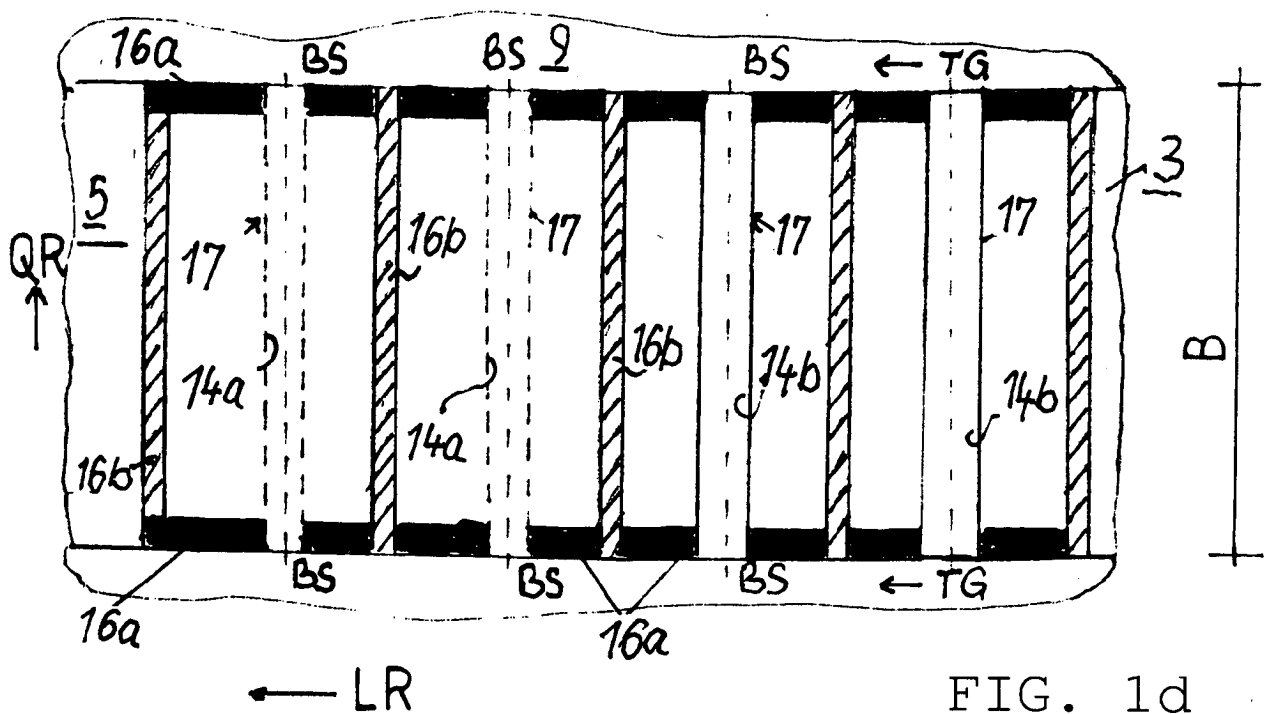


FIG. 1d

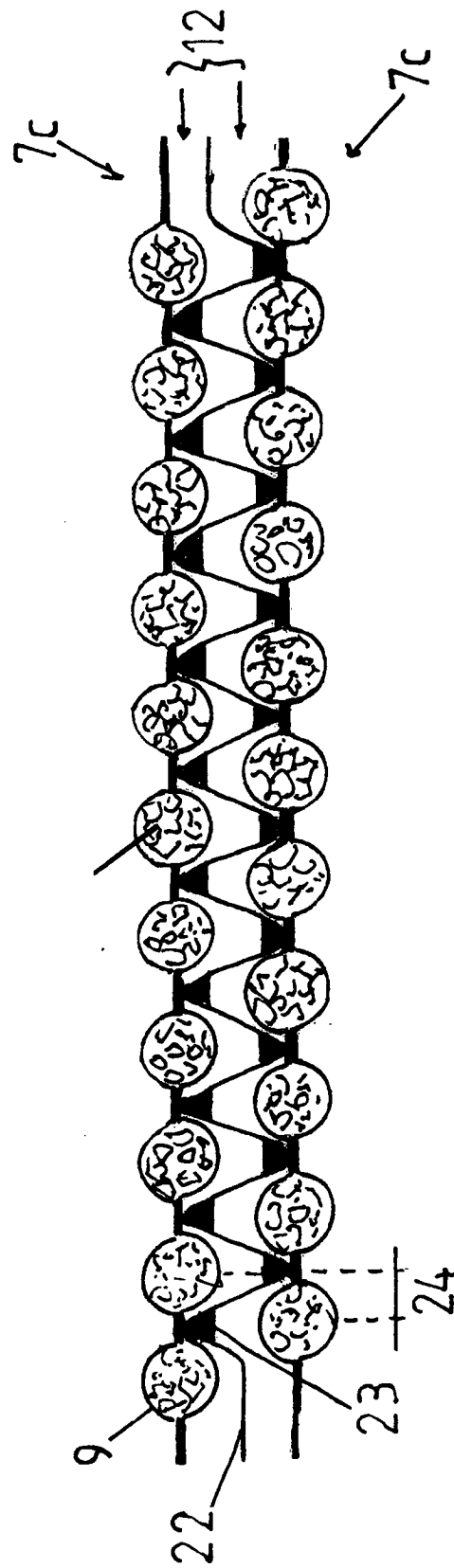


FIG. 2

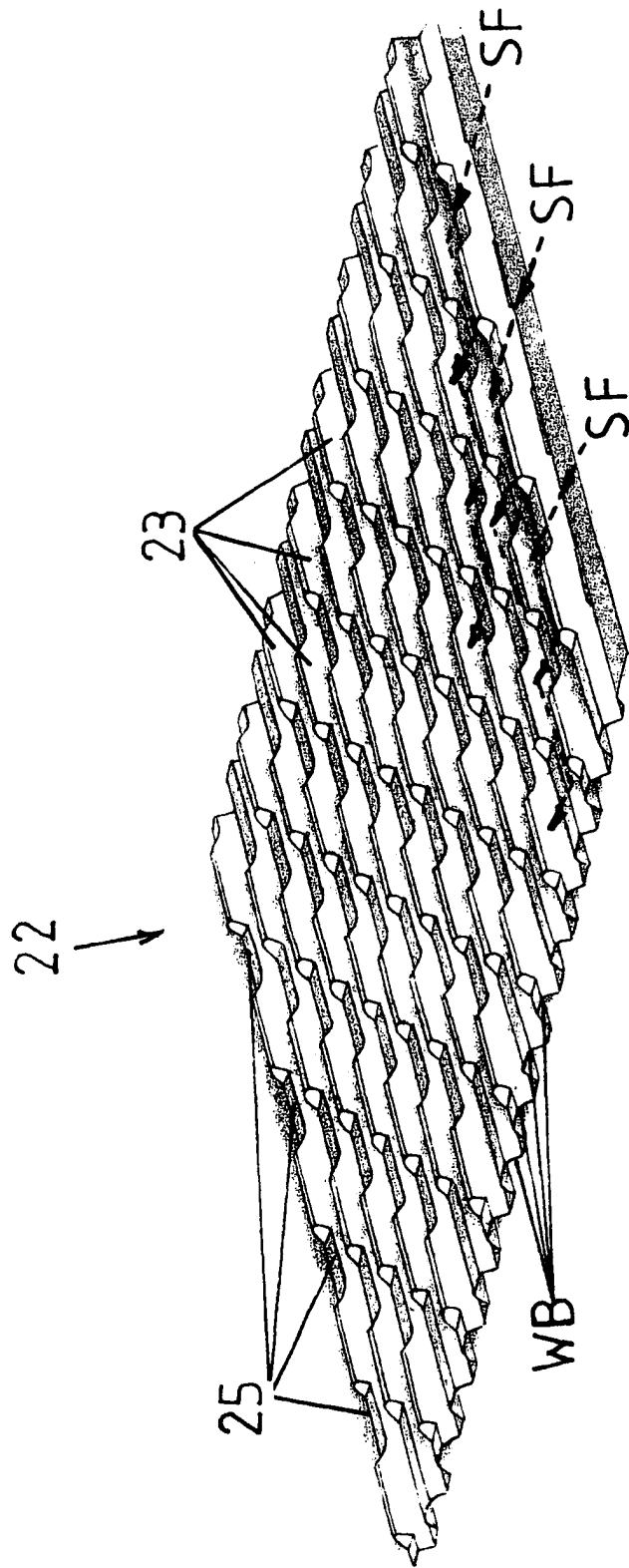


FIG. 3

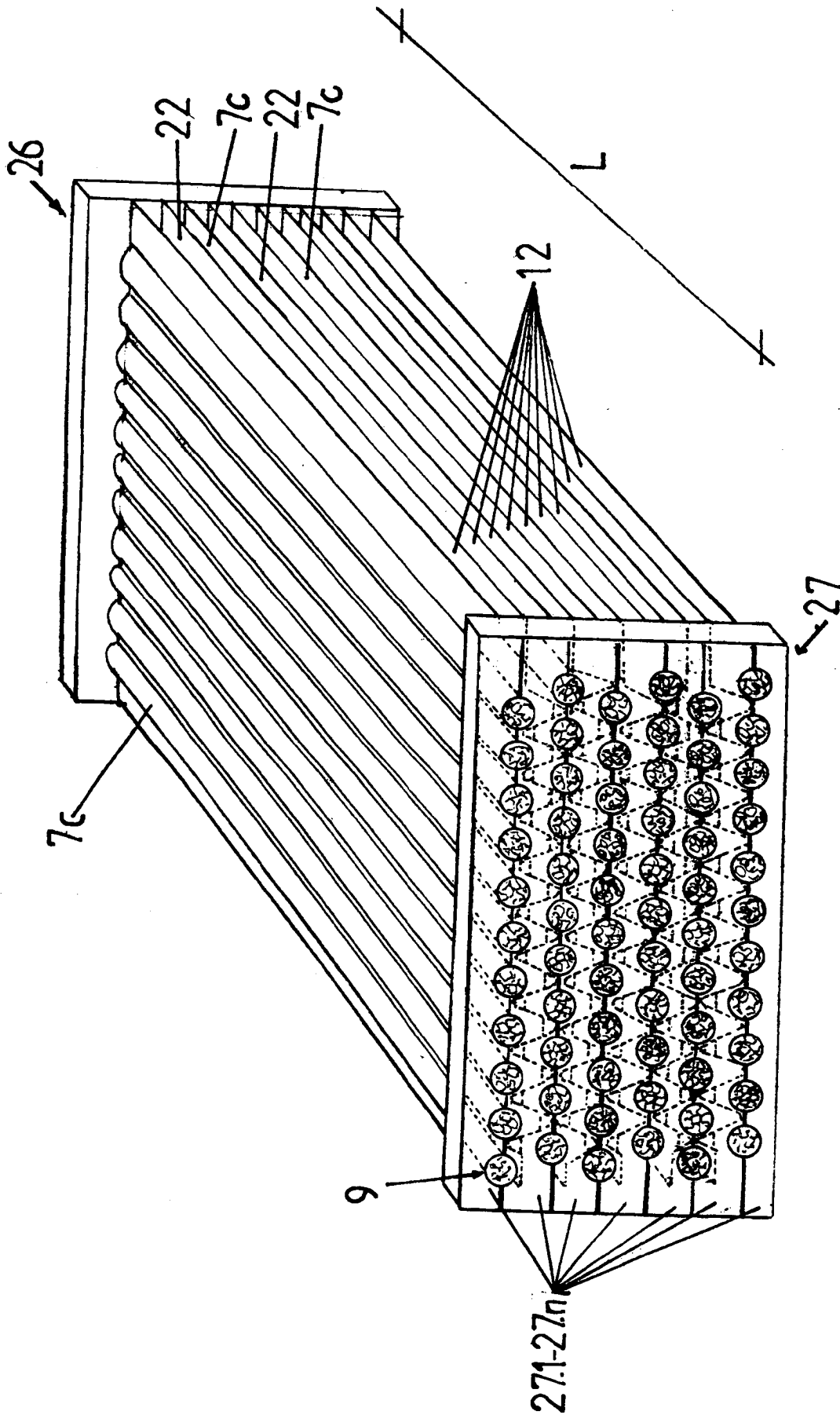


FIG. 4a

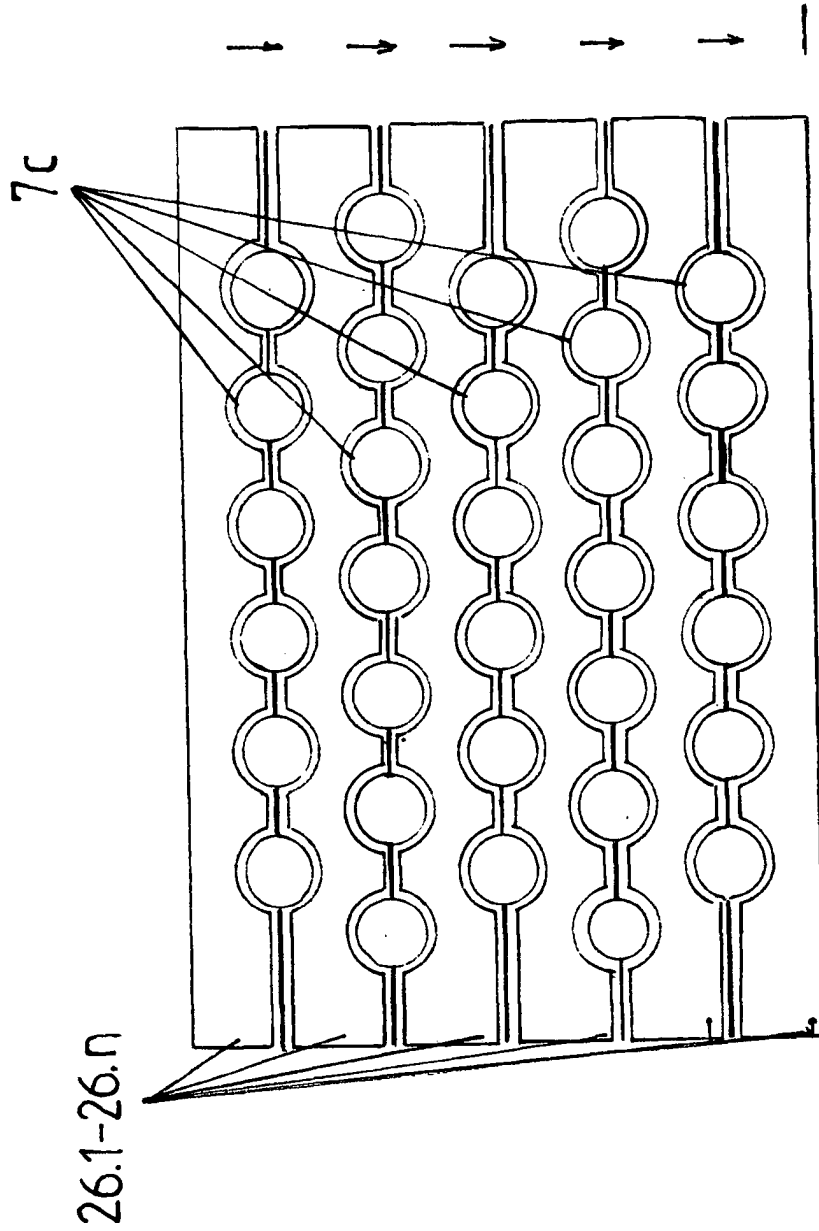


FIG. 4b

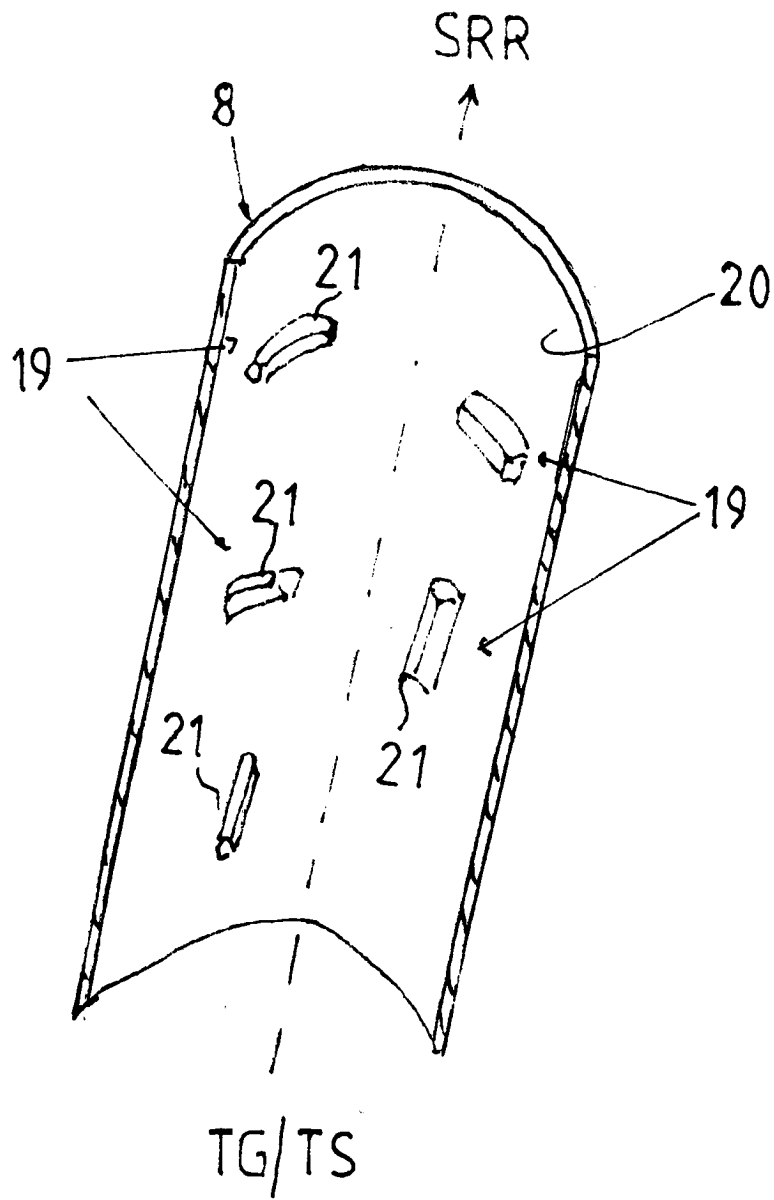


FIG. 5

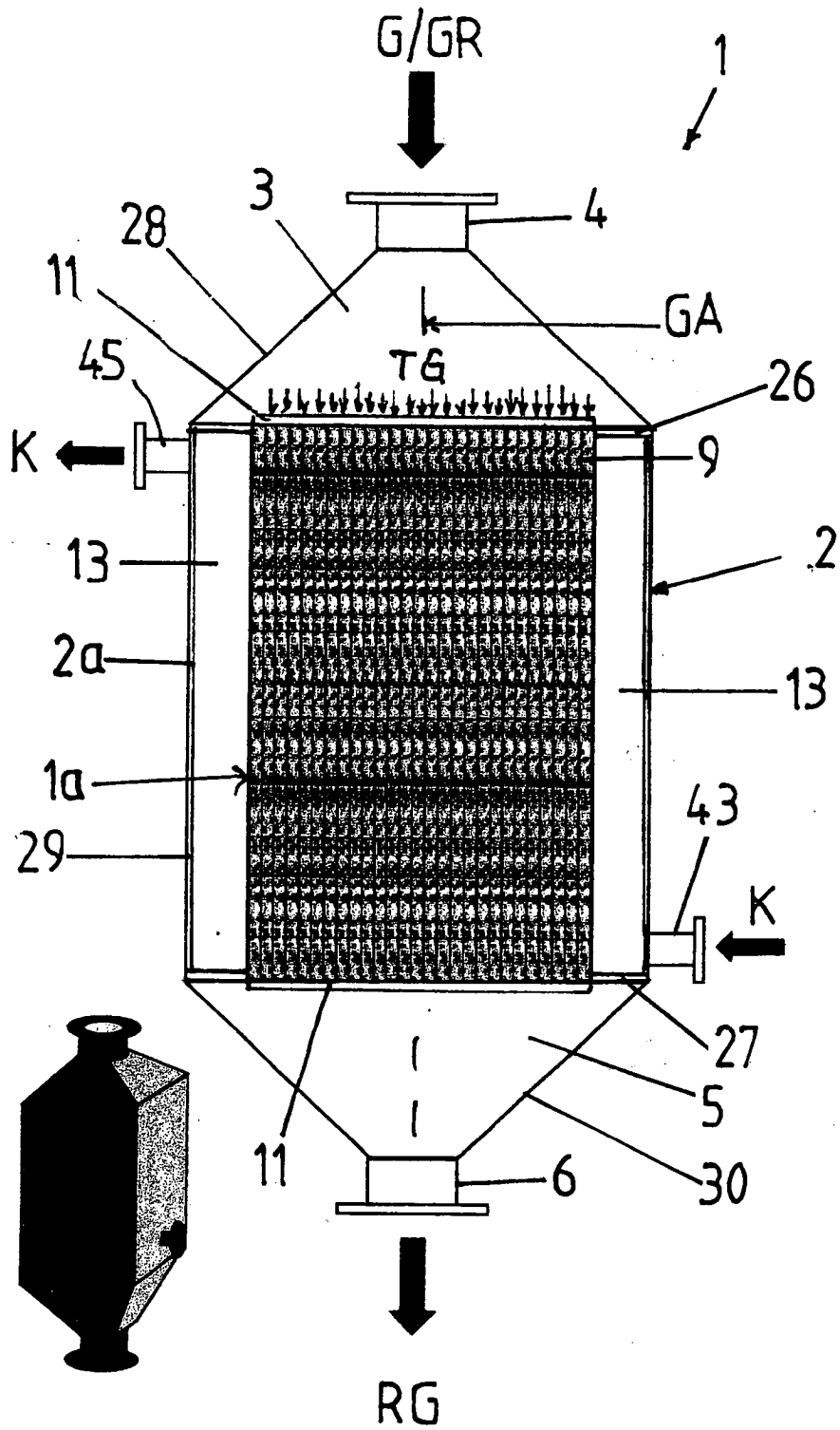


FIG. 6

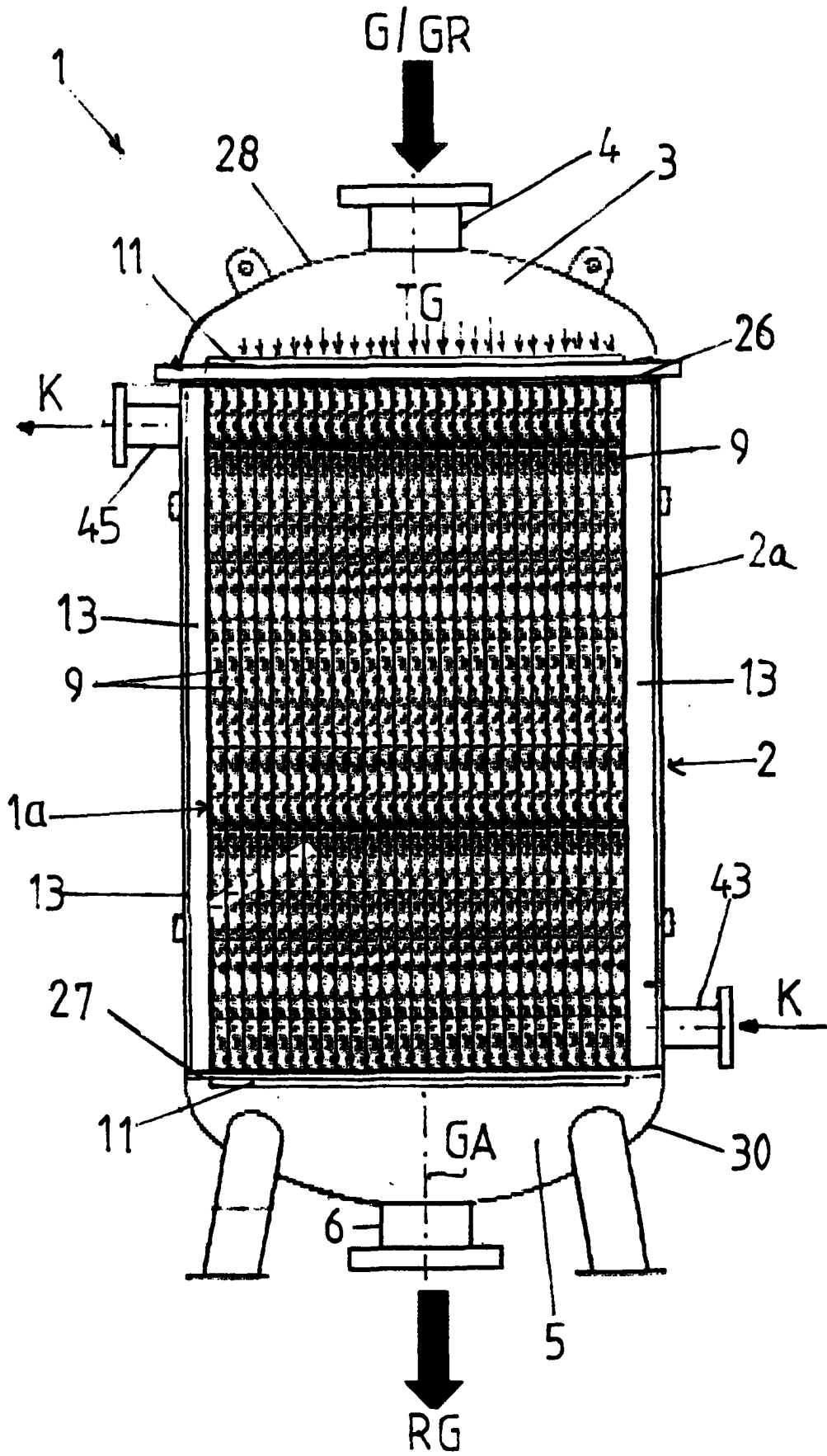


FIG. 7

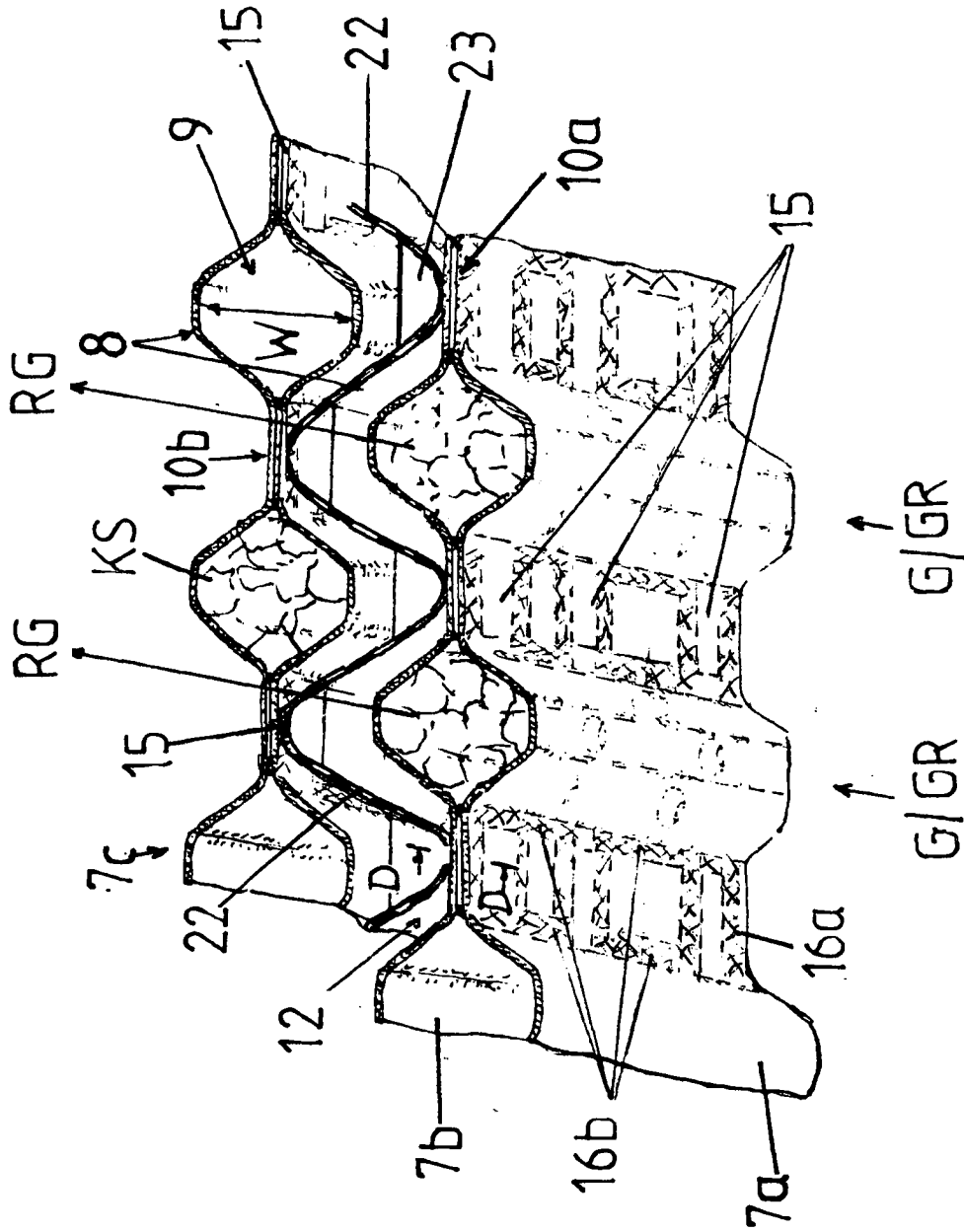


FIG. 9

