



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 02 391 T2 2005.02.24**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 313 554 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 02 391.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP01/08937**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 958 045.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/018042**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.08.2001**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **07.03.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.05.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **17.03.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.02.2005**

(51) Int Cl.7: **B01J 19/24**

**B01J 19/00, B01J 8/02, B01J 8/00,**

**B01J 3/04, C01B 15/029, C07C 45/35,**

**C07C 47/22, C07C 51/25, C07C 57/04,**

**C07D 301/12**

(30) Unionspriorität:

**10042746 31.08.2000 DE**

(73) Patentinhaber:

**Degussa AG, 40474 Düsseldorf, DE; Uhde GmbH,  
44141 Dortmund, DE**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**SCHÜTTE, Rüdiger, 63755 Alzenau, DE; BALDUF,  
Torsten, 45772 Marl, DE; BECKER, Catrin, 65929  
Frankfurt, DE; HEMME, Ina, 63450 Hanau, DE;  
BERTSCH-FRANK, Birgit, 42329 Wuppertal, DE;  
WILDNER, Werner, 63500 Seligenstadt, DE;  
ROLLMANN, Jürgen, 63762 Pflaumheim, DE;  
MARKOWZ, Georg, 63791 Karlstein, DE**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG CHEMISCHER REAKTIONEN IN EINEM REAKTOR MIT SPALTFÖRMIGEN REAKTIONSRÄUMEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## VOLLSTÄNDIGE BESCHREIBUNG

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Durchführen von Reaktionen zwischen mindestens zwei fluiden Reaktanten unter Verwendung eines Reaktors, in dem sich Wandelemente, spaltförmige Reaktionsräume und Hohlräume zur Durchleitung eines fluiden Wärmeträgers befinden.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Durch die DE 33 42 749 A1 ist ein Plattenreaktor für chemische Synthesen unter hohem Druck bekannt, bei dem die Platten als flache, von Blechwänden begrenzte Quader gestaltet sind, die jeweils eine mit einem Katalysator gefüllte Kammer bilden, deren beide größten Wände gasundurchlässig sind. Die Strömung der Reaktionsgase durch den granulaförmigen Katalysator erfolgt entweder waagrecht oder senkrecht durch zwei offene oder durchbrochene, jeweils gegenüberliegende Schmalseiten der Quader. Zur Beheizung oder Kühlung (je nach der Reaktion, entweder exotherm oder endotherm) sind in den Kammern Kühlkanäle zur Umwälzung eines flüssigen Wärmeträgers vorgesehen. Diese Kühlkanäle können durch Blechstrukturen gebildet werden, die als Stege, Wellblech oder dergleichen gestaltet und mit den glatten Wänden fest verbunden sind, beispielsweise durch Schweißen. Die Gesamtheit der Kammern ist im Umriss der Form eines zylindrischen Reaktors angepasst, sodass die Kammern teilweise unterschiedliche Größen besitzen, und werden nacheinander, z.B. auch gruppenweise, von den Reaktionsgasen durchströmt. Die Bauweise ist enorm aufwendig und die an sich schon geringe Produktionsmenge kann allenfalls durch axiale Verlängerung und/oder eine Parallelschaltung mehrerer Reaktoren vergrößert werden.

**[0003]** Durch die EP 0 691 701 A1 ist ein gestapelter Reforming-Generator bekannt, bei dem zur Durchführung endothermer Reaktionen jeweils eine Reforming-Kammer mit nachgeschaltetem Wärmerückgewinnungsmedium zwischen zwei Brennkammern eingebettet ist. Die Strömungsrichtung der Gase in den Reforming-Kammern und in den Brennkammern ist dabei jeweils entgegengesetzt, wobei vor den jeweils nachgeschalteten Wärmerückgewinnungskammern semipermeable Wände angeordnet sind. Das Wärmerückgewinnungsmedium besteht beispielhaft aus Kugeln aus Aluminiumoxid. Zur Verbesserung des Wärmeaustauschs sind zwischen den einzelnen Kammern waagrechte Wärmeleitbleche angeordnet, die im Heizungsbereich mit Brennstoff-Durchlassöffnungen versehen sind. Zwischen einer jeden solchen Dreiergruppe befindet sich wiederum eine Brennstoff-Verteilerkammer. Die Vorrichtung ist im Aufbau außerordentlich kompliziert und für exotherme Pro-

zesse weder vorgesehen noch geeignet, da die Vorrichtung keine Kühlkanäle besitzt, was dem Sinn und Zweck der bekannten Lösung zuwider laufen würde. Die Bauweise, die für einen Betrieb bei Hochdruck nicht geeignet ist, dient dem Zweck, die Baulänge durch den Wegfall besonderer Aufheizzonen zu verkürzen.

**[0004]** Durch die DE 44 44 364 C2 ist ein senkrechter Festbettreaktor mit rechteckigem Gehäusequerschnitt für exotherme Reaktionen zwischen Gasen bekannt, bei dem das Festbett aus Katalysatoren zur Bildung von getrennten Strömungskanälen und eines Plattenwärmetauschers durch senkrechte Trennwände unterteilt ist. Unterhalb und oberhalb der Strömungskanäle befinden sich in alternierender Anordnung jeweils katalysatorfreie Zwischenräume. Die Gase treten am oberen Ende des Festbetts aus einem Teil der Strömungskanäle aus und werden durch seitliche Überströmkanäle wieder unter das Festbett geleitet, von wo sie durch die jeweils anderen Strömungskanäle einem Gasaustrittsstutzen zugeführt werden. Die Vorrichtung ist für endotherme Prozesse weder vorgesehen noch geeignet, da die Vorrichtung keine Mittel für eine Wärmezufuhr besitzt. Außerdem ist die Bauweise wegen des rechteckigen Querschnitts des Gehäuses für einen Betrieb bei Hochdruck nicht geeignet.

**[0005]** Durch die EP 0 754 492 A2 ist ein Plattenreaktor für Reaktionen von fluiden Medien bekannt, der als statischer Mischer mit Wärmeaustausch ausgeführt ist. Zu diesem Zweck werden zahlreiche Platten aufeinander gestapelt, von denen die unterste nach außen hin geschlossen ist und die oberste nach außen hin lediglich Bohrungen für den Ein- und Austritt der umzusetzenden oder umgesetzten Medien und eines Wärmeträgermediums besitzt. Die jeweils zweiten Platten von unten und oben besitzen zusätzlich einseitig offene Ausnehmungen für die Umlenkung der Reaktanten durch den Stapel in Mäanderform. In den dazwischen liegenden Platten befinden sich X- und kleeblattförmige und in Stapelrichtung miteinander verbundene Misch- und Reaktionskammern. Auch der Wärmetauscherkanal ist in Mäanderform durch den Plattenstapel hindurchgeführt. Die Platten bestehen aus gut wärmeleitfähigem Material, vorzugsweise aus Metallen und Legierungen, haben eine Dicke zwischen 0,25 und 25 mm und können durch Mikrobearbeitung, Ätzen, Stanzen, lithografische Verfahren usw., hergestellt werden. Sie sind an ihren Flächen außerhalb der Durchbrüche, d.h. auf dem Umfang, fest und dicht miteinander verbunden, beispielsweise durch Klemmung, Bolzen, Nieten, Löten, Kleben usw., und bilden dadurch ein Laminat. Die komplizierten Strömungswege verursachen hohe Strömungswiderstände und sind nicht mit Katalysatoren füllbar. Die Herstellung ist wegen der erforderlichen Bearbeitung extrem aufwendig, weil alle Berührungsflächen feingeschliffen werden müssen.

**[0006]** Durch die DE 197 54 185 C1 ist ein Reaktor für die katalytische Umsetzung von fluiden Reaktionsmedien bekannt, bei dem ein Festbett aus Katalysatormaterial, das sich auf einem Siebboden abstützt, durch senkrechte Thermobleche unterteilt ist, die aus je zwei mehrfach kissenförmig verformten Blechen bestehen, die unter Einschluss eines Raumes für die Durchleitung eines Kühl- oder Heizmediums an rasterförmig verteilten Punkten miteinander verschweißt sind. Durch die Festbettsäulen zwischen den Thermoblechen einerseits und die Hohlräume in den Thermoblechen andererseits werden die Reaktionsmedien und ein Wärmeträgermedium im Gegenstrom hindurchgeleitet. Der Reaktorbehälter ist als senkrechter Zylinder ausgeführt und die Thermobleche sind dem Zylinder angepasst, haben also unterschiedliche Größen. Auch hierbei kann die Produktionsmenge allenfalls durch axiale Verlängerung und/oder eine Parallelschaltung mehrerer Reaktoren vergrößert werden.

**[0007]** Durch die DE 198 16 296 A1 der gleichen Anmelderin ist es bekannt, in einem Reaktor, der sowohl eine Festbettschüttung aus partikelförmigen Katalysatoren als auch flächige monolithische Träger enthalten kann, die mit Kanälen versehen, als Wärmetauscher gestaltet und mit Beschichtungen aus Katalysatormaterial versehen sind, aus Wasser, Wasserstoff und Sauerstoff eine wässrige Wasserstoffperoxidlösung zu erzeugen. Als Katalysatoren werden Elemente aus der B. und/oder 1. Nebengruppe des Periodensystems angegeben, wie Ru, Rh, Pd, Ir, Pt und Au, wobei Pd und Pt besonders bevorzugt sind. Als Trägermaterialien werden Aktivkohle, wasserunlösliche Oxide, Mischoxide, Sulfate, Phosphate und Silikate von Erdalkalimetallen, Al, Si, Sn und Metallen der 3. bis 6. Nebengruppe angegeben. Oxide des Siliziums, Aluminiums, Zinns, Titans, Zirkoniums, Niobs und des Tantals sowie Bariumsulfat werden als bevorzugt angegeben. Als Materialien für monolithische Träger werden metallische oder keramische Wände mit der Funktion von zu Plattenwärmetauschern analogen Wärmetauschern genannt. Der angegebene Versuchsreaktor hatte einen Innendurchmesser von 18 mm bei einer Länge von 400 mm. Die Temperaturen lagen im Bereich von 0 bis 90°C, vorzugsweise 20 bis 70°C, die Drücke zwischen Atmosphärendruck und etwa 10 MPa, vorzugsweise zwischen etwa 0,5 und 5 MPa. Auch gegenüber diesem Stand der Technik kann die Produktionsmenge allenfalls durch axiale Verlängerung und/oder eine Parallelschaltung mehrerer Reaktoren vergrößert werden.

**[0008]** Ein Reaktor gemäß DE 195 44 985 C1 sowie DE 197 53 720 A1 umfasst einen plattenartigen Wärmetauscher, bei dem der Fluiddruckhöhenträger durch den zwischen zwei Platten gebildeten Spalt geleitet wird. Es findet sich keinerlei Hinweis auf die Funktion der Breite bei spaltförmigen Reaktionsräumen.

**[0009]** Eine Vorrichtung nach DE 197 41 645 A1 umfasst einen Mikroreaktor mit Reaktions- und Kühlkanälen, bei dem die Tiefe a der Reaktionskanäle < 1000 µm ist und die kleinste Wanddicke b zwischen Reaktions- und Kühlkanälen < 1000 µm ist. Diese Druckschrift gibt keinen Hinweis auf die Verwendung von Reaktionsräumen außer den genannten Kanälen. DE 197 48 481 lehrt einen Mikroreaktor, der viele parallele Rillen als Reaktionsräume umfasst. Die Herstellung eines Reaktors für großen Großdurchsatz ist teuer.

**[0010]** Ferner sind sogenannte Mikroreaktoren bekannt, bei denen die Abmessungen der Strömungskanäle im Bereich von wenigen hundert Mikrometern liegen (in der Regel < 100 µm). Daraus ergeben sich hohe Transportgrößen (Wärme- und Stoffübergangsparameter). Die feinen Kanäle wirken als Flammensperren, sodass sich keine Explosionen ausbreiten können. Bei toxischen Reaktanten führt ein kleines Speichervolumen (hold-up, Totvolumen) zusätzlich zu inhärent sicheren Reaktoren. Auf Grund der geringen Abmessungen ist aber eine Füllung der Kanäle mit Katalysatoren unmöglich. Ein weiterer entscheidender Nachteil ist die aufwendige Herstellung. Um eine Verstopfung der feinen Kanäle zu vermeiden, ist darüber hinaus für einen entsprechenden Filterschutz vor dem Reaktor zu sorgen. Große Produktionsmengen können nur durch Parallelschalten vieler solcher Reaktoren erreicht werden. Ferner können die Reaktoren nur dann bei höheren Drücken betrieben werden, wenn sich das Kühlmedium auf gleichem Druckniveau befindet.

#### ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0011]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen es möglich ist, wahlweise exotherme und endotherme Prozesse durchzuführen, bei denen mehrere fluide Reaktanten in An- oder Abwesenheit von Katalysatoren miteinander reagieren und wobei der Reaktionsbereich des Reaktors in Modulbauweise ausgeführt ist, sodass es möglich ist, die Produktionsmenge den Anforderungen anzupassen.

**[0012]** Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch, dass

- a) die spaltförmigen Reaktionsräume zwischen Seitenflächen von jeweils zwei im Wesentlichen gleich großen und im Wesentlichen quaderförmigen Wandelementen, die aus massiven Platten hergestellt sind, gebildet werden und dass die Wandelemente austauschbar in einem Block innerhalb eines virtuellen Quaders angeordnet werden,
- b) die Reaktanten von auf der gleichen Seite des Blocks liegenden Randbereichen aus in die spaltförmigen Reaktionsräume eingeleitet und als Re-

aktionsgemisch in gleichen Richtungen in Parallelströmen durch die Reaktionsräume geleitet werden, und dass

c) der fluide Wärmeträger durch die im Inneren der Wandelemente verlaufenden Hohlräume hindurch geleitet wird.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0013]** Es zeigen:

**[0014]** Fig. 1 eine perspektivische Explosionsdarstellung einer Gruppe aus zwei Wandelementen,

**[0015]** Fig. 2 eine perspektivische Prinzipdarstellung einer Reihenanordnung von zahlreichen Wandelementen nach Fig. 1,

**[0016]** Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch eine Reihenanordnung nach Fig. 2 über dem Boden eines druckfesten Reaktors,

**[0017]** Fig. 4 den Ausschnitt aus dem Kreis A in Fig. 3 in vergrößertem Maßstab, perspektivisch ergänzt,

**[0018]** Fig. 5 eine teilweise vertikal geschnittene Seitenansicht durch den Gegenstand von Fig. 3 nach Drehung um einen Winkel von 90 Grad,

**[0019]** Fig. 6 den Gegenstand von Fig. 2, schematisch ergänzt durch einen Verteilerraum und einen Sammelraum für Edukt(e) und Produkt,

**[0020]** Fig. 7 einen Vertikalschnitt durch eine Platte und einen Verteilerkörper mit Strömungskanälen für Reaktanten und/oder Wärmeträger,

**[0021]** Fig. 8 einen teilweisen Vertikalschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines Reaktors mit einem Druckbehälter,

**[0022]** Fig. 9 eine Unteransicht des Deckels des Druckbehälters nach Fig. 8,

**[0023]** Fig. 10 einen teilweisen Vertikalschnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel eines Reaktors mit einem Druckbehälter.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0024]** Durch die Erfindung wird die gestellte Aufgabe in vollem Umfang gelöst; insbesondere ist es möglich, wahlweise exotherme und endotherme Prozesse durchzuführen, bei denen mehrere fluide Reaktanten (Gase und/oder Flüssigkeiten) in An- oder Abwesenheit von Katalysatoren miteinander reagieren und wobei der Reaktionsbereich des Reaktors in Modulbauweise ausgeführt ist, sodass es möglich ist, die Produktionsmenge den Anforderungen anzupas-

sen. Durch Verringern der Breite der Reaktionsräume von beispielsweise 5 mm auf 0,05 mm nimmt das Verhältnis der Fläche zum Volumen der Reaktionsräume zu. Als Folge dessen werden Probleme, die sich aus der begrenzten Wärmeübertragung innerhalb von Gasen ergeben, gemindert, sodass hoch exotherme oder endotherme Reaktionen sicher durchgeführt werden können.

**[0025]** Es ergeben sich jedoch noch weitere Vorteile:

- Verbindung der Mikroreaktionstechnologie mit den Vorteilen einer einfachen Fertigung nach klassischen Werkstattstechniken,
- leichter Austausch einzelner Wandelemente (der Begriff „im Wesentlichen gleich groß und im Wesentlichen quaderförmig“ bedeutet, dass kleinere Abweichungen aus Kontinuitätsgründen, tolerierbar sind),
- nahezu beliebige Dicke der Wandelemente ohne Beeinträchtigung der Funktion,
- Vergrößerung der spezifischen Oberfläche durch Profilierung/Aufrauung,
- direkte völlige oder teilweise Beschichtung der Seitenflächen mit unterschiedlichem Katalysatormaterial durch Tränken, Spritzen, Drucken oder dergleichen mit unterschiedlicher Dicke,
- Füllung der Reaktionsräume mit Katalysatorpartikeln unterschiedlicher Größe,
- Möglichkeiten von Reaktionen Gase/Gase – Gase/Flüssigkeiten – Flüssigkeiten/Flüssigkeiten,
- Aufprägung von Strömungsmustern und -kanälen, z.B. zur Drainage und zum Abfließenlassen von flüssigen Reaktionsprodukten, einfache Abscheidung,
- Veränderungsmöglichkeiten der Spaltweiten,
- Mischung der Reaktanten erst in den Reaktionsräumen, gute Reaktionsführung,
- Vermeidung von Rückströmungen aus den Reaktionsräumen,
- gute Regelbarkeit auf Grund hoher Wärmeübergangskoeffizienten und großer Flächen, d.h. schnelles Ansprechen auf Veränderungen der Belastung und/oder der Temperatursollwerte und gleichmäßiges Temperaturprofil, und dadurch längere Katalysatorstandzeiten durch Vermeidung von „Hot-Spots“,
- inhärente Sicherheit beim Umsetzen von ansonsten explosiven Reaktionsgemischen,
- geringes Totvolumen („hold-up volume“),
- Möglichkeit des Arbeitens unter hohem Druck, geringe Druckverluste in den Reaktionsräumen,
- Eintauchbarkeit in flüssige Lösungsmittel und Betreibbarkeit mit einem Sumpf, der von außen temperiert (beheizt/gekühlt) werden kann und einen leichten Abbruch der Reaktion durch „Quenchen“ und/oder Waschen ermöglicht,
- mögliche Zugabe von Inhibitoren, um Folgereaktionen zu verhindern, Reduzierbarkeit des Gas/Flüssigkeitsvolumens durch Füll- und/oder

Verdrängerkörper im Druckbehälter jenseits des Produktaustritts im Sumpf,

- Reduzierung der Zahl der Anschlüsse und leichtere Abdichtbarkeit gegen Leckagen (wichtig bei toxischen Komponenten),
- kleine Diffusionswiderstände, hohe Raum-Zeit-Ausbeuten, insbesondere höhere Durchsätze als bei den bekannten Mikroreaktoren, einfacheres „scale-up“ vom Labor- zum Produktionsmaßstab durch Vervielfältigung („number-up“)
- einfache und kompakte Bauweise, Reduzierung von Investitions- und Betriebskosten (Wartung, Energieverbrauch),
- Möglichkeit des Baus von Kleinanlagen.

**[0026]** Es ist dabei im Zuge weiterer Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders vorteilhaft, wenn – entweder einzeln oder in Kombination –

- mindestens ein Reaktant durch die Wandelemente zugeführt und durch mindestens eine der Seitenflächen der Wandelemente in den betreffenden Reaktionsraum eingeleitet wird,
- auf mindestens einer Seite des Blocks ein Verteilermedium angeordnet wird, von dem aus die Reaktionsräume mit den Reaktanten versorgt werden,
- als Verteilermedium ein Festkörper mit Gruppen von Kanälen verwendet wird, deren Querschnitte so klein gewählt werden, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten, die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist,
- als Verteilermedium ein Schüttkörper mit einer Korngröße und Zwischenräumen verwendet wird, die so klein gewählt werden, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten, die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist,
- die Spaltweite der Reaktionsräume bevorzugt zwischen 0,05 und 5 mm und vorzugsweise 0,05 bis 0,2 mm gewählt wird,
- bei explosiven Reaktionsgemischen die Spaltweite so klein gewählt wird, dass keine Flammenausbreitung möglich ist,
- die Reaktionsräume mit granulartförmigem Katalysator gefüllt werden,
- die den Reaktionsräumen zugekehrten Seitenflächen der Wandelemente mindestens stellenweise mit Katalysatormaterial überzogen werden,
- die den Reaktionsräumen zugekehrten Seitenflächen der Wandelemente zur Vergrößerung der Oberfläche mit einer Profilstruktur versehen sind,
- die Wandelemente mindestens teilweise in ein wässriges oder organisches Lösungsmittel oder ein Lösungsmittelgemisch eingetaucht werden,
- als Lösungsmittel Wasser, ggf. mit mindestens einem Zusatz von Inhibitoren, verwendet wird, die einen Zerfall und/oder Abbau des Reaktionsprodukts verhindern, und/oder, wenn

– das Verfahren zur Herstellung von Wasserstoffperoxid aus Wasser dampf), Wasserstoff und Luft, ggf. angereichert mit Sauerstoff, oder Sauerstoff verwendet wird.

**[0027]** Diese Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Durchführen von Reaktionen zwischen mindestens zwei fluiden Reaktanten unter Verwendung eines Reaktors, in dem sich Wandelemente, spaltförmige Reaktionsräume und Hohlräume zur Durchleitung eines fluiden Wärmeträgers befinden.

**[0028]** Zur Lösung der gleichen Aufgabe ist eine solche Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass

- a) die spaltförmigen Reaktionsräume zwischen Seitenflächen von jeweils zwei im Wesentlichen gleich großen und im Wesentlichen quaderförmigen Wandelementen, die aus massiven Platten hergestellt sind, angeordnet sind, und dass die Wandelemente austauschbar in einem Block innerhalb eines virtuellen Quaders angeordnet sind,
- b) die Zufuhr der Reaktanten in die spaltförmigen Reaktionsräume von der gleichen Seite des Blocks durchführbar ist, wobei das Reaktionsgemisch in gleichen Richtungen und in Parallelströmen durch die Reaktionsräume hindurchführbar ist, und dass
- c) die Wandelemente mindestens je einen Hohlraum zum Hindurchleiten des fluiden Wärmeträgers durch das Wandelement besitzen.

**[0029]** Verfahren und Vorrichtung eignen sich beispielhaft für folgende Prozesse:

- Selektive Hydrierungen und Oxidationen,
- Acroleinherstellung durch katalytische Oxidation von Propen mit einem O<sub>2</sub> enthaltenden Gas bei gegenüber Luft erhöhter Sauerstoffkonzentration unter Selektivitätserhöhung, beispielsweise in Gegenwart eines Mo-haltigen Katalysators bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 500°C und einem Druck im Bereich von 0,1 bis 5 MPa,
- Herstellung von Acrylsäure durch katalytische Oxidation von Propen, beispielsweise in Gegenwart eines Mo-haltigen Katalysators und eines Promotors bei 250 bis 350°C und 0,1 bis 0,5 MPa,
- Herstellung von Ethylen- bzw. Propylenoxid aus Ethylen bzw. Propylen und gasförmigem Wasserstoffperoxid in Gegenwart eines oxidischen oder silikatischen Katalysators, wie Titansilikalit, bei einer Temperatur im Bereich von 60 bis 200°C und einem Druck im Bereich von 0,1 bis 0,5 MPa,
- Wasserstoffperoxid-Direktsynthese aus H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> oder einem O<sub>2</sub>-haltigen Gas in Gegenwart eines Edelmetallkatalysators und Wasser oder Wasserdampf – beispielsweise gemäß dem Verfahren der DE-A 198 16 296 und solchen von darin zitierten weiteren Dokumenten. Als Katalysatoren können hierbei Elemente aus der B. und/oder 1. Nebengruppe des Periodensystems verwendet

werden, wie Ru, Rh, Pd, Ir, Pt und Au, wobei Pd und Pt besonders bevorzugt sind. Die Katalysatoren können per se, z.B. als Suspensionskatalysatoren, oder in Form von Trägerkatalysatoren als Schüttung in den spaltförmigen Reaktionsräumen eingesetzt werden, oder sie sind direkt oder durch Vermittlung von schichtbildenden Trägermaterialien an den Wandelementen fixiert. Als Trägermaterialien können Aktivkohle, wasserunlösliche Oxide, Mischoxide, Sulfate, Phosphate und Silikate von Erdalkalimetallen, Al, Si, Sn und Metallen der 3. bis 6. Nebengruppe verwendet werden. Oxide des Siliziums, Aluminiums, Zinns, Titans, Zirkoniums, Niobs und des Tantals sowie Bariumsulfat sind bevorzugt. Die Reaktionstemperaturen liegen bei der Direktsynthese von Wasserstoffperoxid beispielhaft im Bereich von 0 bis 90°C, vorzugsweise 20 bis 70°C, die Drücke zwischen Atmosphärendruck und etwa 10 MPa, vorzugsweise zwischen etwa 0,5 und 5 MPa.

**[0030]** Es ist dabei im Zuge weiterer Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung besonders vorteilhaft, wenn – entweder einzeln oder in Kombination –:

- in den Wandelementen jeweils mindestens ein Zuleitungskanal angeordnet ist, der durch mindestens eine der Seitenflächen der Wandelemente in den betreffenden Reaktionsraum einmündet,
- auf mindestens einer Seite des Blocks ein Verteilermedium angeordnet ist, durch das die Reaktionsräume mit den Reaktanten versorgbar sind,
- das Verteilermedium ein Festkörper mit Gruppen von Kanälen ist, deren Querschnitte so klein gewählt sind, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten, die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist,
- das Verteilermedium ein Schüttkörper mit einer Korngröße und Zwischenräumen ist, die so klein gewählt sind, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten, die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist,
- die Spaltweite der Reaktionsräume bevorzugt zwischen 0,05 und 5 mm und vorzugsweise 0,05 bis 0,2 mm beträgt,
- die Reaktionsräume mit granulatförmigem Katalysator gefüllt sind,
- die den Reaktionsräumen zugekehrten Seitenflächen der Wandelemente mindestens stellenweise mit Katalysatormaterial überzogen sind,
- die den Reaktionsräumen zugekehrten Seitenflächen der Wandelemente zur Vergrößerung der Oberfläche mit einer Profilstruktur versehen sind,
- die Wandelemente teilweise oder vollständig in einem Behälter angeordnet sind,
- die Reaktionsräume an den parallel zur Strömungsrichtung der Reaktanten verlaufenden Schmalseiten der Wandelemente durch Platten verschlossen sind, in denen sich Öffnungen für die Zu- und Ableitung eines Wärmeträgers in die

Wandelemente und aus den Wandelementen befinden,

- sich in den Platten weitere Öffnungen für die Zuleitung mindestens eines der Reaktanten in die Wandelemente befinden und dass die Wandelemente mit mindestens je einem Zuleitungskanal versehen sind, der über Austrittsöffnungen in jeweils einen der Reaktionsräume einmündet,
- die Wandelemente jeweils mit einer Gruppe von rohrförmigen Hohlräumen versehen sind, die parallel zu den Seitenflächen der Wandelemente verlaufen und an ihren Enden durch die auf die Schmalseiten der Wandelemente aufgesetzten Platten verschlossen sind, in denen sich die mit den Hohlräumen fluchtenden Öffnungen für den Wärmeträger befinden,
- die Platten auf ihren Außenseiten und vor den Öffnungen mit quer zu den Wandelementen verlaufenden Strömungskanälen für mindestens einen der Reaktanten und/oder einen Wärmeträger versehen sind,
- die Platten auf ihren den Wandelementen abgekehrten Außenseiten von einem Verteilerkörper überdeckt sind, in dem sich Strömungskanäle befinden, in die die Öffnungen der Platten einmünden,
- die Wandelemente durch zwei Teilelemente gebildet sind, die halbzyklindrische oder anders ausgeformte Ausnehmungen haben, bei denen rohrförmige Hohlräume durch jeweils zwei zusammenpressende Teilelemente gebildet werden,
- die Wandelemente als Block in einem Druckbehälter untergebracht sind,
- der Druckbehälter mindestens teilweise mit einem Lösungsmittel füllbar ist,
- der Druckbehälter einen Deckel mit einer Trennwand und zwei Anschlussstutzen für die Zuleitung von zwei Reaktanten besitzt und die Trennwand auf das Verteilermedium aufsetzbar ist,
- die Spaltbreite der Reaktionsräume durch Variation der Dicke von Abstandshaltern veränderbar ist.

**[0031]** Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstands werden nachfolgend anhand der **Fig. 1** bis **10** näher erläutert.

**[0032]** In **Fig. 1** sind – in Explosionsdarstellung – zwei Wandelemente **1** mit Seitenflächen **2** gezeigt, die zwischen sich einen Reaktionsraum **3** einschließen, durch den die Reaktanten in Richtung des Pfeils **4** hindurchströmen. In jedem der Wandelemente sind Hohlräume **5** in Form von Durchgangsbohrungen angeordnet, die parallel zu den Seitenflächen **2** verlaufen und in den Schmalseiten **6** der Wandelemente **1** enden. Alternative Lösungen sind weiter unten angegeben.

**[0033]** Die Wandelemente **1** sind als flache Quader gestaltet, deren größte Flächen die Seitenflächen **2**

sind. Diese Seitenflächen **2** können – wie gezeigt – mit einer Profilstruktur versehen, also beispielsweise aufgeraut, sein, um die wirksame Oberfläche zu vergrößern. Die Seitenflächen **2** können ferner ganz oder teilweise mit Oberflächenbelägen aus einem Katalysatorwerkstoff versehen sein, was hier jedoch nicht besonders dargestellt ist. Weitere Einzelheiten gehen aus **Fig. 4** hervor. Auch ist es möglich, alternativ oder zusätzlich im Reaktionsraum **3** partikelförmige Katalysatoren anzuordnen, deren Größe der Spaltweite „s“ (**Fig. 4**) angepasst ist.

**[0034]** **Fig. 2** zeigt die Vereinigung von dreizehn solcher gleich großer Wandelemente **1** zu einem quaderförmigen Block **24**, jedoch ist diese Zahl variabel, worin einer der wesentlichen Zwecke der Erfindung liegt, nämlich die Anpassungsmöglichkeit an unterschiedliche Produktionsmengen und Prozesse. Der Stofftransport in gleichgerichteten Parallelströmen – hier von oben nach unten – ist durch Pfeile nur angedeutet.

**[0035]** **Fig. 3** zeigt einen Vertikalschnitt durch eine Reihenanzahl nach **Fig. 2** über dem Boden **7** eines druckfesten Reaktors, von dem hier die untere Flanschverbindung **8** gezeigt ist. Die Zufuhr von flüssigen Lösungsmitteln erfolgt über die Leitung **9**, die Abfuhr von Restgasen über die Leitung **10**, die Abfuhr des Endprodukts über die Leitung **11** und die Abfuhr von Sumpfmateriale über die Leitung **12**, ggf. zur Reinigung.

**[0036]** **Fig. 4** zeigt den Ausschnitt aus dem Kreis A in **Fig. 3** in vergrößertem Maßstab und perspektivisch ergänzt, d.h. die Verhältnisse beiderseits eines Reaktionsraumes **3**. Die Spaltweite „s“ des Reaktionsraumes **3** wird durch Abstandshalter **13** in einem vorgegebenen Maß gehalten und beispielhaft zwischen 0,05 und 5 mm gewählt. Dieser Bereich kann jedoch auch unter- oder überschritten werden. Im Fall von hoch exothermen und endothermen Reaktionen, besonders ein explosives Gasgemisch umfassenden, ist die Spaltweite verkleinert, bis eine Flammenausbreitung vermieden wird. Die optimale Spaltweite hängt von Medium und Reaktionsart ab und wird durch Versuche ermittelt. Wie aus den **Fig. 4** und **6** ersichtlich ist, ist die Spaltweite „s“ der erfindungsgemäßen Vorrichtung wesentlich kleiner als die Dicke der Wandelemente. In den rohrförmigen Wandelementen befinden sich die bereits beschriebenen Hohlräume **5** für die Durchleitung eines fluiden Wärmeträgers. Je nach dessen Temperierung kann bei einem exothermen Prozess Wärme abgeführt oder bei einem endothermen Prozess Wärme zugeführt werden. Als Wärmeträger können Wasser, Öle, Gase und ggf. auch das Produkt selbst verwendet werden.

**[0037]** In den Wandelementen **1** befinden sich ferner halbzyklindrische Ausnehmungen **14**, die sich zu einem im Wesentlichen zylindrischen Zuleitungskanal

**15** für einen ersten Reaktanten ergänzen. Ferner befinden sich in den Wandelementen weitere Zuleitungskanäle **16** für mindestens einen weiteren Reaktanten. Die Zuleitungskanäle **16** sind durch Austrittsöffnungen **17** mit dem jeweiligen Reaktionsraum **3** verbunden, wobei die Austrittsöffnungen **17** in die Seitenflächen **2** der Wandelemente einmünden, so dass sich die Reaktanten in den Reaktionsräumen **3** mischen können. Die Hohlräume **5**, die Zuleitungskanäle **15** und **16** sowie die Reihe(n) von Austrittsöffnungen **17** verlaufen parallel zueinander und zu den Seitenflächen **2** der Wandelemente **1** und erstrecken sich über deren gesamte Länge – in horizontaler Richtung gesehen.

**[0038]** Die Kühlkanäle (= rohrförmige Hohlräume **5**) lassen sich analog zur Ausführung der Zuleitungskanäle (**15**) gemäß **Fig. 4** auch derart ausgestalten, dass jedes Wandelement (**1**) parallel zu den Seitenflächen (**2**) in zwei Teilelemente gespalten ist und in den Spaltflächen halbzyklindrische oder anders ausgeformte Ausnehmungen angeordnet sind. Durch Zusammenpressen der jeweils zwei korrespondierenden Teilelemente bilden sich Hohlräume (**5**), durch welche ein fluider Wärmeträger strömen kann. Der Begriff „rohrförmig“ umfasst runde oder vierkantig geformte Kanäle oder Rohre.

**[0039]** Die Spaltweite „s“ wird dabei so gewählt, dass sich bei explosiven Reaktionsgemischen keine Flammen in den Reaktionsräumen **3** ausbreiten können. In Spezialfällen kann auch die örtliche Bildung von Explosionen in den Reaktionsräumen zugelassen werden, wobei nur konstruktiv dafür Sorge zu tragen ist, dass diese Explosionen nicht auf benachbarte Reaktionsräume überschlagen.

**[0040]** Wichtig ist hierbei, dass die Zuleitungskanäle **15** und **16** im (oberen) Randbereich der Wandelemente **1** bzw. der Reaktionsräume **3** verlaufen, so dass nahezu die gesamte (vertikale) Länge der Reaktionsräume **3** für die Reaktion zur Verfügung steht. Weitere Einzelheiten und Alternativen der Zu- und Abfuhr von Reaktanten und Wärmeträger werden anhand der nachfolgenden Figuren noch näher erläutert.

**[0041]** **Fig. 5** zeigt eine teilweise geschnittene Seitenansicht durch den Gegenstand von **Fig. 3** nach Drehung um eine senkrechte Achse um einen Winkel von 90 Grad. Durch die Zuleitungen **18** und **19** werden dem System zwei Reaktanten zugeführt, bei der Herstellung von Wasserstoffperoxid über die Zuleitung **18** Luft und über die Zuleitung **19** Wasserstoff. Auch der Transport des fluiden Wärmeträgers durch die Hohlräume **5** wird anhand der **Fig. 5** näher erläutert: Die Schmalseiten **6** der Wandelemente **1** sind durch aufgesetzte Platten **20** verschlossen, in denen U-förmige Kanäle **21** für die Verbindung jeweils zweier Hohlräume **5** angeordnet sind. Dies ist allerdings

nur auf der linken Seite des Blocks dargestellt. Der Wärmeträger wird durch eine Zuleitung **22** zugeführt und durch eine Ableitung **23** abgeführt.

**[0042]** Für die Wandelemente können ausreichend wärmeleitfähige, vorzugsweise metallische, im Wesentlichen quaderförmige Platten verwendet werden. Die vorzugsweise aus Metall (z.B. nichtrostendem Stahl) hergestellten Wandelemente **1** können aus massiven Platten mit entsprechenden Bohrungen (Hohlräumen **5** und Zuleitungskanälen **16**) und Ausnehmungen **14** bestehen. Alternativ können die Hohlräume **5**, ggf. auch gruppenweise, zusammengefasst werden, wobei innerhalb der dann größeren Hohlräume Leiteinrichtungen, z.B. Rippen, für eine Führung des Wärmeträgers angeordnet werden. Auch können die Wandelemente **1** aus zwei plattenförmigen Teilen zusammengesetzt sein, die abgedichtet miteinander verbunden, beispielsweise verschraubt, sind. Wichtig ist nur, dass sie den teilweise erheblichen Druckdifferenzen (bis zu 10 MPa bzw. 100 bar) zwischen dem Wärmeträger und den Reaktanten standhalten.

**[0043]** Fig. 6 zeigt den Gegenstand von Fig. 2, schematisch und in dicken Linien ergänzt durch einen (oberen) Verteilerraum **48** mit einer zentralen Zuleitung **49** für Edukt(e) und einen (unteren) Sammelraum **50** mit einer Ableitung **51** für das Produkt. Über den Verteilerraum **48** kann einer der Reaktanten oder ein Gemisch aus den Reaktanten R1 und R2 zugeführt werden. Bei einem Gemisch kann auf die Zuleitungen **15** und **16** (in Fig. 4) verzichtet werden, wenn die Abstandshalter **13** unterbrochen sind. Bei explosiven Reaktionsgemischen kann außer nach der Anordnung in Fig. 2 auch nach den Anordnungen in den Fig. 8 bis 10 verfahren werden.

**[0044]** Die offenen Schmalseiten **6** der Wandelemente **1** können durch eine Plattenkombination aus einer Platte **41** und einem Verteilerkörper **47** überdeckt werden, die über die Breite und Höhe aller Wandelemente **1** durchgehend gestaltet ist und die in Fig. 7 – stark vergrößert – dargestellt ist.

**[0045]** Fig. 7 zeigt einen Vertikalschnitt durch den oberen Randbereich einer solchen Plattenkombination **41/47** mit einem Strömungskanal **45** für einen der Reaktanten und Strömungskanälen **46** für den Wärmeträger. Für deren Ein- und/oder Austritt sind in der Platte **41** Öffnungen **42** und **43** angeordnet, die mit den Strömungskanälen **45** und **46** im Verteilerkörper **47** verbunden sind.

**[0046]** Die Strömungskanäle **45** und **46**, die senkrecht zur Zeichenebene verlaufen, werden z.B. durch Nuten im Verteilerkörper **47** gebildet. Die Nuten können spanabhebend, durch Gießen oder Schmieden hergestellt werden. Dadurch entsteht eine große Gestaltfestigkeit, die den geforderten Druckdifferenzen standhält. Diese Plattenkombination **41/47** wird nun –

mit ihren Öffnungen **42** und **43** mit den zugehörigen Kanälen in den Wandelementen **1** fluchtend – auf alle Schmalseiten **6** der Wandelemente **1** des Blocks **24** mittels einer Dichtung **54** dichtend aufgeschraubt. Von den zahlreichen Verschraubungen **52** sind nur wenige dargestellt. Dadurch erfolgt eine Versorgung der Wandelemente **1** entsprechend den Pfeilen **53** in Fig. 6. Durch gestrichelte Linien **55** ist angedeutet, dass auch mehrere Strömungskanäle **46** zu einem gemeinsamen Strömungskanal oder Verteilerraum zusammengefasst werden können.

**[0047]** Die Plattenkombination **41/47** kann auch dahingehend umgestaltet werden, dass sie für eine Versorgung von Wandelementen **1** gemäß Fig. 4 geeignet ist.

**[0048]** Fig. 8 zeigt nun anhand eines teilweisen Vertikalschnitts eine Prinzipdarstellung eines vollständigen Reaktors, z.B. für die Herstellung von Wasserstoffperoxid. Ein quaderförmiger Block **24** aus mehreren Wandelementen **1** nach den Fig. 1 und 2 ist von oben in einen Druckbehälter **25** eingehängt, der bis zu einem Spiegel **26** mit einem Lösungsmittel **27**, beispielsweise Wasser, gefüllt ist. Die spaltförmigen Reaktionsräume **3** verlaufen parallel zur Zeichenebene.

**[0049]** Der Druckbehälter **25** besitzt oben einen Deckel **28**, der durch eine Trennwand **29** in zwei Kammern **30** und **31** unterteilt ist, wobei die Trennwand **29** abgedichtet auf ein Verteilermedium **37** aufgesetzt ist, das aus einem Festkörper (vorzugsweise aus Metall) mit zwei getrennten Gruppen von engen Kanälen **39** und **40** besteht. Die Kanäle **39** verlaufen in dem Festkörper von der Kammer **30** zu den oberen Enden der Reaktionsräume **3**, die Kanäle **40** von der Kammer **31** zu den oberen Enden der Reaktionsräume **3**. In diesen Kanälen **39** und **40** können sich also die Reaktanten nicht mischen, aber selbst, wenn dies geschähe, können sich in den Kanälen **39** und **40** keine Flammen ausbreiten. Die Mischung der Reaktanten erfolgt erst in den Reaktionsräumen **3**, in denen sich gleichfalls keine Flammen ausbreiten können, wenn es sich um ein an sich explosives Reaktionsgemisch handelt. Die explosiven Eigenschaften des Reaktionsgemischs sind stoff- und reaktionsabhängig und müssen ggf. bestimmt werden.

**[0050]** Durch einen Anschlussstutzen **34** wird der Kammer **30** ein erster Reaktant „R1“ und einen weiteren Anschlussstutzen **35** der Kammer **31** ein zweiter Reaktant „R2“ zugeführt. Die nicht benötigten Abgase werden gemäß dem Pfeil **32** abgeführt, das Produkt gemäß dem Pfeil **33** abgezogen und der Sumpf kann durch die Leitung **12** entleert werden. Fig. 8 zeigt zusätzlich noch einen Anschlussstutzen **36** für einen dritten Reaktanten „R3“ und/oder ein Lösungsmittel wie Wasser. Die beidseitig aufgebracht Platten **41** sind nur sehr schematisch angedeutet.



[0051] Die Fig. 9 zeigt eine Unteransicht des Deckels 28 des Druckbehälters 25 nach Fig. 8. Bohrungen 28a dienen zur Verschraubung.

[0052] Die Fig. 10 unterscheidet sich dadurch von Fig. 8, dass als Verteilermedium 38 oberhalb des Blocks 24 aus Wandelementen 1 ein Schüttkörper angeordnet ist, der aus wärmeleitenden Partikeln besteht, beispielsweise aus Sand, Splitt, Metallspänen, Metallfasern oder dergleichen, die auf einem nicht gezeigten Siebboden ruhen. In diesem Verteilermedium 38 mischen sich die Reaktanten R1 und R2 nach statistischer Verteilung schon vor dem Eintritt in die Reaktionsräume 3. Das Verteilermedium bildet jedoch so enge Zwischenräume, dass in ihnen gleichfalls keine Flammenausbreitung mit Explosionsfolgen eintreten kann.

[0053] Die Raumlage der Wandelemente 1 ist praktisch beliebig: Sie können gemäß den Figuren in einer waagrechten Reihenanordnung angeordnet sein, sie können aber auch in einem senkrechten Stapel angeordnet sein. Auch die Richtung der Parallelströmungen kann praktischen Bedürfnissen angepasst sein: Wie gezeigt, können die Parallelströmungen senkrecht von oben nach unten geführt werden, aber auch umgekehrt von unten nach oben. Auch können die Parallelströmungen waagrecht verlaufen. Im Ergebnis kann der Block 24 mit den Platten 41 und den Anschlüssen in verschiedene Raumlagen „gedreht“ werden.

#### Bezugszeichenliste

1	Wandelemente
2	Seitenflächen
3	Reaktionsräume
4	Pfeil
5	Hohlräume
6	Schmalseiten
7	Boden
8	Flanschverbindung
9	Leitung
10	Leitung
11	Leitung
12	Leitung
13	Abstandshalter
14	Ausnehmungen
15	Zuleitungskanal
16	Zuleitungskanäle
17	Austrittsöffnungen
18	Zuleitung
19	Zuleitung
20	Platten
21	Kanäle
22	Zuleitung
23	Ableitung
24	Block
25	Druckbehälter
26	Spiegel

27	Lösungsmittel
28	Deckel
28a	Bohrungen
29	Trennwand
30	Kammer
31	Kammer
32	Pfeil
33	Pfeil
34	Anschlussstutzen
35	Anschlussstutzen
36	Anschlussstutzen
37	Verteilermedium
38	Verteilermedium
39	Kanäle
40	Kanäle
41	Platten
42	Öffnungen
43	Öffnungen
44	Außenseite
45	Strömungskanäle
46	Strömungskanäle
47	Verteilerkörper
48	Verteilerraum
49	Zuleitung
50	Sammelraum
51	Ableitung
52	Verschraubung
53	Pfeile
54	Dichtung
55	Linien
R1	Reaktant
R2	Reaktant
R3	Reaktant
s	Spaltweite
A	Ausschnitt (aus Fig. 3)

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen von Reaktionen zwischen mindestens zwei fluiden Reaktanten (R1, R2) unter Verwendung eines Reaktors, in dem sich Wandelemente (1), spaltförmige Reaktionsräume (3) und Hohlräume (5) zur Durchleitung eines fluiden Wärmeträgers befinden, **dadurch gekennzeichnet**, dass

a) die Reaktionsräume (3) spaltförmig sind und zwischen Seitenflächen (2) von jeweils zwei im Wesentlichen gleich großen und im Wesentlichen quaderförmigen Wandelementen (1), die aus massiven Platten hergestellt sind, gebildet werden und dass die Wandelemente (1) in einem Block (24) innerhalb eines virtuellen Quaders austauschbar angeordnet sind,

b) die Reaktanten (R1, R2) von auf der gleichen Seite des Blocks (24) liegenden Randbereichen aus in die spaltförmigen Reaktionsräume (3) eingeleitet und als Reaktionsgemisch in gleichen Richtungen in Parallelströmen durch die Reaktionsräume (3) geleitet werden und dass

c) der fluide Wärmeträger durch die im Innern der Wandelemente (1) verlaufenden röhrenförmige Hohl-

räume (5) hindurchgeleitet wird, und wobei die Spaltbreite („s“) der Reaktionsräume (3) zwischen 0,05 und 5 mm beträgt, wodurch im Fall von explosiven Reaktionsgemischen die Spaltbreite „s“ der Reaktionsräume so klein gewählt wird, um das Ausbreiten von Flammen zu verhindern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Reaktant durch die Wandelemente (1) zugeführt und durch mindestens eine der Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) in den betreffenden Reaktionsraum (3) eingeleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf mindestens einer Seite des Blocks (24) ein Verteilermedium (37, 38) angeordnet wird, von dem aus die Reaktionsräume (3) mit den Reaktanten (R1, R2) versorgt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Verteilermedium (37) ein Festkörper mit Gruppen von Kanälen (39, 40) verwendet wird, deren Querschnitte so klein gewählt werden, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten (R1, R2), die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Verteilermedium (38) ein Schüttkörper mit einer Korngröße und Zwischenräumen verwendet wird, die so klein gewählt werden, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten (R1, R2), die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionsräume (3) mit granulart-förmigem Katalysator gefüllt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die den Reaktionsräumen (3) zugekehrten Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) mindestens stellenweise mit Katalysatormaterial überzogen werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die den Reaktionsräumen (3) zugekehrten Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) zur Vergrößerung der Oberfläche mit einer Profilstruktur versehen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandelemente (1) mindestens teilweise in ein Lösungsmittel (27) eingetaucht werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Lösungsmittel (27) Wasser verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass dem Lösungsmittel (27) mindestens ein stabilisierender Zusatz gegen einen Zerfall oder Abbau des Reaktionsprodukts zugesetzt wird.

12. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Direktsynthese von Wasserstoffperoxid aus Wasserstoff und Sauerstoff oder einem O<sub>2</sub> enthaltenden Gas in Gegenwart eines mindestens ein Element aus der B. und/oder 1. Nebengruppe der Tabelle des periodischen Systems enthaltenden Katalysators und Wasser oder Wasserdampf.

13. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Herstellung von Acrolein aus Propen und einem O<sub>2</sub> enthaltenden Gas in Gegenwart eines Katalysators.

14. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Herstellung von Acrylsäure aus Propen und einem O<sub>2</sub> enthaltenden Gas in Gegenwart eines Katalysators und Promotors.

15. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Herstellung von Ethylen- oder Propylenoxid aus Ethylen bzw. Propylen und gasförmigem Wasserstoffperoxid in Gegenwart eines oxidischen oder silikatischen Katalysators.

16. Vorrichtung zum Durchführen von Reaktionen zwischen mindestens zwei fluiden Reaktanten (R1, R2) unter Verwendung eines Reaktors, in dem sich Wandelemente (1), Reaktionsräume (3) und Hohlräume (5) zur Durchleitung eines fluiden Wärmeträgers befinden, dadurch gekennzeichnet, dass

a) die Reaktionsräume (3) spaltförmig sind und zwischen Seitenflächen (2) von jeweils zwei im Wesentlichen gleich großen und im Wesentlichen quaderförmigen Wandelementen (1), die aus massiven Platten hergestellt sind, gebildet werden und dass die Wandelemente (1) in einem Block (24) innerhalb eines virtuellen Quaders austauschbar angeordnet sind,

b) die Zufuhr der Reaktanten in die spaltförmigen Reaktionsräume (3) von der gleichen Seite des Blocks (24) durchführbar ist, wobei das Reaktionsgemisch in gleichen Richtungen und in Parallelströmen durch die Reaktionsräume (3) hindurchführbar ist, und dass

c) die Wandelemente (1) röhrenförmige Hohlräume (5) zum Hindurchleiten des fluiden Wärmeträgers durch das Wandelement (1) besitzen, und wobei die Spaltbreite („s“) der Reaktionsräume (3) zwischen 0,05 und 5 mm beträgt, wodurch im Fall von explosiven Reaktionsgemischen die Spaltbreite „s“ der Reaktionsräume so klein gewählt ist, dass die Flammenausbreitung verhindert wird.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass in den Wandelementen (1) jeweils mindestens ein Zuleitungskanal (16) für mindestens einen Reaktanten angeordnet ist, der durch mindestens eine der Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) in den betreffenden Reaktionsraum (3) einmündet.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass auf mindestens einer Seite des Blocks (24) ein Verteilermedium (37, 38) angeordnet ist, durch das die Reaktionsräume (3) mit den Reaktanten (R1, R2) versorgbar sind.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Verteilermedium (37) ein Festkörper mit Gruppen von Kanälen (39, 40) ist, deren Querschnitte so klein gewählt sind, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten (R1, R2), die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Verteilermedium (38) ein Schüttkörper mit einer Korngröße und Zwischenräumen ist, die so klein gewählt sind, dass in ihnen bei der Zufuhr von Reaktanten (R1, R2), die ein explosives Gemisch bilden, keine Flammenausbreitung möglich ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionsräume (3) mit granulartförmigem Katalysator gefüllt sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die den Reaktionsräumen (3) zugekehrten Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) mindestens stellenweise mit Katalysatormaterial überzogen sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die den Reaktionsräumen (3) zugekehrten Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) zur Vergrößerung der Oberfläche mit einer Profilstruktur versehen sind.

24. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionsräume (3) an den parallel zur Strömungsrichtung der Reaktanten (R1, R2) verlaufenden Schmalseiten (6) der Wandelemente (1) durch Platten (41) überdeckt sind, in denen sich Öffnungen (43) für die Zu- und Ableitung eines Wärmeträgers in die Wandelemente (1) und aus den Wandelementen (1) befinden.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass sich in den Platten (41) weitere Öffnungen (42) für die Zuleitung mindestens eines der Reaktanten (R1, R2) in die Wandelemente (1) befinden und dass die Wandelemente (1) mit mindes-

tens je einem Zuleitungskanal (16) versehen sind, der über Austrittsöffnungen (17) in jeweils einen der Reaktionsräume (3) einmündet.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandelemente (1) jeweils mit einer Gruppe von Hohlräumen (5) versehen sind, die parallel zu den Seitenflächen (2) der Wandelemente (1) verlaufen und an ihren Enden durch die auf die Schmalseiten (6) der Wandelemente (1) aufgesetzten Platten (41) verschlossen sind, in denen sich die mit den Hohlräumen (5) fluchtenden Öffnungen (43) für den Wärmeträger befinden.

27. Vorrichtung nach Anspruch 24 und 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Platten (41) auf ihren Außenseiten (44) und vor den Öffnungen (42, 43) mit quer zu den Wandelementen (1) verlaufenden Strömungskanälen (45, 46) für mindestens einen der Reaktanten (R1, R2) und/oder den Wärmeträger versehen sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Platten (41) auf ihren den Wandelementen (1) abgekehrten Außenseiten (44) von einem Verteilerkörper (47) überdeckt sind, in dem sich die Strömungskanäle (45, 46) befinden, in die die Öffnungen (42, 43) der Platten (41) einmünden.

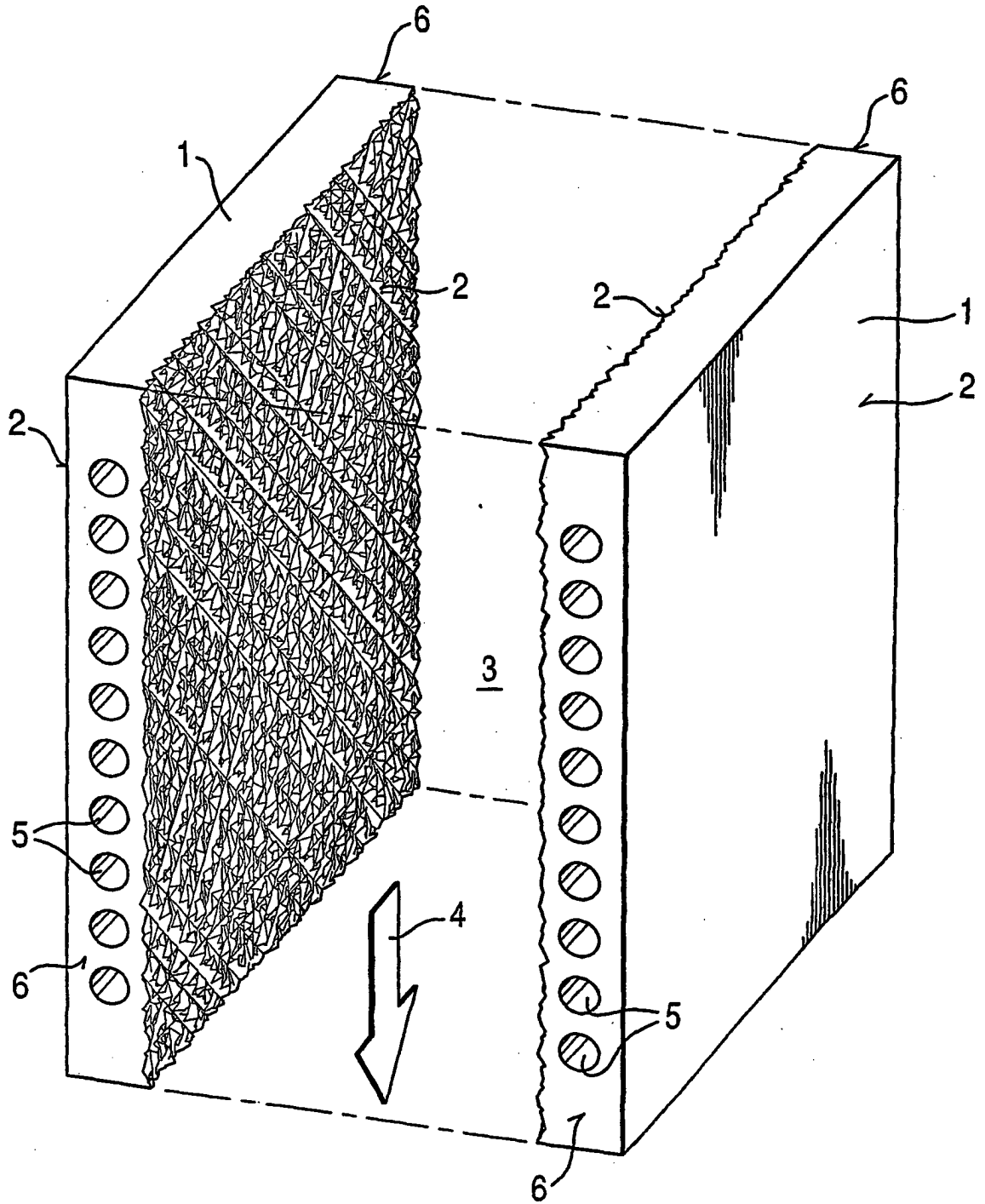
29. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandelemente (1) als Block (24) in einem Druckbehälter (25) untergebracht sind.

30. Vorrichtung nach Anspruch 18 und 29, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckbehälter (25) einen Deckel (28) mit einer Trennwand (29) und zwei Anschlussstutzen (34, 35) für die Zuleitung von zwei Reaktanten (R1, R2) besitzt, welche genannte Trennwand (29) auf das Verteilermedium (37, 38) aufsetzbar ist.

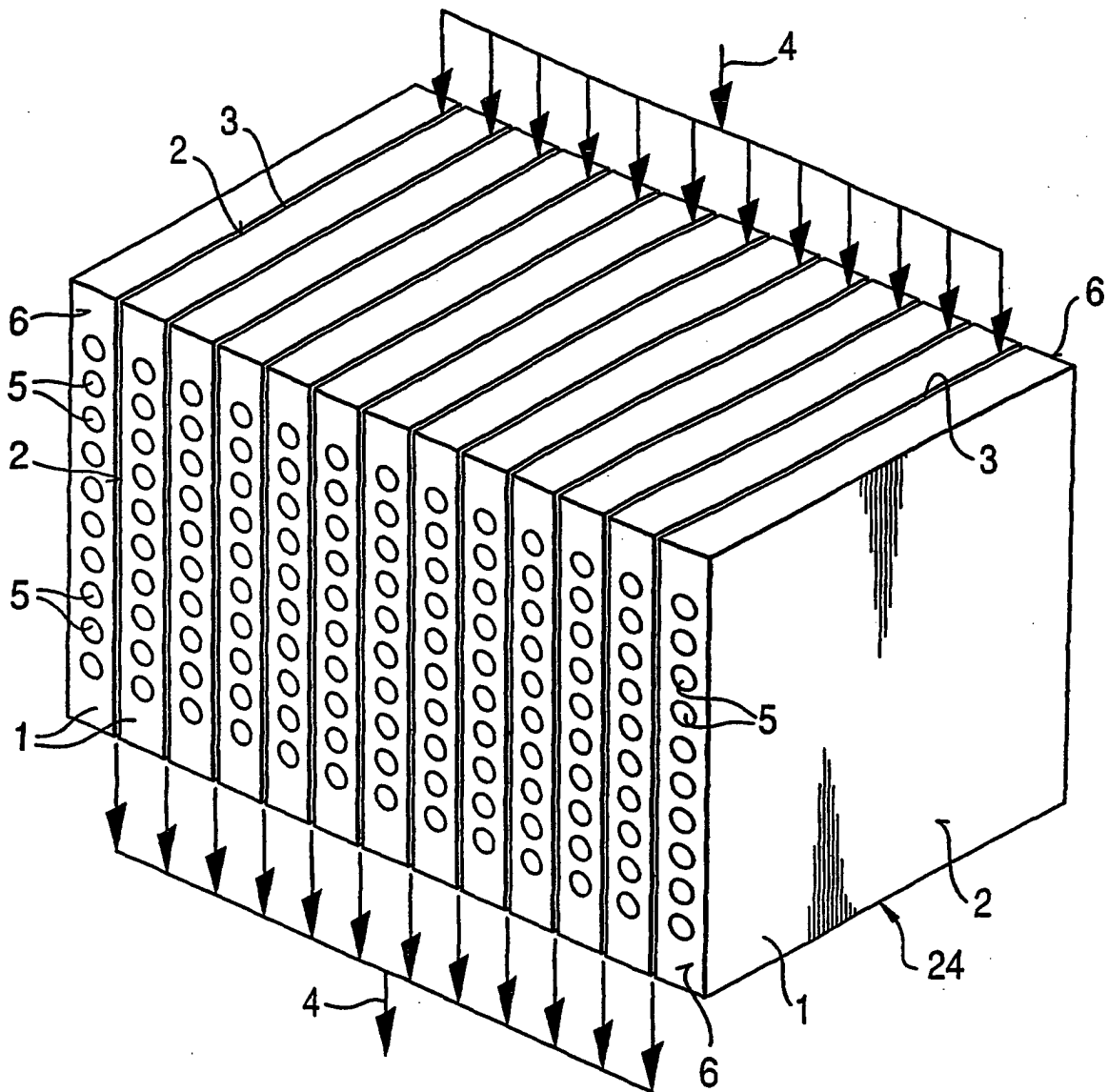
31. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Spaltbreite („s“) der Reaktionsräume (3) durch Variieren der Dicke von Abstandshaltern (13) veränderbar ist.

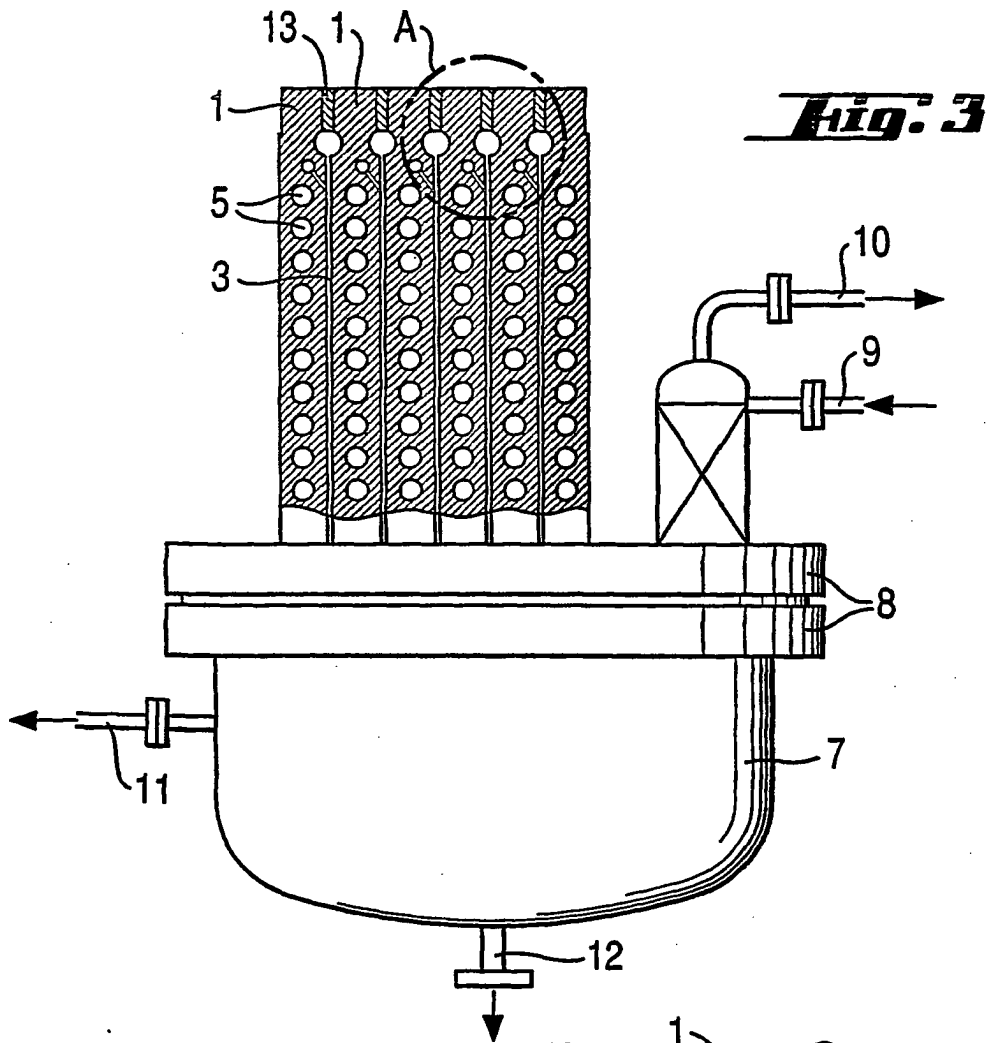
Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

**Fig. 1**

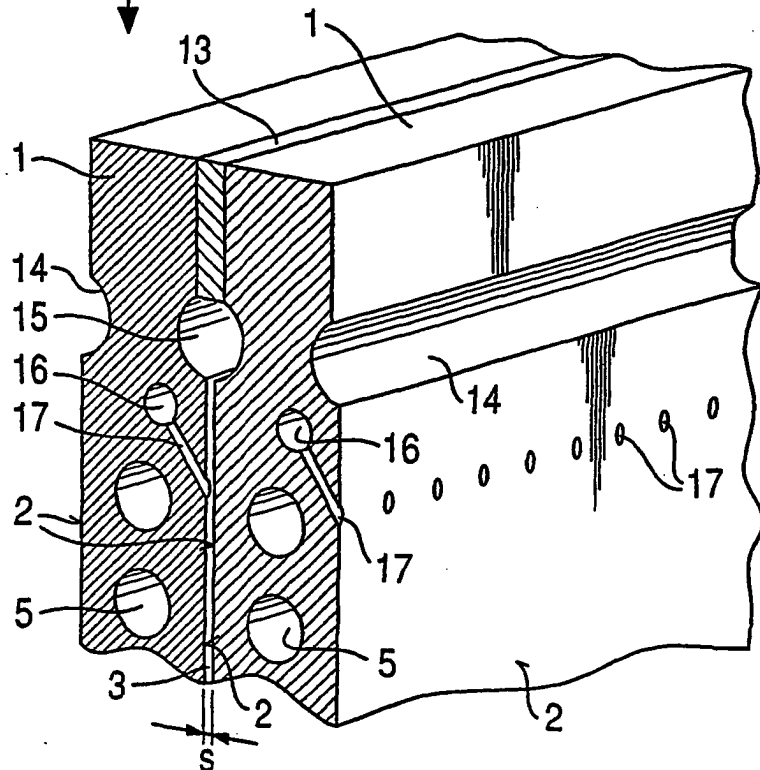


**Fig. 2**

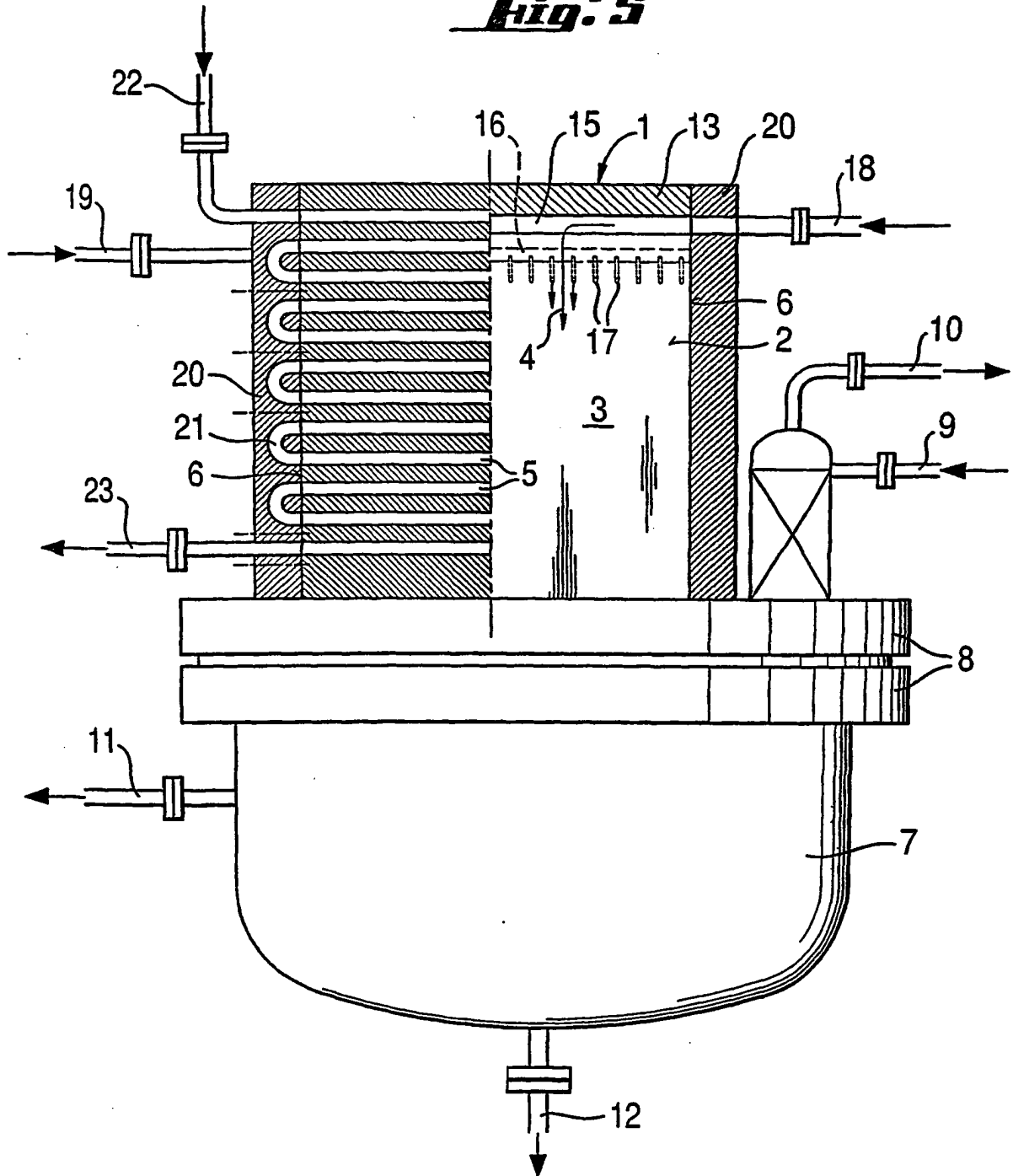




**Fig. 4**



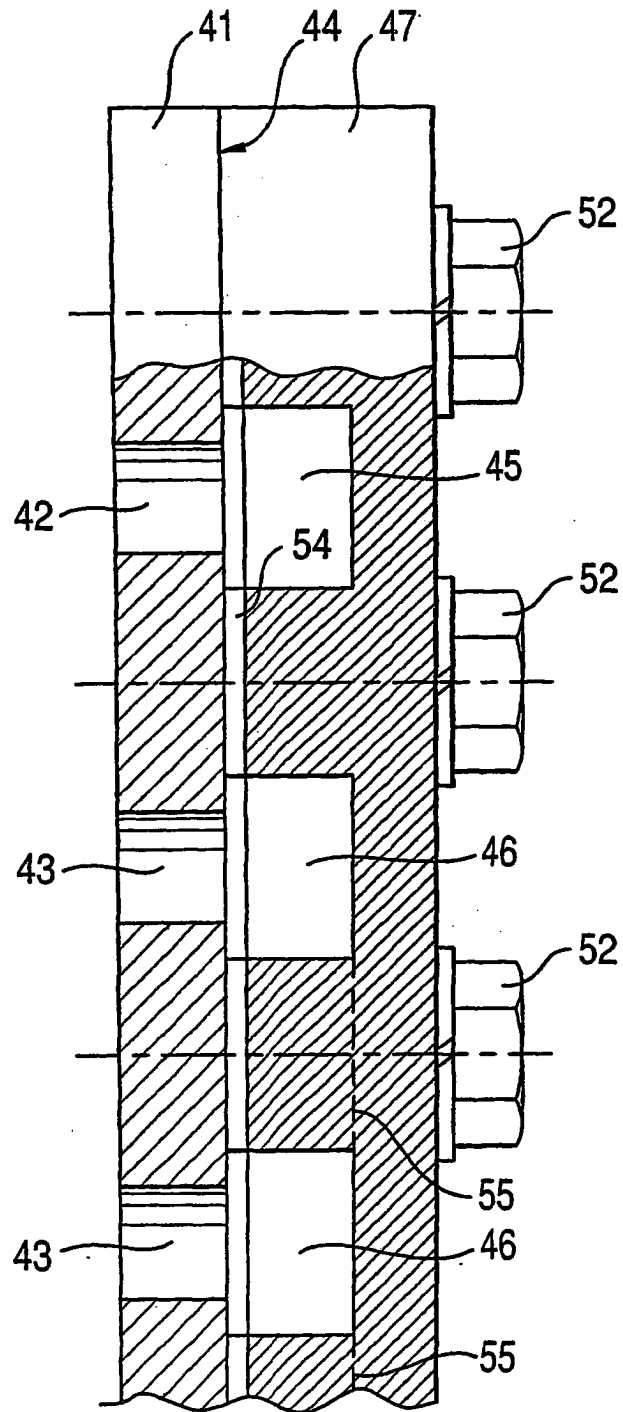
**Fig. 5**



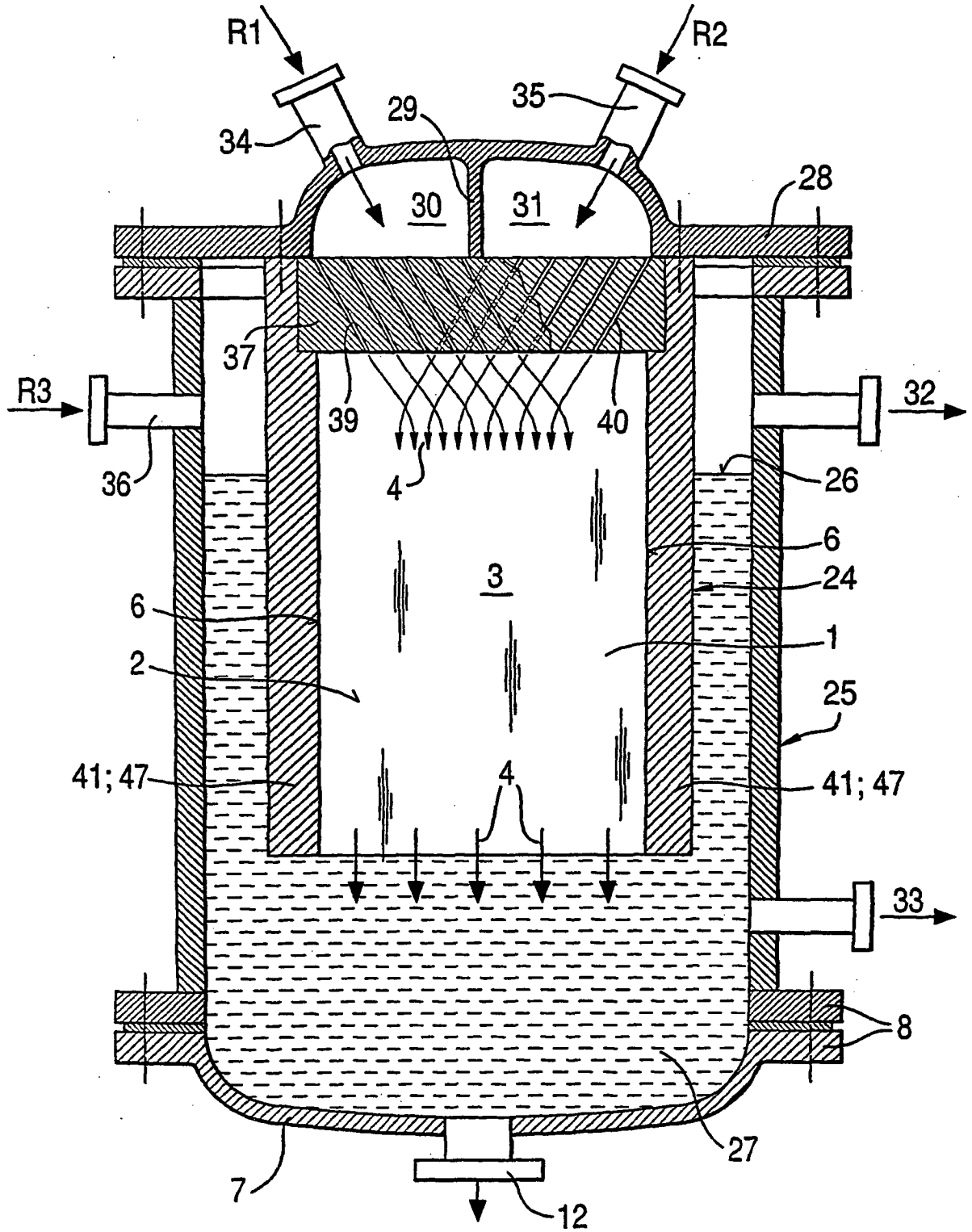




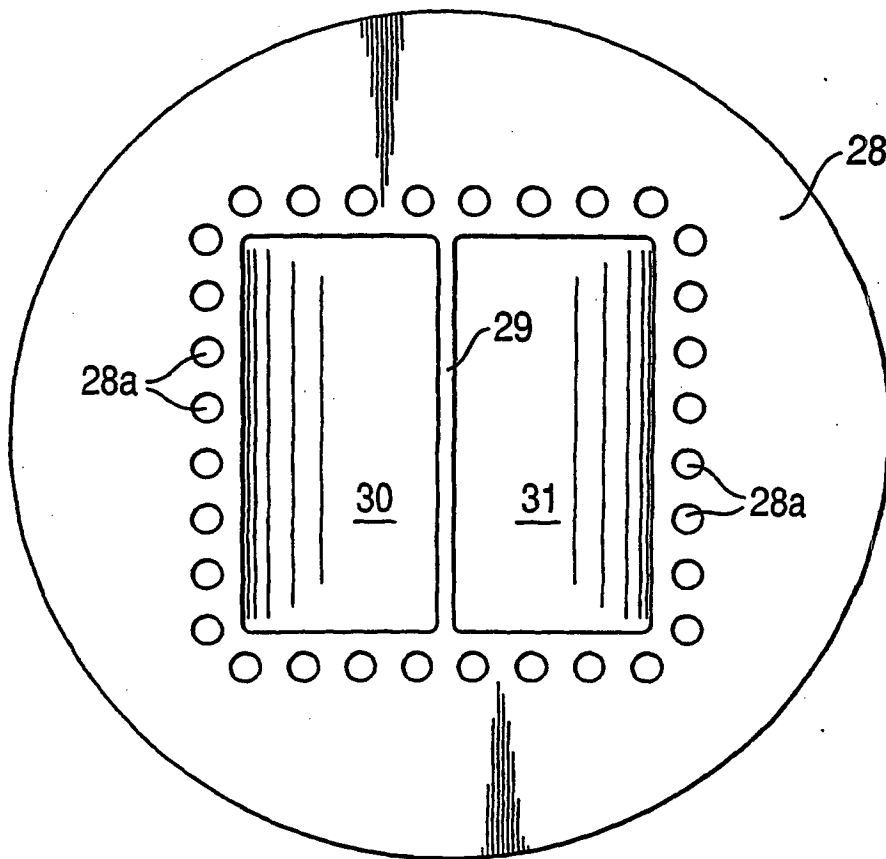
**Fig. 3**



**Fig. 8**



**Fig: 9**



**Fig. 10**

