

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
14. Juni 2001 (14.06.2001)

PCT

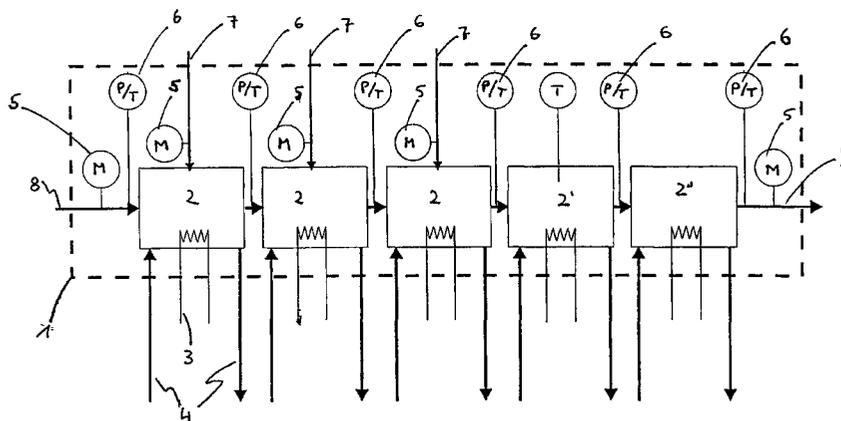
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/41916 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B01J 19/00, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 18-20, 55129 Mainz (DE).  
B01F 5/06
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/03844
- (22) Internationales Anmeldedatum: 28. Oktober 2000 (28.10.2000) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LÖWE, Holger [DE/DE]; Anna-Seghers-Strasse 3, 55276 Oppenheim (DE). HAUSNER, Oliver [DE/DE]; Mönchstrasse 27, 55130 Mainz (DE). RICHTER, Thomas [DE/DE]; Feldbergstrasse 9a, 55118 Mainz (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 199 59 249.7 8. Dezember 1999 (08.12.1999) DE (74) Anwalt: WEBER-SEIFFERT-LIEKE; Gustav-Freytag-Strasse 25, 65189 Wiesbaden (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MODULAR MICROREACTION SYSTEM

(54) Bezeichnung: MODULARES MIKROREAKTIONSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a modular microreaction system comprising a housing and functional base modules accommodated in said housing that has at least one fluid inlet and at least one fluid outlet. The base modules are arranged one behind the other in a line and in the housing and are configured in such a way that said modules can be successively flown through by a fluid. At least some of the base modules are constructed from several plate-like, essentially rectangular foils which are fixedly or detachably connected to each other and are arranged in layers one on top of the other and thus form a stack of foils. One or more of the foils are provided with microstructured channels, sensor elements, heating elements or combinations thereof on one or both surfaces. Each foil stack is provided with at least one foil that is provided with channels on the surface thereof. The channels are embodied in such a way that said channels run from one side of the foil stack to the opposite or an adjacent side of the foil stack for fluid guidance. The aim of the invention is to provide a variable microreaction system that is easy to handle. The base modules (2, 2', 2'') have at least one frame element respectively which is fixedly or detachably connected to the foil stack in an essentially fluid-tight manner. The foil stack, together with the frame elements, can be inserted into and removed from the housing (1), whereby said stack and said frame elements form a unit.

(57) Zusammenfassung: Ein modulares Mikroreaktionssystem hat ein Gehäuse und darin untergebrachte funktionale Grundmodule, wobei das Gehäuse wenigstens einen Fluideinlass und wenigstens einen Fluidauslass hat, die Grundmodule in dem Gehäuse in Reihe hintereinander angeordnet und so ausgebildet sind, dass sie aufeinanderfolgend von Fluid durchströmbar sind und wenigstens einige der Grundmodule aus mehreren fest oder

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/41916 A1



(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): CN, JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

**Veröffentlicht:**

— Mit internationalem Recherchenbericht.

— Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

lösbar miteinander verbundenen, plattenartigen, im wesentlichen rechteckigen, übereinandergeschichteten Folien unter Ausbildung eines Folienstapels aufgebaut sind, wobei eine oder mehrere der Folien auf einer oder beiden Oberflächen mikrostrukturierte Kanäle, Sensorelemente, Heizelemente oder Kombinationen davon aufweisen und jeder Folienstapel wenigstens eine Folie aufweist, die auf ihrer Oberfläche mit Kanälen versehen ist, welche so ausgebildet sind, dass sie für eine Fluidleitung von einer Seite des Folienstapels zur gegenüberliegenden oder zu einer daran angrenzenden Seite des Folienstapels führen. Um ein variables, einfach zu handhabendes Mikroreaktionssystem bereitzustellen, haben die Grundmodule (2, 2', 2'') jeweils wenigstens ein Rahmenelement, welches fest oder lösbar und im wesentlichen fluiddicht mit dem Folienstapel verbunden ist, und die Folienstapel sind zusammen mit den Rahmenelementen als Einheit in das Gehäuse (1) einsetzbar und aus diesem herausnehmbar.

## Modulares Mikroreaktionssystem

5 Die Erfindung betrifft ein modulares Mikroreaktionssystem, das zur Durchführung von Flüssig- oder Gasphasenreaktionen, zum Mischen, Kühlen, Erwärmen von Fluiden oder Kombinationen davon geeignet ist.

Das erfindungsgemäße Mikroreaktionssystem weist ein Gehäuse und darin untergebrachte funktionale Grundmodule auf, wobei das Gehäuse wenigstens einen Fluideinlaß und wenigstens einen Fluidauslaß hat und die Grundmodule in dem Gehäuse in Reihe hintereinander angeordnet und so ausgebildet sind, daß sie aufeinanderfolgend von Fluid durchströmbar sind. Wenigstens einige der Grundmodule sind aus mehreren fest oder lösbar miteinander verbundenen, plattenartigen, im wesentlichen rechteckigen, übereinandergeschichteten Folien unter Ausbildung eines Folienstapels aufgebaut, wobei eine oder mehrere der Folien auf einer oder beiden Oberflächen mikrostrukturierte Kanäle, Sensorelemente, Heizelemente oder Kombinationen davon aufweisen. Weiterhin weist jeder Folienstapel wenigstens eine Folie auf, die auf ihrer Oberfläche mit Kanälen versehen ist, welche so ausgebildet sind, daß sie für eine Fluidleitung von einer Seite des Folienstapels zur gegenüberliegenden Seite oder zu einer angrenzenden Seite des Folienstapels führen.

Aus der DE-OS 197 48 481 ist ein Mikroreaktor bekannt, der sich insbesondere für die Durchführung von heterogenen Gasphasenreaktionen eignet. Der Mikroreaktor besteht aus einem länglichen Gehäuse mit zwei Gaseinlässen, die einander gegenüberliegend in den Gehäuseseitenwänden angeordnet sind. Die Gaseinlässe münden jeweils in eine Zufuhrkammer, die beidseitig eines Führungsbauteils angeordnet sind. Das Führungsbauteil besteht aus mit Nuten versehenen Folien mindestens zweier Arten A und B, die beim Übereinanderschichten je eine Schar von Kanälen bilden, welche die beidseitig von den Gaseinlaßöffnungen in das Führungsbauteil einströmenden Gase um 90° zu einer sich an das Führungsbauteil anschließenden Mischkammer umlenken, wo sich die beiden zugeführten Gase vermischen können. An die Mischkammer schließt sich eine Reaktionsstrecke an, die ebenfalls aus mit Nuten versehenen, übereinandergeschichteten, plattenartigen Elementen besteht und die Mischkammer mit einer hinter der Reaktionsstrecke vorgesehenen Auslaßkammer verbindet. Die Nuten oder Kanäle in der Reaktionsstrecke sind mit einem Katalysatormaterial beschichtet oder bestehen aus einem solchen. Hinter der Auslaßkammer weist das Gehäuse des Mikroreaktors eine Auslaßöffnung auf, durch welche das Produktgas ausgeleitet wird. Die plattenartigen Elemente des Führungsbauteils und der Re-

aktionsstrecke lassen sich austauschen, indem sie einzeln aus dem Gehäuse herausgenommen und durch andere Elemente ersetzt werden. Um eine Bewegung der plattenartigen Elemente in Längsrichtung des Gehäuses oder seitwärts zu verhindern und damit die durchströmenden Gase nicht an den Stapeln aus plattenartigen Elementen vorbeiströmen, ist der Gehäuseinnenraum  
5 exakt an die Abmessungen der plattenartigen Elemente angepaßt. Der im wesentlichen rechteckförmige Innenraum des Gehäuses weist an den Stellen, wo die plattenartigen Elemente eingesetzt sind, den Innenraum verbreiternde Ausnehmungen auf. Länge und Breite der Ausnehmungen in dem Gehäuseinnenraum sind so bemessen, daß sie die plattenförmigen Elemente exakt aufnehmen. Das Gehäuse ist somit für ein paßgenaues Einsetzen hinsichtlich Länge und  
10 Breite der plattenartigen Elemente ausgelegt.

Ein Nachteil dieses bekannten Mikroreaktors besteht darin, daß in das Gehäuse nur plattenartige Elemente eingesetzt werden können, die in ihrer Länge und Breite genau den in dem Gehäuse vorgesehenen Aussparungen entsprechen. Weiterhin können in ein solches Gehäuse nicht mehr  
15 oder weniger Stapel aus plattenartigen Elementen eingesetzt werden, als dies durch die Gehäuseausgestaltung vorgegeben ist. Ein weiterer Nachteil dieses bekannten Mikroreaktors besteht darin, daß sich die plattenartigen Elemente während des Betriebs häufig ausdehnen und verziehen. Da die Ausdehnung durch die Gehäusewand und die darin vorgesehenen Ausnehmungen begrenzt wird, kommt es zum einen dazu, daß sich die plattenartigen Elemente unter dem Druck  
20 der Ausdehnung wölben und damit eine gasundurchlässige Abdichtung zwischen den einzelnen Elementen nicht mehr gewährleistet ist. Darüber hinaus kommt es dazu, daß sich die plattenartigen Elemente in die Gehäusewand einpressen oder verkeilen und sich später nicht mehr oder nur unter großen Mühen aus dem Gehäuse entnehmen lassen.

25 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestand daher darin, die vorgenannten Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und ein variables, einfach zu handhabendes Mikroreaktionssystem bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch ein modulares Mikroreaktionssystem der eingangs genannten Art gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, daß die Grundmodule, welche einen Folienstapel aufweisen, jeweils wenigstens ein Rahmenelement haben, welches fest oder lösbar und fluiddicht mit dem Folienstapel verbunden ist, und die Folienstapel zusammen mit dem damit verbundenen  
30 Rahmenelement als Einheit in das Gehäuse einsetzbar und aus diesem herausnehmbar sind.

35 Die Innenwände des Gehäuses sind nicht mit speziellen Ausnehmungen für die einzelnen Grundmodule versehen, sondern im wesentlichen glatt oder sie weisen eine Rasterung zur Positionierung der Rahmenelemente auf. Eine solche Rasterung kann durch regelmäßig beabstande-

te Vorsprünge oder Vertiefungen an der Gehäuseinnenwand realisiert sein. In Längsrichtung des Gehäuses können die Grundmodule in beliebiger Anzahl und beliebiger Reihenfolge nach Art eines Baukastensystems eingesetzt werden. Die Anzahl der einsetzbaren Grundmodule ist lediglich durch die Gesamtlänge des Gehäuses begrenzt. Je nach Bedarf können in dem gleichen Gehäuse beispielsweise Module, die eine Reaktionsstrecke enthalten, in verschiedenen Längen verwendet werden. Auf diese Weise lassen sich zum Beispiel unterschiedliche Verweilzeiten in der Reaktionsstrecke in ein und demselben Gehäuse eines Mikroreaktionssystems realisieren.

Zweckmäßigerweise entspricht der äußere Umfang der Rahmenelemente dem Innenquerschnitt des Gehäuses und liegt fluiddicht an der Gehäuseinnenwand an. Da auch die Folienstapel fluiddicht mit den Rahmenelementen verbunden sind, wird dadurch eine Abdichtung gegen ein Vorbeiströmen von Fluid an dem Folienstapel eines Grundmoduls erreicht. Zusätzlich kann zwischen dem Rahmenumfang und der Gehäuseinnenwand noch ein Dichtungsmaterial vorgesehen sein, wie beispielsweise eine Graphitfoliendichtung oder ein eingeschobenes Dichtelement.

„Folie“ bedeutet im Zusammenhang dieser Erfindung ein plattenartiges Element, das üblicherweise eine im wesentlichen rechteckige Form hat. Die für die vorliegende Erfindung verwendeten Folien oder plattenartigen Elemente bestehen vorzugsweise aus Metall, Metallegierungen oder Edelstahl, wobei je nach Anwendung und Bestimmung auch Folien aus Silizium oder Siliziumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ) geeignet sind. Letztere finden insbesondere Anwendung als Basis für Widerstandsheizelemente und Sensoren. Als Metalle bzw. Metallegierungen sind Gold, Silber, Kupfer, Nickel, Nickel-Kobalt-Legierungen und Nickel-Eisen-Legierungen besonders bevorzugt. Als Folienmaterialien eignen sich auch Keramik und Kunststoffe, wie Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyetheretherketone (PEEK) oder Cycloolefincopolymere (COC). Die Folien haben eine Dicke von etwa 0,05 mm bis zu einigen Millimetern.

Die Verbindung der übereinander gestapelten Folien miteinander bzw. die Verbindung zwischen Rahmen und Folienstapel erfolgt zweckmäßigerweise durch Schweißen oder Löten, vorzugsweise Laserschweißen, Laserlöten, Elektronenstrahlschweißen, Mikrodiffusionsschweißen, oder durch Kleben oder Fügen über keramische Zwischenschichten, wie beispielsweise keramische Grünfolien. Die Folien werden in einem Folienstapel derart miteinander verbunden, daß Fluid nur durch die dafür vorgesehenen Kanäle strömen und nicht an unerwünschten Stellen zwischen zwei Folien heraustreten kann. Eine fluiddichte Verbindung kann auch durch festes Aufeinanderpressen der Folien erreicht werden. Die Mikrostrukturierung der Folien, insbesondere das Aufbringen von Kanälen auf deren Oberflächen erfolgt durch Ätzen, Fräsen oder Funkenerosion. Besonders geeignete Verfahren sind LIGA oder Laser-LIGA. Folien aus Polymermaterialien werden vorzugsweise durch Abformverfahren hergestellt.

„Kanäle“ oder „Mikrokanäle“ bedeuten im Zusammenhang mit dieser Erfindung nutenförmige Vertiefungen in einer oder beiden Oberflächen einer Folie. Die Breite solcher Kanäle liegt im Bereich von 1 bis 1000  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise 5 bis 500  $\mu\text{m}$ . Üblicherweise ist eine Vielzahl von Kanälen nebeneinander, häufig parallel, in einigen Fällen aber auch anders verlaufend angeordnet. Das Aspektverhältnis bezeichnet das Verhältnis der Tiefe eines Kanals zu seiner Breite. Üblicherweise ist das Aspektverhältnis der Mikrokanäle 1 oder kleiner.

Die Bezeichnungen „vor“ bzw. „hinter“ einem Grundmodul, einem Folienstapel usw. bezeichnen eine relative Position in Bezug auf die Längsachse des Gehäuses, wobei vorne die Seite des Fluideinlasses und hinten die Seite des Fluidauslasses ist.

Besonders bevorzugt ist es, wenn Grundmodule mit Folienstapel wenigstens zwei Rahmenelemente aufweisen, die an gegenüberliegenden Seiten des Folienstapels angeordnet sind. Je weiter die Rahmenelemente am Ende eines Folienstapels angeordnet sind, desto geringer ist der Totraum zwischen Gehäusewand und Folienstapel, in den Fluid einströmen kann. Bei einer erfindungsgemäß besonders bevorzugten Ausführungsform ist der äußere Umfang der Rahmenelemente wenigstens teilweise, vorzugsweise über den gesamten Umfang, größer als der Umfang des Folienstapels. Die Rahmenelemente fungieren bei dieser Ausführungsform zusätzlich als Abstandshalter, so daß der Folienstapel nur teilweise oder gar keine Berührung mit der Gehäusewand hat. Dadurch wird eine gute thermische und elektrische Isolierung des Folienstapels gegenüber der Gehäusewand gewährleistet. Häufig ist es zweckmäßig, zwei Grundmodule bei sehr unterschiedlichen Temperaturen zu verwenden. Beispielsweise werden Reaktionen in dem die Reaktionsstrecke enthaltenden Grundmodul oft bei sehr hohen Temperaturen durchgeführt, und anschließend sollen die Reaktionsprodukte in einem nachfolgenden Bereich des Reaktionsystems stark abgekühlt werden, insbesondere wenn die Reaktionsprodukte thermisch instabil sind. Berühren die Folienstapel der Grundmodule die Gehäusewand, welche beide üblicherweise aus Metall hergestellt und thermisch gut leitfähig sind, so erfolgt ein starker Wärmeaustausch zwischen den Modulen über die Gehäusewand. Der durch die Ausgestaltung der Rahmenelemente gewährleistete Abstand zwischen Folienstapeln und Gehäusewand verringert einen solchen Wärmeaustausch in erheblichem Maße. Es ist daher auch besonders zweckmäßig, wenn die Rahmenelemente aus einem wärmeisolierenden Material hergestellt sind. Besonders geeignet sind hierfür keramische Materialien.

Besonders bevorzugt ist es, wenn zwei Rahmenelemente zweier in dem Gehäuse hintereinander angeordneter Grundmodule aneinander anliegen und dabei einen Hohlraum bilden, der von vier Seiten von den Innenflächen der Rahmenöffnungen und von zwei Seiten von jeweils einer Seite

der mit dem Rahmen verbundenen Folienstapel begrenzt ist. Ein solcher Hohlraum kann beispielsweise zur Vermischung von mehreren Fluiden zwischen zwei Grundmodulen dienen, wenn mehrere Fluide gleichzeitig durch ein Grundmodul strömen, wie es bei Mischmodulen der Fall ist. Ein solcher Hohlraum wird nachfolgend auch als Diffusionsstrecke bezeichnet. Das Volumen  
5 eines solchen Hohlraums bzw. einer solchen Diffusionsstrecke wird durch die Größe der Rahmenöffnung und die Tiefe der Rahmenöffnung bis zu dem daran befestigten Folienstapel bestimmt. Wird der Rahmen zumindest teilweise über einen Folienstapel geschoben bzw. ist ein Folienstapel in die Rahmenöffnung eingesetzt, so ist die Größe der Rahmenöffnung in diesem Bereich durch den äußeren Umfang des Folienstapels vorgegeben. Zur Verkleinerung des Hohlraums bzw. der Diffusionsstrecke ist es daher zweckmäßig, wenn sich der Umfang der Rahmenöffnung von dem Bereich, in den der Folienstapel eingesetzt ist, zu dem Bereich, der mit dem Rahmenelement des nächsten Grundmoduls in Berührung ist, verkleinert oder verjüngt. Zweckmäßigerweise erfolgt dies durch eine abgestufte Verkleinerung der Rahmenöffnung. Der Folienstapel, sitzt dann in dem Bereich der Rahmenöffnung mit dem größeren Innumfang und liegt  
10 dabei frontseitig an der Abstufung in der Rahmenöffnung an. Durch die zusätzliche Anlagefläche wird weiterhin eine verbesserte Fluidabdichtung zwischen Rahmenelement und Folienstapel erzielt.

Häufig ist es erforderlich, den Druck und/ oder die Temperatur eines durch das System strömendes Fluides vor oder hinter einem Grundmodul zu bestimmen, um diese Parameter entweder nur zu erfassen oder auch zu regeln. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die Rahmenelemente hierfür Drucksensoren und/ oder Temperatursensoren auf. Druck- und Temperatursensoren können durch Bohrungen in dem Rahmen in den Bereich der Rahmenöffnung  
20 hineingeführt sein.

Die funktionalen Grundmodule des erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems sind dafür ausgelegt, verschiedene Aufgaben auszuführen. Darüber hinaus enthalten die einzelnen Grundmodule in den Folienstapeln ebenfalls verschiedene funktionale Elemente, die in einem Grundmodul unterschiedliche Funktionen erfüllen. Die Funktion der einzelnen Unterelemente in einem Folienstapel wird durch den Aufbau der einzelnen Folien bestimmt, wie Mikrostrukturierung und Aufbau  
30 von zusätzlichen funktionalen Bauteilen, z.B. Widerstandsheizelemente oder Sensoren. Die Funktionen, die ein einzelnes Grundmodul erfüllt, werden durch Auswahl und Schichtfolge der verschiedenen Folien bzw. funktionalen Unterelemente erreicht und können individuell bestimmten Anforderungen angepaßt werden. Es kann auch ein Vielzahl unterschiedlichster funktionaler Grundmodule handelsüblich bereitgestellt werden, so daß sich der Verbraucher das Mikroreaktionssystem nach seinen Bedürfnissen aus einer großen Auswahl an Einzelementen zusammenstellen kann. Er benötigt lediglich ein Gehäuse und kombiniert dieses nach seinen Anforde-  
35

rungen mit den benötigten funktionalen Grundmodulen. Das erfindungsgemäße Mikroreaktionssystem bietet damit ein Höchstmaß an Variabilität und spart erhebliche Kosten ein, da nicht für jede Anforderung ein eigenes vollständiges System erforderlich ist.

5 Nachfolgend sind einige erfindungsgemäß besonders zweckmäßige funktionale Unterelemente für einen Folienstapel in einem Grundmodul beschrieben. Diese können jeweils als einzige oder kombiniert mit anderen funktionalen Elementen in beliebiger Schichtfolge in einem Folienstapel  
10 enthalten sein. So ist es beispielsweise für ein Mischermodule, eine Reaktionsstrecke oder auch ein reines Kühl- oder Heizmodul zweckmäßig, daß eine oder mehrere der Folien in dem Folienstapel als Fluidleitungselemente ausgebildet sind, die auf ihrer Oberfläche Kanäle aufweisen,  
15 welche so angeordnet sind, daß sie ein Fluid, welches von einem Fluideinlaß oder von einem benachbarten Grundmodul anströmt, von der angeströmten Seite des Folienstapels durch die Kanäle hindurch zur gegenüberliegenden Seite und aus dieser heraus leiten. Für die Kühlung oder Erwärmung der durch ein Fluidleitungselement strömenden Fluide ist es auch zweckmäßig,  
20 wenn eine oder mehrere der Folien in dem Folienstapel als Wärmeübertragerelemente ausgebildet sind, die auf ihrer Oberfläche Kanäle und wenigstens eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung für ein Kühl- oder Heizfluid aufweisen, wobei die fluidführenden Bereiche der Wärmeübertragerelemente gegenüber den fluidführenden Bereichen der Fluidleitungselemente gegen ein Übertreten von Fluid abgedichtet sind. Zweckmäßigerweise sind solche Wärmeübertragerelemente unmittelbar über und/ oder unter Fluidleitungselementen in dem Folienstapel angeordnet.  
25 Zur Erwärmung des durch ein Modul strömenden Fluids können auch andere Heizvorrichtungen auf den Folien angebracht sein, wie z. B. elektrische Widerstandsheizelemente oder ähnliches. Sollen Temperatur oder Druck im Inneren eines Grundmoduls gemessen oder reguliert werden, so können hierfür Folien mit entsprechenden Sensorelementen vorgesehen sein. Als Temperatursensoren eignen sich elektrische Widerstandselemente und Thermolemente, es sind aber auch faseroptische Temperaturmeßelemente und Membraninfrarotsensoren für derartige mikro-  
30 technischen Anwendungen bekannt und geeignet. Weiterhin können in einem Folienstapel Massenflußsensoren untergebracht sein, welche die Menge an durchströmendem Fluid erfassen und/ oder regulieren. Bekannte mikrotechnische Massenflußsensoren basieren darauf, daß zwischen zwei Temperatursensoren im Fluidstrom ein elektrisches Widerstandsheizelement angeordnet ist, welches das von dem ersten Temperatursensor anströmende Fluid erwärmt und die Temperatur des Fluides stromabwärts von dem zweiten Temperatursensor gemessen wird. Ein Vergleich der beiden gemessenen Temperaturen liefert ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit, welche unter Berücksichtigung des Kanalquerschnitts ein Maß für den Massenfluß liefert.

35

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind an den Fluidein- und/ oder -auslässen des Gehäuses Massenflußregler angeordnet. Die Massenflußregler bestehen aus

einem Massenflußsensor und einem Ventil zur Steuerung des Massenflusses sowie entsprechender Regelungs- bzw. Stellelektronik. Aufgrund der größeren Dimensionen an den Fluidein- und -auslässen als dies innerhalb der Folienstapel der Grundmodule der Fall ist, können hier miniaturisierte Massenflußsensoren eingesetzt werden.

5

Für die Durchführung von Reaktionen mit mehreren Eduktfluiden, oder wenn ein oder mehrere Eduktfluide mit einem Inertfluid als Träger oder zur Verdünnung gemischt werden sollen, ist es zweckmäßig, wenn wenigstens ein Grundmodul in dem Reaktionssystem als Fluidmischer ausgebildet ist, welcher im Folienstapel Kanäle aufweist, die von einem Fluideinlaß des Gehäuses zu einer Mischkammer führen, welche vorzugsweise ein Hohlraum bzw. eine Diffusionstrecke zwischen dem Fluidmischer und einem darauf folgend in dem Gehäuse angeordneten Grundmodul ist. Zum Mischen mehrerer Fluide, die von verschiedenen Fluideinlässen in das System einströmen, können mehrere als Fluidmischer ausgebildete Grundmodule hintereinander angeordnet sein. Ein Fluidmischer kann aber auch so aufgebaut sein, daß gleichzeitig drei oder mehr Fluide in diesen Fluidmischer einströmen können und in die Mischkammer geleitet werden.

10

15

Ein als Reaktionsstrecke ausgebildetes Grundmodul weist im Folienstapel Kanäle auf, die von einem vor der Reaktionsstrecke in dem Gehäuse angeordneten Grundmodul zu einem dahinter angeordneten Grundmodul, zu einer Kammer oder zu einem Fluidauslaß führen. Eine besonders bevorzugte Anwendung des erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems ist die Untersuchung und Durchführung heterogen katalysierter Gasphasenreaktionen. Hierfür sind die Kanäle der Reaktionsstrecke vorzugsweise mit einem Katalysator und gegebenenfalls mit einer den Katalysator enthaltenden Trägerbeschichtung versehen. Als Katalysatoren eignen sich Edelmetalle, insbesondere Platin. Die Kanäle der Reaktionsstrecke sind hierfür zweckmäßigerweise mit dem Katalysatormaterial beschichtet. Alternativ können die Folien auch vollständig aus dem Katalysatormetall hergestellt sein. Eine Trägerschicht zwischen Kanaloberfläche und Katalysator eignet sich zur Haftvermittlung zwischen Katalysator und Folienmaterial und/ oder auch zur Vergrößerung der katalytischen Oberfläche. Als Trägerschicht eignet sich insbesondere Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), jedoch ist auch eine Vielzahl anderer Trägermaterialien aus dem Stand der Technik bekannt, die erfindungsgemäß eingesetzt werden können.

20

25

30

Ein erfindungsgemäß besonders bevorzugter Schichtaufbau eines Folienstapels für eine Reaktionsstrecke weist a) alternierend Wärmeübertragerelemente und Fluidleitungselemente, b) alternierend Wärmeübertragerelemente, Fluidleitungselemente und Sensorelemente oder c) alternierend Wärmeübertragerelemente, Fluidleitungselemente und kombinierte Sensor-/ Heizelemente auf.

35

Elektrische Widerstandsheizelemente können als Draht oder als dünne Metallschichten auf den Folien aufgebracht sein. Als Temperatursensoren eignen sich in ähnlicher Weise aufgebaute Widerstandselemente oder Thermolemente, es sind jedoch auch faseroptische Temperatursensoren in mikrotechnischer Ausgestaltung bekannt.

5

Das Gehäuse des erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems ist zweckmäßigerweise im wesentlichen kastenförmig mit einem Gehäuseunterteil und einem Gehäusedeckel ausgebildet. Nach dem Einsetzen der Grundmodule in das Gehäuseunterteil wird das Gehäuse mit dem Deckel fest verschlossen, so daß die Rahmenelemente der Grundmodule in gleicher Weise, wie im Innenraum des Gehäuseunterteils, paßgenauen und fluiddichten Kontakt zu dem Gehäusedeckel haben. Zur Befestigung kann der Gehäusedeckel mit dem Unterteil verschraubt oder anderweitig angedrückt werden. Vorzugsweise ist das Gehäuse im wesentlichen aus Metall gefertigt, jedoch eignet sich auch Keramik, insbesondere wenn thermische und/ oder elektrische Isolierung gefordert ist.

15

Für die Zuführung von Heiz- oder Kühlfluid sowie für elektrische Zu- und Ableitungen für elektrische Heizelemente und Sensoren weist das Gehäuse in der Gehäusewand entsprechende Anschlüsse auf. Vorzugsweise sind diese Anschlüsse als eine sich über einen Teil oder die gesamte Länge des Gehäuses erstreckende Anschlußleiste mit einer Vielzahl nebeneinander angeordneter Anschlüsse ausgebildet, die je nach Bedarf und den dahinter im Gehäuse angeordneten Grundmodulen verwendet werden können. Es können jedoch auch mehrere Anschlußleisten an der Gehäusewand vorgesehen sein, z. B. eine Anschlußleiste für elektrische Kontakte und eine weitere Anschlußleiste mit Zu- und Ableitungen für Wärmeübertragerelemente.

20

Weitere Vorteile, Merkmale und Ausführungsformen der Erfindung werden deutlich anhand der nachfolgenden Beschreibung einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Figuren.

25

Fig. 1 zeigt ein schematisches Diagramm der Anordnung verschiedener Elemente eines erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems.

30

Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein erfindungsgemäßes Mikroreaktionssystem.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems schräg von vorne.

35

Fig. 4 zeigt ein erfindungsgemäßes Rahmenelement mit Sensoren.

Fig. 5 zeigt ein erfindungsgemäßes Grundmodul mit Folienstapel und Rahmenelementen.

- Fig. 6a, 6b und 6c zeigen ein Heizelement, ein Fluidleitungselement und ein Wärmeübertragerelement.
- Fig. 7a, 7b und 7c zeigen ein Wärmeübertragerelement, ein Eduktzuführungselement und ein Fluidleitungselement in alternativen Ausführungsformen.

5

Figur 1 gibt die Anordnung der einzelnen Elemente eines erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems schematisch wieder. Das durch eine unterbrochene Linie dargestellte Gehäuse 1 weist drei Eduktgaseinlässe 7, einen Inertgaseinlaß 8 und einen Produktgasauslaß 9 auf. Im Gehäuseinnenraum sind hintereinander funktionale Grundmodule 2, 2' und 2'' angeordnet, nämlich

10 Mischermodule 2, eine Reaktionsstrecke 2' und ein Quenchmodul (Kühl- oder Heizmodul) 2''. An den Ein- und Auslässen 7, 8 und 9 des Gehäuses 1 sind jeweils Massenflußregler 5 vorgesehen, die den Gasstrom messen und durch Ansteuerung von Ventilen regeln. Des Weiteren sind vor und hinter den einzelnen Grundmodulen 2, 2' und 2'' Druck- und Temperatursensoren 6 vorgesehen, die der Erfassung und/ oder Regelung dieser Parameter dienen. Jedes der darge-

15 stellten Grundmodule 2, 2' und 2'' ist mit Wärmeübertragerelementen ausgestattet, die über Zu- und Abläufe 4 mit Kühl- oder Heizfluid (Gas oder Flüssigkeit) versorgt werden können, um die Temperatur in den Grundmodulen einzustellen. Weiterhin ist jedes der dargestellten Grundmodule 2, 2' und 2'' mit elektrischen Widerstandsheizelementen 3 ausgestattet.

20 Figur 2 zeigt eine konkrete erfindungsgemäße Ausgestaltung des in Figur 1 dargestellten modularen Mikroreaktionssystems im Längsschnitt von der Seite. Die in Figur 1 dargestellten Fluideinlässe 7 befinden sich bei der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform auf der vom Betrachter abgewandten Seite des Gehäuses 1 und sind daher in Figur 2 nicht sichtbar. In dem Gehäuse 1 in Figur 2 sind, wie in Figur 1, fünf Grundmodule untergebracht, nämlich in Richtung vom Fluideinlaß 8 zum Fluidauslaß 9 drei aufeinanderfolgende Mischermodule 2, eine Reaktionsstrecke 2' und ein Quenchmodul 2''. Jedes der Grundmodule besteht aus einem Folienstapel mit plattenförmigen, übereinander angeordneten Folien 12, 13, 14, 15 und zwei Rahmenelementen 10, die an Vorder- und Rückseite (bezogen auf die Hauptfluidströmungsrichtung) mit dem Folienstapel verbunden sind. Der äußere Umfang der Rahmenelemente 10 entspricht dem Innenquerschnitt

25 des Gehäuses 1, so daß die Rahmenelemente paßgenau und im wesentlichen fluiddicht an der Gehäuseinnenwand anliegen. Die Rahmenelemente 10 sind so ausgestaltet, daß sie den damit verbundenen Folienstapel mit einem Bereich der Rahmenöffnung umschließen, sich aber auch in der Hauptfluidströmungsrichtung bis vor den Folienstapel erstrecken. Dabei ist die Innenquerschnittsfläche der Rahmenöffnung vor einem Folienstapel kleiner als in dem den Folienstapel umschließenden Bereich, wobei der Übergang vom größeren zum kleineren Innenquerschnitt

30 über eine Abstufung verläuft. Zwei benachbarte Grundmodule sind derart nebeneinander angeordnet, daß die Frontflächen ihrer Rahmenelemente aufeinander zu liegen kommen, wobei zwi-

5 schen benachbarten Grundmodulen ein Hohlraum bzw. eine Diffusionsstrecke 11 entsteht. Die Mischermodule 2 der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform weisen jeweils 3 verschiedene Arten von Folien in aufeinanderfolgender Schichtung auf, nämlich Wärmeübertragerelemente 13, Fluidleitungselemente 14 und Eduktfluidzuführungselemente 15. Die Eduktfluidzuführungselemente 15 führen ein durch den in Figur 2 nicht dargestellten und in Figur 1 mit der Bezugszahl 7 bezeichneten Edukteinlaß zu der Diffusionsstrecke 11 hinter dem entsprechenden Mischermodule 2. Die Fluidleitungselemente 14 führen ein weiteres Fluid, das durch den Fluideinlaß 8 eingeleitet wird, durch den Folienstapel hindurch ebenfalls zur Diffusionsstrecke 11. Die Wärmeübertragerelemente 13 können über nichtdargestellte Fluidzuläufe mit einem Heiz- oder Kühlfluid gespeist werden, um die durch das Mischermodule strömenden Fluide zu kühlen oder zu erwärmen. In der Diffusionsstrecke 11 vermischen sich die durch das Modul geleiteten Fluide, bevor sie in das nächste Grundmodule einströmen. Im zweiten und dritten Mischermodule können die über das erste Mischermodule eingeleiteten Fluide mit weiteren Eduktfluiden, wahlweise auch mit einem Inertfluid, gemischt werden.

15 Die Reaktionsstrecke 2' weist ebenfalls drei Arten von Folien auf, nämlich Wärmeübertragerelemente 13, Fluidleitungselemente 14 sowie Sensor- /Heizelemente 12. Die Fluidleitungselemente 14 der Reaktionsstrecke 2', welche die Diffusionsstrecken 11 vor und hinter der Reaktionsstrecke 2' miteinander verbinden, können wahlweise ein Katalysatormaterial enthalten. Die mit mikrostrukturierten Kanälen versehenen Folien 14 können dabei entweder vollständig aus dem Katalysatormaterial, wie Edelmetall, hergestellt sein, oder die mikrostrukturierten Kanäle sind mit dem Katalysatormaterial beschichtet. Die Wärmeübertragerelemente 13 sind in der gleichen Weise ausgestaltet wie bei den Mischermodulen 2. Die Sensor- /Heizelemente 12 sind je nach Bedarf mit Temperatursensoren, elektrischen Widerstandsheizelementen oder beidem ausgestattet. Sie können auch mikrotechnische Drucksensoren enthalten. Das sich an die Reaktionsstrecke 2' anschließende Quenchmodule 2'' ist im wesentlichen aufgebaut wie ein Mischermodule 2, nämlich aus Wärmeübertragerelementen 13, Fluidleitungselementen 14 und Fluidzuführungselementen 15, wobei die von der Reaktionsstrecke anströmenden Reaktionsprodukte durch die Fluidleitungselemente 14 in eine Kammer 11' unmittelbar vor dem Fluidauslaß 9 geführt werden. Durch die Fluidzuführungselemente 15 in dem Quenchmodule 2'' kann zusätzlich ein Quenchfluid zugeführt werden, das beispielsweise der schnellen Abkühlung, Verdünnung oder Stabilisierung der Reaktionsprodukte dienen kann. Quenchfluid und Reaktionsprodukte werden in der Kammer 11' zusammengeführt und mischen sich dort, bevor sie durch den Fluidauslaß 9 aus dem Gehäuse ausströmen.

35 Die verschiedenen Grundmodule 2, 2', 2'' lassen sich einfach aus dem Gehäuse herausnehmen und gegen andere Grundmodule austauschen. Durch Austausch der Reaktionsstrecke 2' können

- beispielsweise unterschiedliche Katalysatoren oder andere Reaktionsbedingungen untersucht werden, ohne daß die übrigen Grundmodule ausgetauscht werden oder ein vollständig neues Reaktionssystem verwendet werden muß. Es können auch Grundmodule weggelassen werden, wie beispielsweise eines oder zwei der Mischermodule 2. Hierfür können andere der Grundmodule 2, 2' oder 2'' in längerer Ausführungsform eingesetzt werden, um den zurückbleibenden Leerraum in dem Gehäuse 1 auszufüllen. Alternativ können zum Ausfüllen des Leerraumes auch andere Elemente, wie beispielsweise einfache Rahmenelemente 10 oder den Rahmenelementen ähnliche Abstandshalter eingesetzt werden.
- 10 Figur 3 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mikroreaktionssystems in perspektivischer Darstellung schräg von vorne. Das Mikroreaktionssystem weist im wesentlichen die gleichen Arten von Grundmodulen auf, wie die Ausführungsform gemäß Figur 2, nämlich Mischermodule 2, eine Reaktionsstrecke 2' und ein Quenchmodul 2''. Im Bereich des Quenchmoduls 2'' ist zusätzlich eine Fluidzuführung 7' zur Einleitung von Quenchfluid in das Quenchmodul 2'' dargestellt. An der Seitenwand des Gehäuses 1 ist eine Anschlußleiste 16 mit einer  
15 Vielzahl von nebeneinander angeordneten Anschlüssen 17 vorgesehen. Über die Anschlüsse 17 können die dahinter angeordneten Grundmodule mit Strom, z. B. für elektrische Widerstandsheizelemente oder mit Fluid, z. B. für die Wärmeübertragerelemente, versorgt werden.
- 20 Figur 4 zeigt ein erfindungsgemäßes Rahmenelement 10, bei welchem Sensoren 6 durch Bohrungen in dem Rahmen in die Rahmenöffnung eingeführt sind. Die Sensoren 6 können Druck- und/ oder Temperatursensoren sein. Figur 5 zeigt ein erfindungsgemäßes Grundmodul mit einem Folienstapel und an Vorder- und Rückseite des Folienstapels angeordneten Rahmenelementen 10 aus Figur 4. Der Folienstapel besteht aus Fluidleitungselementen 14 mit mikrostrukturierten Kanälen, die sich in einer Schar parallel und in gerader Linie von der Vorderseite zur  
25 Rückseite des Folienstapels erstrecken. Weiterhin umfaßt der Folienstapel Sensor-/Heizelemente 12 und Wärmeübertragerelemente 13. Das Grundmodul aus Figur 5 eignet sich als Reaktionsstrecke.
- 30 Die Figuren 6a, 6b und 6c zeigen ein Heizelement 12', ein Fluidleitungselement 14' und ein Wärmeübertragerelement 13', die für eine gemeinsame Anordnung in einem Folienstapel geeignet sind. Das Heizelement 12' aus Figur 6a besteht aus einer im wesentlichen rechteckigen Platte, deren Oberfläche von elektrischen Widerstandsheizdrähten durchzogen ist. Die Heizdrähte enden an einer der Seitenflächen des Heizelementes 12 in Anschlüssen 18, wo sie mit Strom  
35 gespeist werden. Vorzugsweise sind die Anschlüsse 18 als sogenannte Bond Pads ausgebildet.

Das Fluidleitungselement 14' aus Figur 6b ist mit einer Schar von parallel verlaufenden, nutenförmigen Mikrokanälen 20 versehen, die sich von einer Seite des Fluidleitungselementes zur gegenüberliegenden Seite erstrecken. Durch die in einem Folienstapel über dem Fluidleitungselement angeordnete Folie werden die einzelnen nutenförmigen Kanäle von oben fluiddicht verschlossen, um ein Übertreten von Fluid in einen benachbarten Kanal oder seitlich aus dem Folienstapel heraus zu verhindern. Bei dem in Figur 6c dargestellten Wärmeübertragerelement 13' wird ein Kühl- oder Heizfluid durch einen Zulauf 4' eingeführt, durch mikrostrukturierte Wärmeübertragerkanäle 21 durch das Wärmeübertragerelement 13' geleitet und durch einen Ablauf 4'' wieder abgeführt.

Die Figuren 7a, 7b und 7c zeigen alternative Ausgestaltungen von mikrostrukturierten Folienelementen, nämlich ein Wärmeübertragerelement 13'', ein Fluidzuführungselement 15' und ein Fluidleitungselement 14'', die sich für eine gemeinsame Anordnung in einem Folienstapel eignen. Die Folienelemente 13'', 15' und 14'' sind mit jeweils 3 Bohrungen versehen, die in einem Folienstapel übereinander zu liegen kommen und sich von oben nach unten durch den Folienstapel erstrecken. Die Bohrungen 24 und 24' dienen als Zu- bzw. Ablauf für Wärmeübertrager und stehen nur mit dem mikrostrukturierten Bereich des Wärmeübertragerelementes 13'' in Verbindung, nicht jedoch mit den mikrostrukturierten Bereichen der Fluidzuführungselemente 15' und der Fluidleitungselemente 14''. Die Folienelemente der Figuren 7a, 7b und 7c sind für eine Fluidzuführung von oben in einen Folienstapel vorgesehen. Kühl- oder Heizfluid wird durch den Wärmeübertragerzulauf 24 eingeleitet, durchströmt ausschließlich eines oder mehrere der in dem Folienstapel vorgesehenen Wärmeübertragerelemente 13'' und verläßt den Folienstapel durch den Wärmeübertragerablauf 24'. Eduktfluid wird durch die Fluidzuführungsbohrung 27 in den Folienstapel eingeleitet, strömt durch diese Bohrung in die jeweiligen Fluidzuführungselemente 15 in einem Stapel und verläßt den Stapel in Richtung des nächsten benachbarten Grundmoduls. Das Fluidleitungselement 14'' wird von der in Figur 7c linken Seite angeströmt und das Fluid zur rechten Seite hindurchgeleitet, wo es sich in einer anschließenden Diffusionsstrecke mit dem aus dem Fluidzuführungselement 15' austretenden Fluid mischen kann.

**Bezugszeichenliste**

|    |              |                                     |
|----|--------------|-------------------------------------|
|    | 1            | Gehäuse                             |
|    | 2            | Mischermodul                        |
| 5  | 2'           | Reaktionsstrecke                    |
|    | 2"           | Quenchmodul                         |
|    | 3            | Heizdraht                           |
|    | 4, 4', 4"    | Wärmeübertragerzu-/ablauf           |
|    | 5            | Massenflußregler                    |
| 10 | 6            | Druck-/ Temperatursensoren          |
|    | 7, 7', 7"    | Eduktfluidzuführungen               |
|    | 8            | Inertfluidzuführung                 |
|    | 9            | Fluidauslaß                         |
|    | 10           | Rahmenelement                       |
| 15 | 11           | Diffusionsstrecke                   |
|    | 12, 12', 12" | Sensor-/ Heizelement                |
|    | 13, 13', 13" | Wärmerübertragerelement             |
|    | 14, 14', 14" | Fluidleitungselement                |
|    | 15, 15'      | Fluidzuführungselement              |
| 20 | 16           | Anschlußleiste                      |
|    | 17           | Anschlüsse                          |
|    | 18           | Heizelementanschlüsse               |
|    | 20           | Reaktionskanäle                     |
|    | 21           | Wärmeübertragerkanäle               |
| 25 | 22           | Sammler                             |
|    | 24, 24'      | Wärmerübertragerzu-/ablaufbohrungen |
|    | 27           | Eduktfluidzuführungsbohrung         |

## Patentansprüche

1. Modulares Mikroreaktionssystem mit einem Gehäuse und darin untergebrachten funktiona-  
len Grundmodulen, wobei das Gehäuse wenigstens einen Fluideinlaß und wenigstens einen  
5 Fluidauslaß hat, die Grundmodule in dem Gehäuse in Reihe hintereinander angeordnet und  
so ausgebildet sind, daß sie aufeinanderfolgend von Fluid durchströmbar sind und wenig-  
stens einige der Grundmodule aus mehreren fest oder lösbar miteinander verbundenen, plat-  
tenartigen, im wesentlichen rechteckigen, übereinandergeschichteten Folien unter Ausbil-  
dung eines Folienstapels aufgebaut sind, wobei eine oder mehrere der Folien auf einer oder  
10 beiden Oberflächen mikrostrukturierte Kanäle, Sensorelemente, Heizelemente oder Kombi-  
nationen davon aufweisen und jeder Folienstapel wenigstens eine Folie aufweist, die auf ih-  
rer Oberfläche mit Kanälen versehen ist, welche so ausgebildet sind, daß sie für eine Fluid-  
leitung von einer Seite des Folienstapels zur gegenüberliegenden oder zu einer daran an-  
grenzenden Seite des Folienstapels führen, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Grundmodu-  
le (2, 2', 2'') jeweils wenigstens ein Rahmenelement (10) haben, welches fest oder lösbar  
15 und fluiddicht mit dem Folienstapel verbunden ist, und die Folienstapel zusammen mit den  
Rahmenelementen als Einheit in das Gehäuse (1) einsetzbar und aus diesem herausnehm-  
bar sind.
- 20 2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere Umfang der Rahmen-  
elemente (10) dem Innenquerschnitt des Gehäuses (1) entspricht und fluiddicht an der Ge-  
häuseinnenwand anliegt.
3. System nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Grundmodul  
25 (2, 2', 2'') wenigstens zwei Rahmenelemente (10) aufweist, die an gegenüberliegenden Sei-  
ten eines Folienstapels angeordnet sind.
4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere Um-  
fang der Rahmenelemente (10) und der Innenquerschnitt des Gehäuses (1) rechteckig sind.  
30
5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere Um-  
fang der Rahmenelemente (10) wenigstens teilweise, vorzugsweise über den gesamten Um-  
fang, größer ist als der Umfang des Folienstapels in Richtung der Längsachse des Gehäu-  
ses.  
35
6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmenele-  
mente (10) aus wärmeisolierendem Material vorzugsweise aus Keramik hergestellt sind.

7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die benachbarten Rahmenelemente (10) zweier in dem Gehäuse (1) hintereinander angeordneter Grundmodule (2, 2', 2'') aneinander anliegen und einen Hohlraum (11) bilden, der von vier Seiten von den Innenflächen der Rahmenöffnungen und von zwei Seiten von jeweils einer Seite der mit den Rahmen verbundenen Folienstapel begrenzt ist.
8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmenelemente (10) in der Rahmenöffnung Drucksensoren und/ oder Temperatursensoren (6) aufweisen.
9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere der Folien in einem Folienstapel als Fluidleitungselemente ausgebildet sind, welche auf der Oberfläche Kanäle aufweisen, die von der von Fluid angeströmten Seite des Folienstapels durch diesen hindurch zur gegenüberliegenden Seite des Folienstapels führen, und/oder eine oder mehrere der Folien in einem Folienstapel als Wärmeübertragerelemente ausgebildet sind, die auf ihrer Oberfläche Kanäle und wenigstens eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung für ein Kühl- oder Heizfluid aufweisen, wobei die fluidführenden Bereiche der Wärmeübertragerelemente gegenüber den fluidführenden Bereichen der Fluidleitungselemente gegen ein Übertreten von Fluid abgedichtet sind, und/ oder eine oder mehrere der Folien in einem Folienstapel als Temperatur- und/ oder Drucksensorelemente, Heizelemente oder Kombination davon ausgebildet sind.
10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Grundmodul als Fluidmischer ausgebildet ist, welcher im Folienstapel Kanäle aufweist, die von einem Fluideinlaß des Gehäuses zu einer Mischkammer führen, welche vorzugsweise ein Hohlraum zwischen dem Fluidmischer und einem darauffolgend in dem Gehäuse angeordneten weiteren Grundmodul ist.
11. System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Fluidmischer weiterhin Kanäle aufweist, die von einem weiteren Fluideinlaß des Gehäuses und/ oder von einem vor dem Fluidmischer in dem Gehäuse angeordneten Grundmodul zu der Mischkammer führen.
12. System nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Grundmodul als Reaktionsstrecke ausgebildet ist, welche im Folienstapel Kanäle aufweist,

die von einem vor der Reaktionsstrecke in dem Gehäuse angeordneten Grundmodul zu einem dahinter angeordneten Grundmodul oder zu einem Fluidauslaß führen.

- 5 13. System nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kanäle der Reaktionsstrecke mit einem Katalysator und vorzugsweise mit einer zwischen der Kanaloberfläche und dem Katalysator angeordneten Trägerbeschichtung versehen sind.
- 10 14. System nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse aus Metall oder Keramik hergestellt ist.
- 15 15. System nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß an der Gehäusewand elektrische und/ oder Fluidanschlüsse (17) vorgesehen sind.
- 15 16. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die an der Gehäusewand vorgesehenen Anschlüsse (17) als Anschlußleiste (16) ausgebildet ist, die sich vorzugsweise in Längsrichtung des Gehäuses (1) erstreckt.

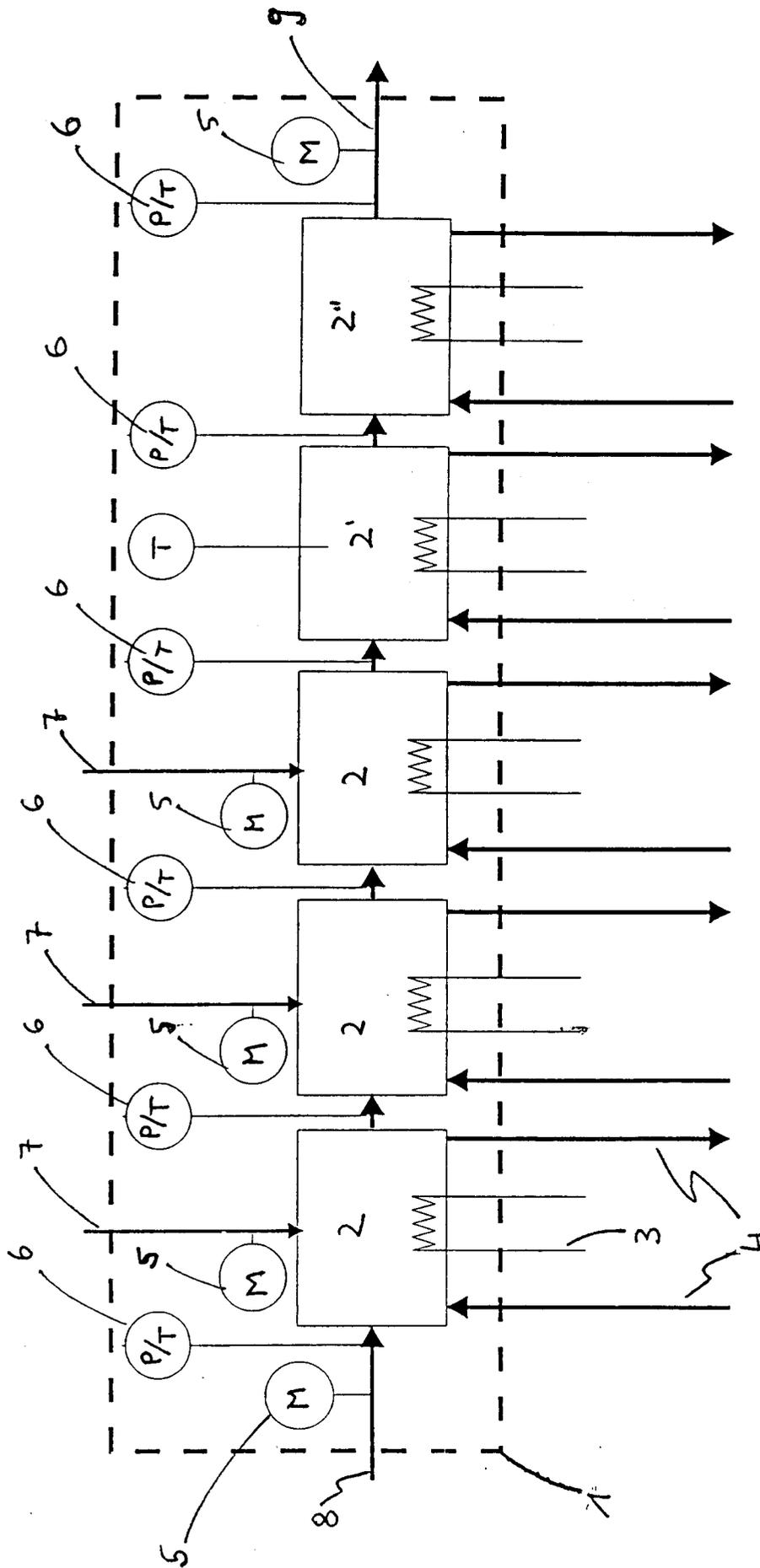


Fig. 1

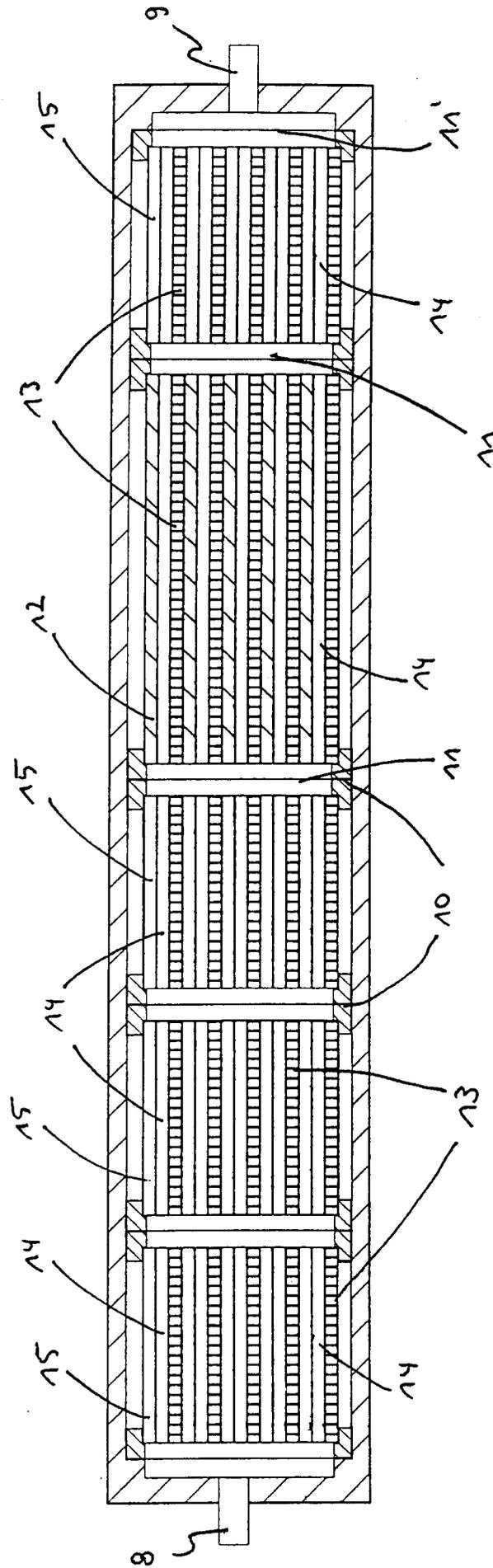


Fig. 2

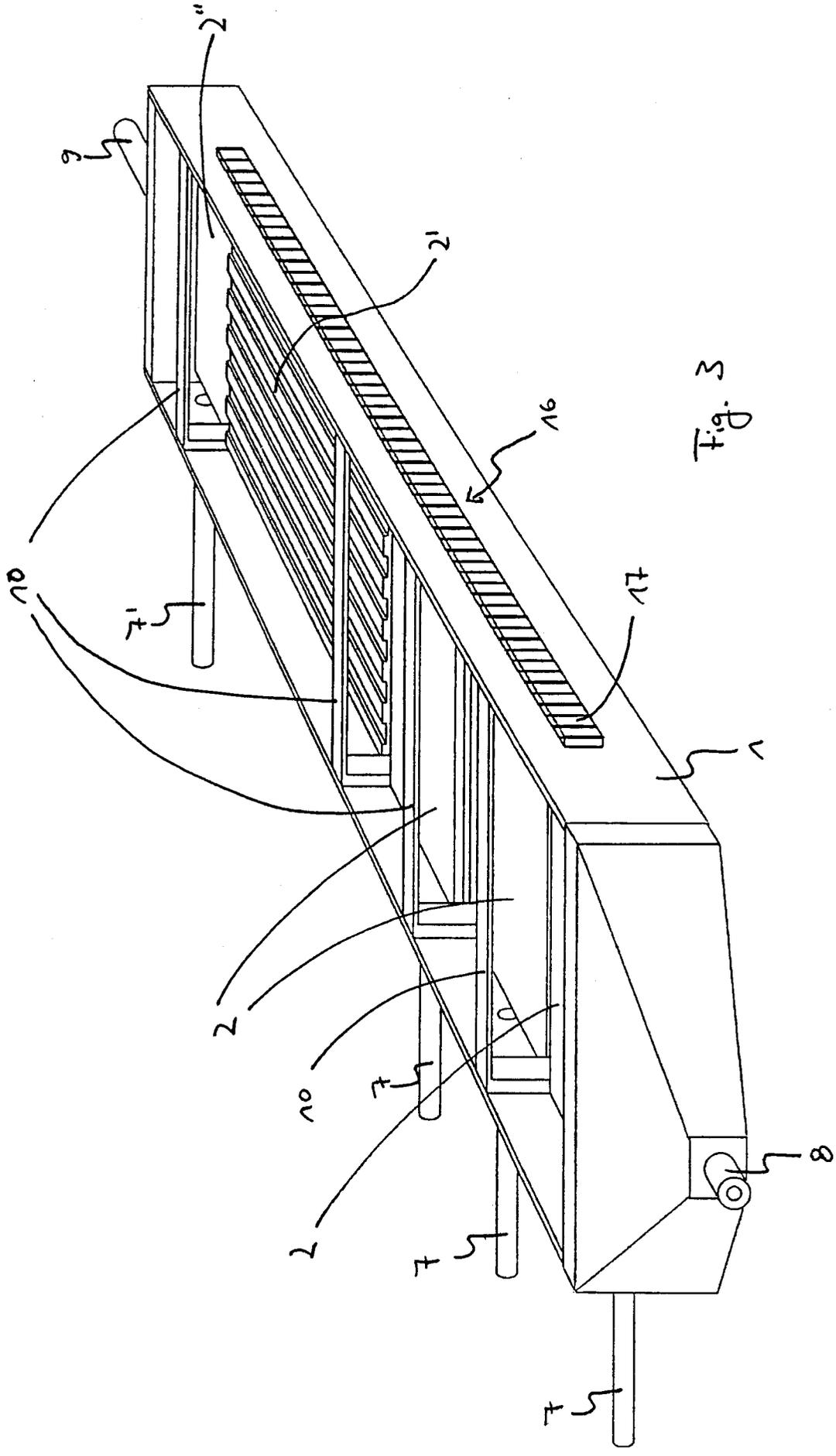


Fig. 3

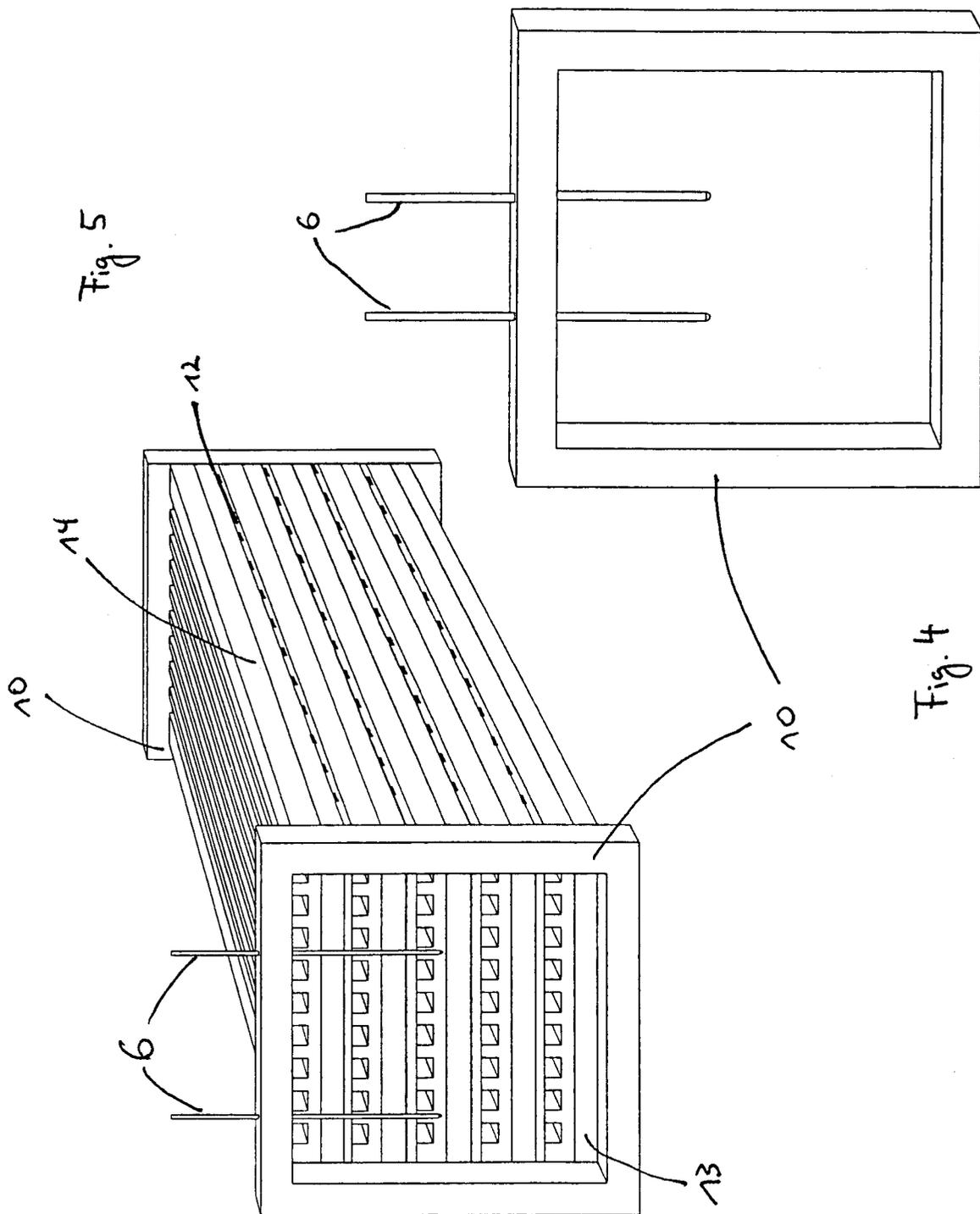
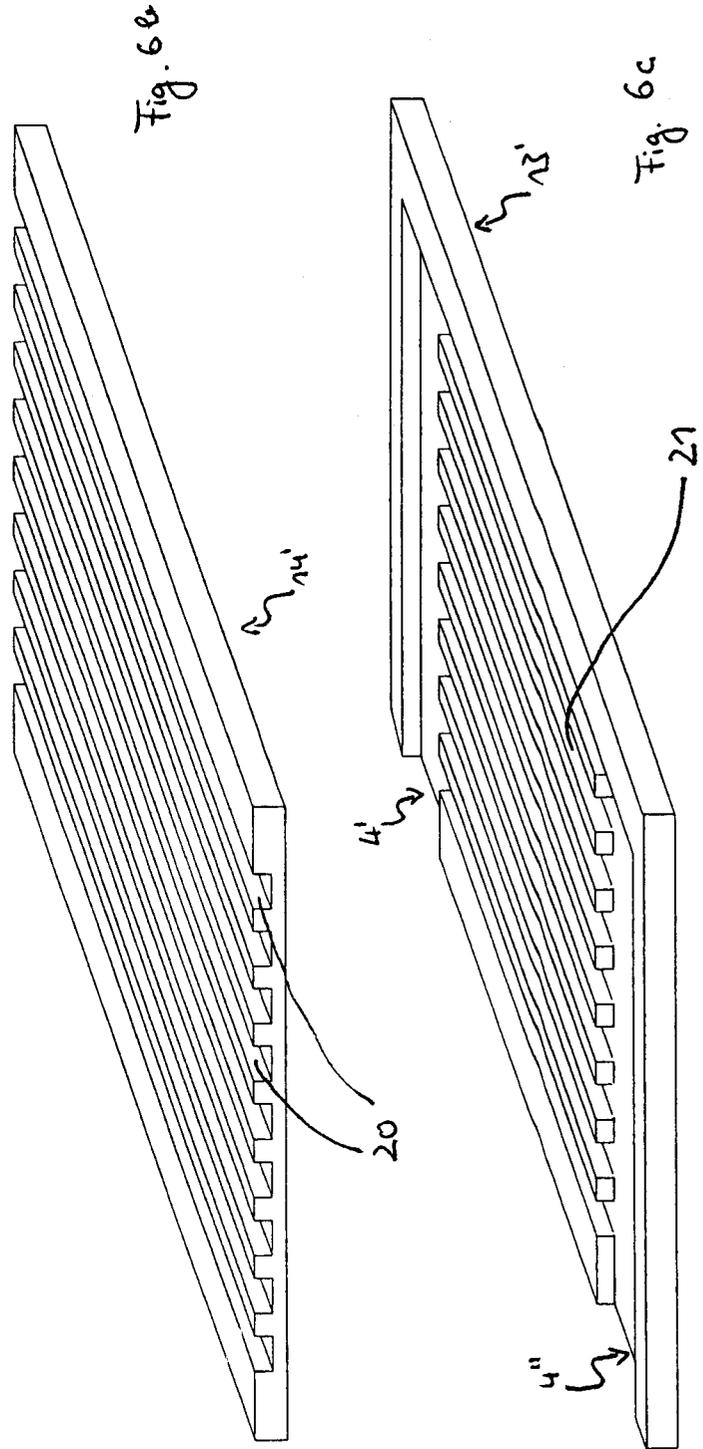
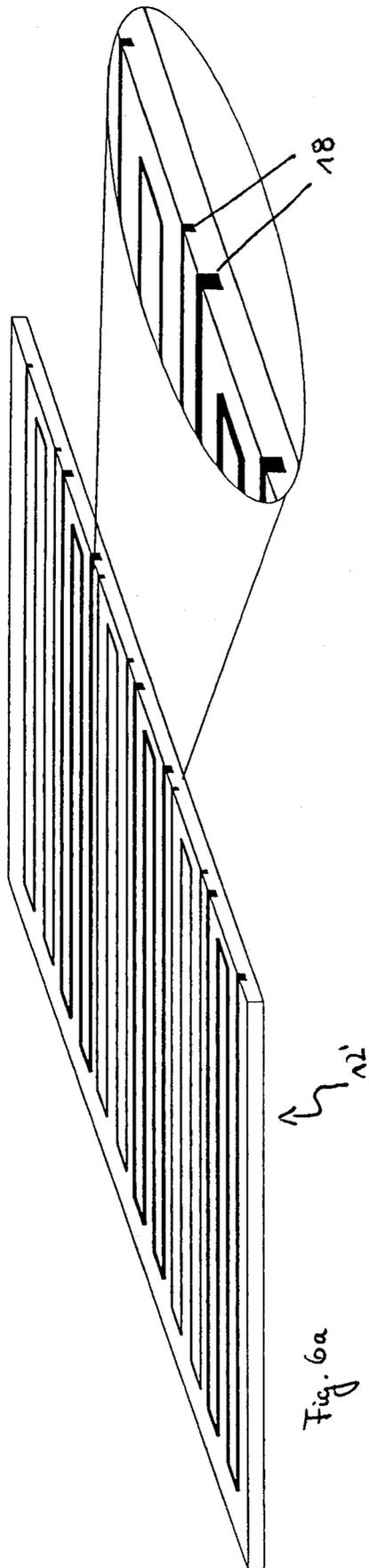


Fig. 5

Fig. 4



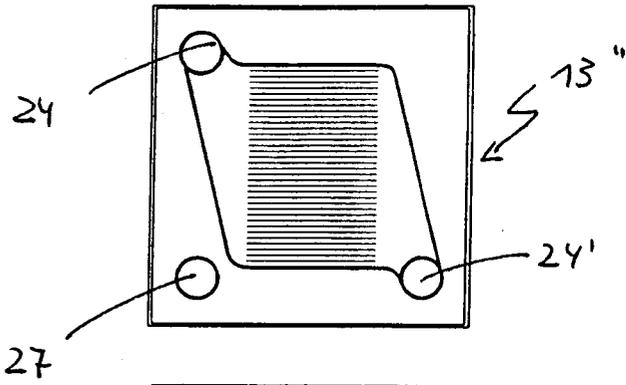


Fig. 7a

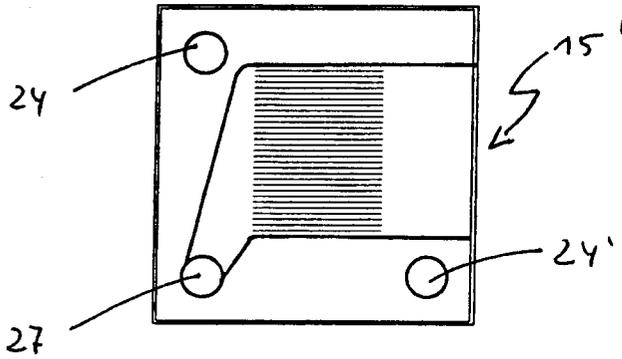


Fig. 7b

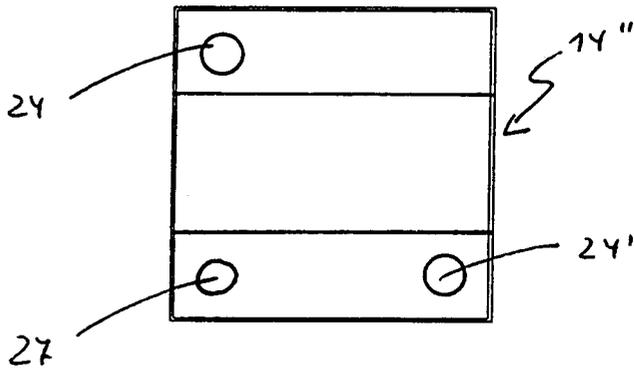


Fig. 7c

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/03844

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 B01J19/00 B01F5/06

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

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 B01J B01F B01L

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

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

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category ° | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No.         |
|------------|--|-------------------------------|
| X          | DE 43 08 697 A (HOEFKEN MARCUS DIPL ING<br>;BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); DURST FRANZ)<br>22 September 1994 (1994-09-22)<br>column 7, line 46 - line 62<br>column 10, line 21 -column 11, line 3<br>column 13, line 5 - line 22<br>column 15, line 47 -column 16, line 17<br>column 17, line 13 - line 28; figures 1-9<br>--- | 1-3,5,7,<br>9,10,12,<br>14,15 |
| P,X        | EP 1 031 375 A (CPC CELLULAR PROCESS<br>CHEMISTRY) 30 August 2000 (2000-08-30)<br><br>paragraph '0011! - paragraph '0014!<br>column 5, line 7 - line 13<br>paragraph '0022!; claims 1-14; figures<br>1,2<br><br>---<br><br>-/--  | 1-4,6,<br>8-12,14,<br>15      |

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 April 2001

Date of mailing of the international search report

07/05/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Veefkind, V

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Patent Application No  
PCT/DE 00/03844

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| Category °   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
| A  | DE 197 48 481 A (INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH) 12 May 1999 (1999-05-12)<br>cited in the application<br>column 6, line 15 - line 39; figure 9<br>--- | 1-16                  |
| A  | DE 197 08 472 A (ATOTECH DEUTSCHLAND GMBH) 24 September 1998 (1998-09-24)<br>column 10, line 61 -column 11, line 5;<br>figure 5<br>-----            | 1-16                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/03844

| Patent document cited in search report | A | Publication date | Patent family member(s)      | Publication date         |
|--|---|------------------|------------------------------|--------------------------|
| DE 4308697                             | A | 22-09-1994       | NONE                         |                          |
| EP 1031375                             | A | 30-08-2000       | DE 29903296 U                | 03-08-2000               |
| DE 19748481                            | A | 12-05-1999       | NONE                         |                          |
| DE 19708472                            | A | 24-09-1998       | WO 9837457 A<br>EP 0961953 A | 27-08-1998<br>08-12-1999 |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/03844

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 B01J19/00 B01F5/06

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 IPK 7 B01J B01F B01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr.            |
|------------|---|-------------------------------|
| X          | DE 43 08 697 A (HOEFKEN MARCUS DIPL ING ;BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); DURST FRANZ) 22. September 1994 (1994-09-22)<br>Spalte 7, Zeile 46 - Zeile 62<br>Spalte 10, Zeile 21 -Spalte 11, Zeile 3<br>Spalte 13, Zeile 5 - Zeile 22<br>Spalte 15, Zeile 47 -Spalte 16, Zeile 17<br>Spalte 17, Zeile 13 - Zeile 28;<br>Abbildungen 1-9 | 1-3,5,7,<br>9,10,12,<br>14,15 |
| P,X        | EP 1 031 375 A (CPC CELLULAR PROCESS CHEMISTRY) 30. August 2000 (2000-08-30)<br><br>Absatz '0011! - Absatz '0014!<br>Spalte 5, Zeile 7 - Zeile 13<br>Absatz '0022!; Ansprüche 1-14;<br>Abbildungen 1,2  | 1-4,6,<br>8-12,14,<br>15      |
|            | ---<br>-/--   |                               |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen</li> <li>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</li> <li>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</li> <li>*L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</li> <li>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</li> <li>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</li> <li>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</li> <li>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</li> <li>*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</li> </ul> |
|---|--|

|   |   |
|---|---|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 26. April 2001                                      | 07/05/2001  |

|   |   |
|---|---|
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter<br><br>Veeffkind, V |
|---|---|

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/03844

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie° | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A          | DE 197 48 481 A (INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH) 12. Mai 1999 (1999-05-12)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Spalte 6, Zeile 15 - Zeile 39; Abbildung 9<br>--- | 1-16               |
| A          | DE 197 08 472 A (ATOTECH DEUTSCHLAND GMBH) 24. September 1998 (1998-09-24)<br>Spalte 10, Zeile 61 - Spalte 11, Zeile 5;<br>Abbildung 5<br>-----           | 1-16               |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/03844

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 4308697 A                                       | 22-09-1994                    | KEINE                             |                               |
| EP 1031375 A                                       | 30-08-2000                    | DE 29903296 U                     | 03-08-2000                    |
| DE 19748481 A                                      | 12-05-1999                    | KEINE                             |                               |
| DE 19708472 A                                      | 24-09-1998                    | WO 9837457 A                      | 27-08-1998                    |
|  |                               | EP 0961953 A                      | 08-12-1999                    |