



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 102 10 097 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
B 01 J 19/00
B 01 J 10/00
B 01 J 14/00
B 01 J 8/00

21 Aktenzeichen: 102 10 097.7
22 Anmeldetag: 8. 3. 2002
43 Offenlegungstag: 9. 10. 2003

DE 102 10 097 A 1

71 Anmelder:
Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,
DE
74 Vertreter:
Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183
Wiesbaden

72 Erfinder:
Neumann, Frank, 63225 Langen, DE; Hessel, Volker,
Dr., 65510 Hünstetten, DE; Löwe, Holger, Dr., 55276
Oppenheim, DE; Hardt, Steffen, Dr., 55129 Mainz,
DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 24 34 082 C1
DE 19 61 426 B2
DE 199 45 978 A1
DE 100 36 602 A1
DE 42 34 093 A1
DE 41 28 827 A1
DE 19 90 947 U
EP 08 17 674 B1

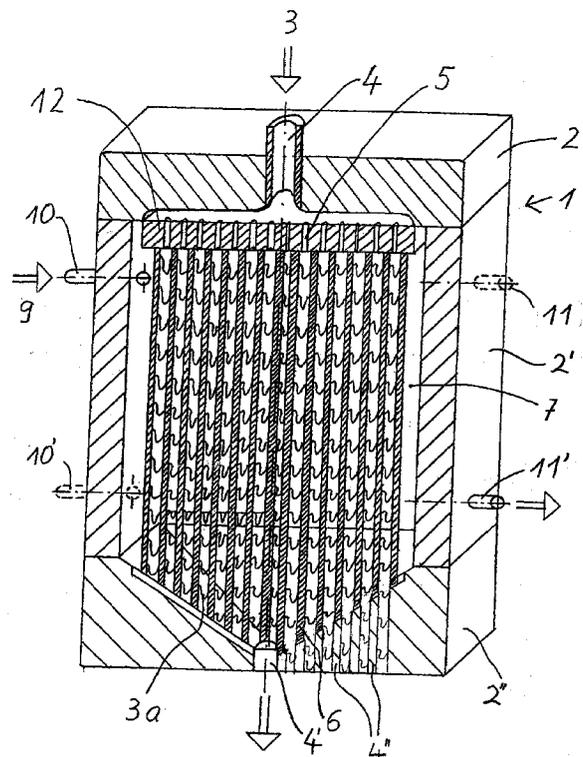
Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, H.G.
Kessler, Verlag A. Kessler, Freising, 3. Aufl.,
1988;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Führungsstrukturreaktor

57 Die Erfindung betrifft einen Reaktor mit Führungsstrukturen für die Erzeugung und Leitung von Flüssigkeitsfilmen (3a) oder Flüssigkeitstropfen durch eine Reaktionsstrecke in einem Reaktorgehäuse. Um gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Flüssigphasenreaktoren bereitzustellen, die eine engere Verweilzeitverteilung und/oder Konzentrationsverteilung, flexibel und gleichmäßig einstellbare Flüssigkeitsfilme oder Flüssigkeitstropfen sowie einen hohen Stoff- und/oder Temperaturübergang zulassen, sind die Führungsstrukturen (6) als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildet und erstrecken sich in dem Reaktorgehäuse von einer Flüssigkeitszuführung in Richtung zu einem Flüssigkeitsauslaß.



DE 102 10 097 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft einen Reaktor mit Führungsstrukturen für die Erzeugung und Leitung von Flüssigkeitsfilmen oder Flüssigkeitstropfen durch eine Reaktionsstrecke in einem Reaktorgehäuse. Speziell betrifft die Erfindung einen Reaktor für die Durchführung von Gas/Flüssig-Reaktionen, Flüssig/Flüssig-Reaktionen, Fest/Flüssig-Reaktionen oder nur Flüssig-Reaktionen, wie elektrochemischen Reaktionen, katalytischen Festphasenreaktionen usw.

[0002] Bekannte Reaktoren für chemische Flüssigphasenreaktionen führen Flüssigkeitsströme oder Flüssigkeitsfilme entlang eines Strömungsweges mit mindestens einer, häufig zwei oder drei flächigen Wandberührungen. Dabei wird die Flüssigkeit über eine glatte Oberfläche oder häufiger in Kanälen mit rundem oder zum Kanalboden hin spitz zulaufendem oder rechteckigem bzw. nutenförmigem Querschnitt oder auch in einem Rohr mit einer geschlossenen Wandfläche geleitet. In solchen Reaktoren werden Gas/Flüssig-, Flüssig/Flüssig-, Fest/Flüssig- oder nur Flüssig-Reaktionen durchgeführt.

[0003] Unter den Begriff der Reaktionen, wie er auch hierin verwendet wird, fallen nicht nur chemische Umsetzungen, sondern auch die Durchführung von Medienaustausch und Konzentrationsveränderungen in Lösungen sowie das Mischen, Erwärmen, Abkühlen und Verdampfen von Flüssigkeiten und Lösungen.

[0004] Ein Nachteil der bekannten Reaktoren ist die relativ kleine reaktive Oberfläche des Flüssigkeitsfilmes, die beispielsweise für den Kontakt mit einem Reaktionsgas zur Verfügung steht. Zudem führt die laminare Strömung in den Wandbereichen der Leitungswege durch Abbremsen der Strömungsgeschwindigkeit dazu, dass innerhalb des Flüssigkeitsfilmes unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten in der Flüssigkeit vorherrschen, je nachdem, ob ein Flüssigkeitsbereich näher an einer Wandung oder weiter entfernt davon in der Nähe der Flüssigkeitsoberfläche strömt. Teile eines gleichzeitig in den Reaktor eingeleiteten Flüssigkeitsvolumens passieren die gleiche Reaktionsstrecke daher langsamer und mit einer längeren Verweilzeit in dem Reaktor als andere Flüssigkeitsanteile. Je größer die Unterschiede der Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Flüssigkeitsfilmes sind, desto breiter ist die Verweilzeitverteilung.

[0005] Darüber hinaus haben Flüssigkeitsströmungswege mit hohem Wandberührungsanteil den Nachteil, dass nur ein entsprechend geringer Flüssigkeitsanteil an und in der Nähe der Flüssigkeitsoberfläche für Reaktionen, z. B. mit einem Gas, zur Verfügung steht. Es kommt bei einigen Reaktorbauteilen zwar zu einer Durchmischung der Flüssigkeit durch Verwirbelungen, und auch Diffusionseffekte können einen Austausch von Oberflächenflüssigkeit und tiefer strömenden Anteilen bewirken, jedoch sind diese Effekte für eine gleichmäßige Reaktionsführung häufig nicht ausreichend. Es kommt somit innerhalb des Flüssigkeitsfilmes zu Konzentrationsunterschieden von Flüssigkeitsanteilen, die bereits der beabsichtigten Reaktion unterzogen wurden, und solchen, bei denen dies nicht der Fall ist. Unter Konzentrationsunterschieden sind hierin Unterschiede bezüglich chemisch umgesetzter Flüssigkeit selbst oder darin gelöster Stoffe, aber auch z. B. Temperaturunterschiede oder -gradienten zu verstehen.

[0006] Eine breite Verweilzeitverteilung und/oder eine breite Konzentrationsverteilung haben den Nachteil, dass bei einigen Reaktionen unerwünschte Reaktionsnebenprodukte oder Produktgemische entstehen, die gegebenenfalls eine weitere Aufreinigung, Konzentration oder ähnliches erfordern. Je enger die Verweilzeitverteilung und/oder die

Konzentrationsverteilung in einem Flüssigkeitsstrom ist, desto genauer und spezifischer lässt sich die durchzuführende Reaktion steuern.

[0007] Ein weiterer Nachteil der bekannten Reaktoren besteht darin, dass Form und Dicke des Flüssigkeitsstromes bzw. -filmes aufgrund der fest vorgegebenen Strukturen für die Führung der Flüssigkeit gar nicht oder nur sehr begrenzt variabel eingestellt und damit bestimmten Reaktionsbedingungen und -anforderungen angepasst werden können.

[0008] Neben den oben beschriebenen Reaktoren sind auch solche mit frei fallenden Flüssigkeiten ohne Wandberührung bekannt. Hierbei entsteht jedoch kein für eine kontrollierte Reaktionsführung brauchbarer Flüssigkeitsfilm. Beispiele für solche Reaktoren sind Kühltürme oder Waschtürme, wie sie in der deutschen Offenlegungsschrift DE 19 61 426 beschrieben sind. Durch die Oberflächenspannungskräfte der Flüssigkeiten entstehen hierbei unterschiedlich große frei fallende Tropfen bzw. Tröpfchen, die nur von der Schwerkraft angetrieben undefiniert und ungeführt nach unten fallen und eventuell mit einem anströmenden Gas in Kontakt gebracht werden können.

[0009] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestand daher darin, gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Flüssigphasenreaktoren bereitzustellen, die eine engere Verweilzeitverteilung und/oder Konzentrationsverteilung, flexibel und gleichmäßig einstellbare Flüssigkeitsfilme oder Flüssigkeitstropfen sowie einen hohen Stoff- und/oder Temperaturübergang zulassen.

[0010] Gelöst wird diese Aufgabe durch einen Reaktor bzw. einen Mikroreaktor der eingangs genannten Art, bei dem die Führungsstrukturen als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildet sind und sich in dem Reaktorgehäuse von einer Flüssigkeitszuführung in Richtung zu einem Flüssigkeitsauslass erstrecken.

[0011] Unter Reaktorgehäuse im Sinne dieser Erfindung ist ein geschlossenes Gehäuse, ein offenes Gehäuse oder aber auch ein einfacher Rahmen oder eine Aufhängung für die Führungsstrukturen zu verstehen.

[0012] Vorteilhaft ist der Abstand benachbarter Führungsstrukturen bei dem erfindungsgemäßen Reaktor so gewählt, dass die Flüssigkeit zwischen den benachbarten Führungsstrukturen einen zusammenhängenden Flüssigkeitsfilm oder alternativ einzelne Tropfen ausbilden kann. Die in dem erfindungsgemäßen Reaktor gebildeten Flüssigkeitsfilme und Tropfen sind gleichmäßig und in ihren Parametern flexibel einstellbar. Damit lassen sich beispielsweise exakt definierte chemische Reaktionen mit einer oder mehreren allseitig anströmenden Gaskomponenten mit nur sehr geringem Aufwand durchführen. Durch die neuartige Flüssigkeitsführung lässt sich eine enge Verweilzeitverteilung realisieren und ein hoher Stoff- und/oder Wärmeübergang gewährleisten. Die Führungs- bzw. Leitungsstrukturen des erfindungsgemäßen Reaktors erlauben einen funktionellen und universellen Einsatz für einen Stoffaustausch zwischen zwei oder mehreren Medien und/oder für die Durchführung von chemischen Reaktionen dieser Medien miteinander. Mit dem Reaktor lassen sich auch Kinetik- und/oder Verweilzeitbestimmungen für diese Medien im flüssigen und/oder gasförmigen Zustand durchführen.

[0013] Der erfindungsgemäße Reaktor unterscheidet sich von bekannten Reaktoren, beispielsweise auch bekannten Fallfilmreaktoren, darin, dass der Flüssigkeitsfilm nicht in Kanälen mit großflächiger Wandberührung strömt, sondern die flüssige Komponente zwischen mindestens zwei Führungsstrukturen, wie beispielsweise Drähten, aufgrund der Kapillarkräfte aufgespannt und geführt wird. Der Flüssigkeitsfilm bewegt sich z. B. mit Hilfe der Schwerkraft entlang dieser Führungsstrukturen. Alternativ kann die Flüssig-

keit auch an den Führungsstrukturen als Tropfen mit nur sehr geringer Oberflächenberührung abrollen bzw. geführt werden. Tropfen können dabei mit zwei oder mehr Führungsstrukturen, aber auch mit nur einer einzigen Führungsstruktur, z. B. einem einzelnen Draht, in Kontakt sein.

[0014] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Reaktors gegenüber bekannten Anordnungen besteht darin, dass er relativ einfach und schnell zu reinigen und zu warten ist, was Zeit und Kosten einspart.

[0015] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind jeweils wenigstens zwei benachbarte der als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen im wesentlichen parallel und in einem Abstand zueinander angeordnet. Dadurch wird der Flüssigkeitsfilm oder auch der Tropfen im wesentlichen gleichmäßig über die gesamte Reaktionsstrecke geführt. Besonders zweckmäßig ist es insbesondere bei einer parallelen Anordnung der Führungsstrukturen, wenn die Führungsstrukturen in dem Reaktorgehäuse vorgespannt sind.

[0016] Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind jeweils wenigstens zwei benachbarte Führungsstrukturen in Längsrichtung von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass mit zunehmendem oder abnehmendem Abstand zueinander angeordnet. Dies ermöglicht eine Veränderung der Führungseigenschaften über die Länge der Reaktionsstrecke, d. h. beispielsweise eine Veränderung der Form und/oder Dicke des Flüssigkeitsfilmes und damit einhergehend eine Veränderung der Strömungseigenschaften, der Verweilzeitverteilung, der Konzentrationsverteilung und/oder der für Reaktionen zur Verfügung stehenden Flüssigkeitsoberfläche.

[0017] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind Mittel zum variablen Einstellen des Abstandes zwischen benachbarten Führungsstrukturen vorgesehen. Der erfindungsgemäße Reaktor bietet damit den Vorteil, die Reaktionsfläche von Flüssigkeitsoberflächen in Reaktoren auf einfache Weise zu vergrößern oder auch zu verkleinern, falls dies erforderlich ist. In dem Reaktor wird ein definierter gleichmäßig dünner Fallfilm bis zu Mikrometerdicke stabil im nahezu freien Raum erzeugt. Die einzigen Wandberührungen an den Führungsstrukturen sind gegenüber bekannten Reaktoren äußerst gering bzw. minimiert. Darüber hinaus ist es durch manuelles oder motorgetriebenes Einstellen der Abstände der Führungsstrukturen zueinander möglich, die Dicke und/oder Form der Flüssigkeitsfilme zu variieren. Gleiches gilt auch für die Tropfenbildung und Tropfenführung. Flüssigkeiten lassen sich in Tropfen- bzw. Tröpfchenform mit Hilfe der Führungsstrukturen führen bzw. daran abrollen, um diese Tropfen der Flüssigkeiten mit gasförmigen Medien in Kontakt und zur Reaktion zu bringen. Die gasförmigen Medien können alternativ aber auch nur als Schutzatmosphäre genutzt werden.

[0018] Wesentlicher Bestandteil des erfindungsgemäßen Reaktors sind die als Drähte, Stäbe, Streifen, Bänder oder Strangprofile ausgebildeten Führungsstrukturen. Die Formen der Führungsstrukturen, ihre Größe oder äußeren Abmessungen sowie das für diese Führungsstrukturen verwendete Material sind abhängig von der Anwendung und Nutzung des erfindungsgemäßen Reaktors, insbesondere von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Flüssigkeiten und Gase und den Reaktionsbedingungen, wie Temperatur, Druck etc. Die Führungsstrukturen können im Querschnitt senkrecht zur Längsachse verschiedene Formen aufweisen. Besonders bevorzugt sind im Querschnitt kreisförmige Drähte. Alternativ können die Führungsstrukturen im Querschnitt senkrecht zur Längs-

achse aber auch eine elliptische Form, eine quadratische Form, eine rechteckige Form, eine gleichschenkelig oder ungleichschenkelig dreieckige Form, eine fünfeckige, eine sechseckige, eine Rautenform, eine gleichmäßige Rhombusform mit gerundeten Ecken und konkav gewölbten Seitenflächen, eine Kreuzform, eine Kreuzform mit gerundeten Ecken oder eine Sternform mit sich radial von einem gemeinsamen Mittelpunkt nach außen erstreckenden Stegen, wobei die Stege gerade, gekrümmt oder abgeknickt sein können, aufweisen.

[0019] Bei einer besonderen alternativen Ausführungsform der Erfindung bestehen die Führungsstrukturen aus Drähten, Stäben, Streifen, Bändern oder Strangprofilen mit oberflächenmodifizierten Bereichen. Dabei erstrecken sich über die Länge einer Führungsstruktur eine oder mehrere Bahnen mit Oberflächenbereichen, die eine bessere Benetzbarkeit für die zu verwendende Flüssigkeit aufweisen als die neben diesen Bahnen liegenden Oberflächenbereiche. Mehrere Bahnen gut oder "besser" benetzbarer Bereiche auf einer Führungsstruktur sind voneinander durch "schlechter" benetzbare Oberflächenbereiche getrennt. Die Bahnen auf den Führungsstrukturen können geradlinig oder auch zickzackförmig, kurvenförmig oder in jeder anderen nicht-geradlinigen Art und Weise auf der Oberfläche verlaufen. Sind mehrere Bahnen auf einer Führungsstruktur vorgesehen, so verlaufen diese vorzugsweise im wesentlichen parallel zueinander. Verfahren zur Modifizierung der Benetzbarkeit von Oberflächen für bestimmte Flüssigkeiten sind dem Fachmann bekannt und sind nicht Gegenstand der Erfindung. Beispiele für Verfahren zur Modifizierung der Oberflächenbenetzbarkeit sind chemische und physikalische Oberflächenbehandlung, wie das Behandeln der Oberfläche mit Säuren oder Basen, Aufrauhern oder Glätten der Oberfläche, Beschichten der Oberfläche, z. B. mittels PVD oder CVD, oder Aufbringen eines organischen Polymers. Zwischen benachbarten Führungsstrukturen mit oberflächenmodifizierten Bereichen der oben genannten Art spannen sich die Flüssigkeitsfilme erfindungsgemäß zwischen den besser benetzbaren Bereichen bzw. Bahnen auf den Führungsstrukturen auf. Die schlechter benetzbaren Bereiche bleiben dabei im wesentlichen frei von Flüssigkeit. Sind auf den Führungsstrukturen jeweils mehrere besser benetzbare Bahnen vorgesehen, so erlaubt dies die Führung mehrerer Flüssigkeitsfilme nebeneinander zwischen benachbarten Führungsstrukturen. Gleiches gilt für Tropfen, wobei hier auch mehrere Tropfen an einer einzigen Führungsstruktur geführt werden bzw. entlanglaufen können. Bei der Führung mehrerer Flüssigkeitsfilme nebeneinander zwischen zwei benachbarten Führungsstrukturen können entlang der schlechter bezüglich des Flüssigkeitsfilmes benetzbaren Bereiche auch andere Flüssigkeiten geführt werden. Beispielsweise können nebeneinander Bereiche mit besserer Benetzbarkeit für apolare Flüssigkeiten neben Bereichen mit besserer Benetzbarkeit für polare Flüssigkeiten angeordnet sein. Dies erlaubt die Führung entsprechender Flüssigkeiten wie z. B. organischer Flüssigkeiten unmittelbar neben wässrigen Medien. Auf diese Weise lassen sich ansonsten schwer oder nicht mischbare Flüssigkeiten für eine Reaktion oder einen Stoffaustausch in dem Reaktor in Kontakt bringen.

[0020] In Abhängigkeit von Parametern, wie Oberflächenspannung und gegebenenfalls Kontaktwinkel der verwendeten Flüssigkeiten sowie Geometrie, Abstand, Durchmesser und Dimension der Führungsstrukturen, bilden sich konkave oder konvexe Flüssigkeitsfilme oder auch Flüssigkeitsfilme mit nahezu parallelen Oberflächen aus. Für mikrotechnische Anwendungen liegen die Durchmesser am Beispiel von Drähten mit kreisförmigem Querschnitt als Führungsstrukturen im Bereich von etwa 100 nm bis etwa 1 mm. Für

makrotechnisch ausgelegte Reaktoren liegen die Durchmesser der Führungsstrukturen im Bereich von etwa 0,5 mm bis etwa 5 mm.

[0021] Grundsätzlich können die Führungsstrukturen aus allen Materialien hergestellt sein, wie sie auch für die bekannten Reaktoren nach dem Stand der Technik zum Einsatz kommen. Für spezielle Anwendungen ist die Oberflächenbeschaffenheit der Führungsstrukturen von entscheidender Bedeutung. Um einen Fallfilm mit einer spezifischen Flüssigkeit erzeugen zu können, ist erfindungsgemäß je nach Flüssigkeit eine exakt bestimmbare Oberflächenrauheit der Führungsstrukturen notwendig. Bei glatter Führungsstrukturoberfläche, also bei sehr geringer Rauheit erfolgt ein leichtes Abrollen bzw. Weggleiten oder Wegrutschen von Flüssigkeit bzw. Tropfen an einer, zwei oder mehreren Führungsstrukturen.

[0022] Zweckmäßigerweise verlaufen die Führungsstrukturen in Längsrichtung von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass geradlinig. Alternative Ausführungsformen mit nicht geradlinig verlaufenden Führungsstrukturen sind jedoch für bestimmte Anwendungen ebenfalls geeignet, z. B. um die Länge der Flüssigkeitsstrecke in dem Reaktor zu vergrößern. Die Führungsstrukturen verlaufen bei diesen alternativen Ausführungsformen vorzugsweise zickzackförmig, gekrümmt oder schraubenförmig.

[0023] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind wenigstens einige der Führungsstrukturen in dem Reaktor als Hohlprofile ausgebildet. Da die Führungsstrukturen im unmittelbaren Reaktionsraum angeordnet sind, ist so eine Mehrfachnutzung dieser Führungsstrukturen möglich. Die Hohlräume in den Führungsstrukturen können beispielsweise zur Kühlung oder Heizung oder zur Ab- oder Zuführung von Energie genutzt werden. Zweckmäßigerweise sind daher an diesen als Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen Zuleitungen und Ableitungen für das Hindurchleiten eines Kühl- oder Heizfluides durch die Führungsstrukturen vorgesehen. Eine solche Temperaturführung ist in allen nutzbaren Temperaturbereichen durchführbar. Besonders effektiv ist sie jedoch bei höheren Temperaturen ab 100°C, weil die Temperatureinstellung bzw. Kontrolle direkt im Reaktionsraum erfolgt und nicht indirekt außerhalb des Reaktorraumes. Für bestimmte Anwendungen kann es weiterhin besonders vorteilhaft sein, wenn in wenigstens einigen der als Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen Sensoren, vorzugsweise Drucksensoren und/oder Temperatursensoren, vorgesehen sind. Mittels der Sensoren kann direkt jede Reaktionsphase überwacht werden, so dass beispielsweise über eine Regelung der Flüssigkeits- und/oder Gaszufuhr, der Temperatur oder des Drucks zu jedem Zeitpunkt korrigierend in eine Reaktion eingegriffen werden kann. Die Sensoren bieten die Möglichkeit, direkt das Geschehen im Reaktionsraum bei chemischen Reaktionen aktiv zu verfolgen.

[0024] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind die Führungsstrukturen elektrisch leitend ausgebildet und Anschlüsse für das Verbinden der Führungsstrukturen mit einer Stromquelle vorgesehen. Vorteilhaft weisen dabei jeweils zwei benachbarte Führungsstrukturen entgegengesetzte Polung für das Hindurchleiten eines elektrischen Stromes durch einen zwischen den Führungsstrukturen ausgebildeten Flüssigkeitsfilm auf. Alternativ können auch die Führungsstrukturen als ein Pol und ein Teil des Reaktorgehäuses als Gegenpol ausgebildet sein. Wenn in der Flüssigphase, ob als Film oder Tropfen, ein Strom fließt, sind elektrochemische Reaktionen, wie elektrochemische Gas/Flüssig-Reaktionen möglich.

[0025] Das Reaktorgehäuse des erfindungsgemäßen Reaktors kann, wie oben bereits erwähnt, ein offenes oder ein geschlossenes Gehäuse sein. Bevorzugt ist das Reaktorgehäuse jedoch als geschlossenes Gehäuse ausgebildet, welches Zuleitungen und Ableitungen für die entlang der Führungsstrukturen zu leitende Flüssigkeit aufweist. Sollen Reaktionen der Flüssigkeit mit einem oder mehreren weiteren Medien (Gase oder Flüssigkeiten) durchgeführt werden, so weist das Reaktorgehäuse zweckmäßigerweise weitere Zuleitungen und Ableitungen für das Hindurchleiten von Gas und Flüssigkeit durch das Reaktorgehäuse auf. Diese letztgenannten Zuleitungen und Ableitungen sind an dem Reaktorgehäuse vorteilhaft so angeordnet, dass ein durch das Reaktorgehäuse hindurchgeleitetes Gas oder eine Flüssigkeit im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung der Führungsstrukturen, d. h. der Hauptströmungsrichtung der daran geführten Flüssigkeit strömt. Die Zuführung weiterer Medien kann aber auch mit Vorteil parallel zu der Zuführung der an den Führungsstrukturen geführten Flüssigkeit erfolgen, so dass diese Medien zusammen mit der Flüssigkeit strömen.

[0026] Die Flüssigkeit, welche entlang der Führungsstrukturen strömen soll, wird gleichmäßig verteilt zum Anfang der Reaktionszone im Inneren des Reaktors geleitet, wo sie auf definierte bzw. einstellbare Zwischenräume zwischen wenigstens zwei Führungsstrukturen trifft. Ist die Anordnung der Führungsstrukturen entsprechend der verwendeten Flüssigkeit, der Form und Oberfläche der Führungsstrukturen richtig ausgewählt, so bildet die eingeleitete Flüssigkeit um die Führungsstrukturen, z. B. Drähte, durch Kapillarkräfte einen Flüssigkeitsfilm, spannt sich zwischen den Führungsstrukturen auf und bewegt sich unter der Schwerkraft oder mittels anderer Antriebskräfte, wie z. B. besonders bevorzugt durch elektroosmotischem Fluss oder Kapillarkräften, entlang der Führungsstrukturen. Es ist klar, dass es für einen effektiven Durchsatz von Vorteil ist, mehrere Führungsstrukturen für eine Vielzahl von aufgespannten Flüssigkeitsfilmen oder von Tropfen parallel oder in anderer Anordnung in dem Reaktorgehäuse vorzusehen.

[0027] Die flüssige Komponente, die entlang der Führungsstrukturen von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu einem Flüssigkeitsauslass geleitet wird, wird vorzugsweise mit Hilfe der Schwerkraft angetrieben. Für einen Antrieb der Flüssigkeit durch die Schwerkraft ist es besonders zweckmäßig, wenn sich die Führungsstrukturen in dem Reaktorgehäuse von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass bezüglich der Vertikalen abwärts erstrecken. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Führungsstrukturen im wesentlichen vertikal angeordnet sind. Dadurch wird gewährleistet, dass die Schwerkraft als antreibende Kraft für die Flüssigkeit voll wirksam wird. Um die Verweildauer der Flüssigkeit im Reaktor für länger andauernde Reaktionen zu erhöhen wird erfindungsgemäß ein Neigen bis nahe an eine horizontale Ausrichtung der Führungsstrukturen empfohlen. Bei einer horizontalen Ausrichtung muss die Flüssigkeit durch eine Druckdifferenz, einen Gasstrom oder eine andere Antriebskraft als die Schwerkraft angetrieben werden. Besonders bei mikrotechnischen Reaktoren treten Volumeneffekte, wie die Schwerkraft, gegenüber Oberflächeneffekten in den Hintergrund, auch bei vertikaler oder nur leicht geneigter Anordnung der Führungsstrukturen. Gerade bei Mikroreaktoren ist es daher bevorzugt, die Flüssigkeit durch Antriebskräfte zu transportieren, die auf solchen Oberflächeneffekten beruhen, wie elektroosmotischer Fluss. Zusätzlich oder alternativ anwendbare Antriebskräfte für die Flüssigkeitsströmung sind Kapillarkräfte, Druckdifferenz, Temperaturdifferenz, Gasstrom usw. und werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

[0028] Der Antrieb der Flüssigkeitsfilme oder Tropfen in

dem Reaktor entlang der Führungsstrukturen kann durch einen in das Reaktorgehäuse eingeleiteten Gasstrom erfolgen, z. B. indem Tropfen durch die von Gas ausgeübten Scherkräfte transportiert werden. Dies hätte den Vorteil hoher Stoff- und Wärmetransferkoeffizienten von der Gas- in die Flüssigphase.

[0029] Des weiteren kann der Antrieb der Flüssigkeit durch Bereitstellung eines Temperaturgradienten entlang der Führungsstrukturen erfolgen. Es besteht die Möglichkeit, den Transport von Flüssigkeitsfilmen oder Tropfen durch die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung zu steuern. Der Kontaktwinkel von Tropfen zur Oberfläche eines Drahtes oder einer anderen Führungsstruktur hängt von der lokalen Temperatur sowie der Oberflächenspannung ab, so dass ein Tropfen vom schlechter zum besser benutzbaren Bereich angetrieben wird. In einem Flüssigkeitsfilm kann es durch Temperaturgradienten zur Marangoni-Konvektion kommen. Die Oberflächenspannungskräfte hängen wesentlich von der Temperatur ab, so dass Flüssigkeit in die Bereiche mit geringerer Oberflächenspannung transportiert wird.

[0030] Eine weitere erfindungsgemäß geeignete Antriebsmöglichkeit für die Flüssigkeit besteht darin, geladene oder elektrisch polarisierte Tropfen durch ein elektrisches Feld im Reaktorgehäuse an den Führungsstrukturen entlang zu ziehen bzw. zu transportieren.

[0031] Wie oben bereits erwähnt, ist eine weitere erfindungsgemäß geeignete Antriebsmöglichkeit für einen Flüssigkeitsfilm oder einen Tropfen der elektroosmotische Fluss (EOF), durch den es möglich ist, die Flüssigkeit entlang der Drähte zu transportieren. Die Flüssigkeit enthält dabei Ionen, die sich an der Oberfläche der Führungsstrukturen anheften. Dadurch enthält der Flüssigkeitsfilm eine Ladung und kann durch eine elektrische Potentialdifferenz transportiert werden. Es wurde herausgefunden, dass in diesem Fall das Strömungsprofil im Flüssigkeitsfilm einem Plug-Flow-Profil sehr nahe kommt, so dass der Effekt der hydrodynamischen Dispersion, welcher die Verweilzeitverteilung eines Konzentrations-Tracers im Film verbreitert, minimiert wird. Zudem kann man durch EOF den Film häufig mit höherer Geschwindigkeit transportieren als durch Schwerkraft.

[0032] Um einen dünnen Flüssigkeitsfilm über längere Zeit stabil aufrecht zu erhalten, ist es notwendig die zugeführte und nachgeführte Menge an Flüssigkeit, die Geschwindigkeit und den Druck möglichst konstant zu halten. Speziell bei schmalen Filmen, die bei geringem Abstand der Führungsstrukturen ausgebildet werden, besteht jedoch auch alternativ die Möglichkeit, den erfindungsgemäßen Reaktor mit einer Druckdifferenz zu betreiben und damit den Durchsatz bzw. den Durchfluss über Regulierung des Drucks einstellbar zu gestalten. Der Antrieb der Flüssigkeit kann auch in einer Kombination von Schwerkraft und Druckdifferenz oder in irgendeiner anderen Kombination der vorgenannten Antriebsmöglichkeiten bestehen.

[0033] Die für die Herstellung des Reaktors geeigneten Materialien sind von der Nutzung bzw. der Art und Weise des Betriebes abhängig. Bevorzugte Materialien für das Reaktorgehäuse und mit Flüssigkeit oder Gas in Berührung kommende Bauteile sind Edelstahl und besonders bevorzugt höherwertige Stahlsorten, die eine breite Palette von möglichen Einsatzbedingungen erfüllen, wie Temperaturen von -200°C bis 800°C oder Unterdrücke von bis zu 105 Pa bzw. Überdrücke von bis zu 10^7 Pa oder mehr. Auch für eine Vielzahl von Flüssigkeiten bzw. Gasen sind Edelstahl und höherwertige Stahlsorten geeignet.

[0034] Für einfache Anwendungen, wie die Abbildung von Flüssigkeitsfilmen oder Tropfenablaufsimulationen usw., die ebenfalls mit dem erfindungsgemäßen Reaktor

durchgeführt werden können, sind Plexiglas oder andere durchsichtige Materialien für das Reaktorgehäuse und andere Bauteile geeignet, wenn die erzielten Temperaturen und die übrigen Bedingungen die Verwendung solcher Materialien zulassen.

[0035] Eine weitere vorteilhafte Anwendungsmöglichkeit des erfindungsgemäßen Reaktors sind Screeningtechnologien, wie das Auffinden von Katalysatoren für chemische Reaktionen. Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors sind daher die Führungsstrukturen bzw. Drähte als feste Katalysatoren ausgebildet. Hierbei bestehen die Führungsstrukturen entweder vollständig aus Katalysatormaterial oder sind zumindest als Träger auf ihrer Oberfläche mit Katalysatormaterial beschichtet. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Führungsstrukturen schnell und einfach ausgetauscht und damit verschiedene Katalysatoren getestet werden können. Alternativ können auch verschiedene Führungsstrukturen im gleichen Reaktor unterschiedliche Katalysatormaterialien aufweisen, so dass Paralleluntersuchungen an verschiedenen Feststoffkatalysatoren möglich sind.

[0036] Der erfindungsgemäße Reaktor erlaubt in flexibler Art und Weise Reaktionsbedingungen experimentell zu bestimmen bzw. zu simulieren. So lassen sich beispielsweise die für eine bestimmte Reaktion erforderliche Verweilzeit und die Konzentrationen von Reaktanden exakt bestimmen, bevor eine Reaktion im Synthesemaßstab durchgeführt wird. Dies bietet die Möglichkeit, die Bildung von unerwünschten Nebenprodukten zu reduzieren oder zu vermeiden.

[0037] In dem erfindungsgemäßen Reaktor lässt sich eine Vielzahl verschiedener Gas/Flüssig-, Flüssig/Flüssig-, Fest/Flüssig- oder nur Flüssig-Reaktionen durchführen. Beispiele für Gas/Flüssig-Reaktionen sind die Fluorierung von Toluol mit Fluorgas oder die Sulfonierung von Aromaten mit Schwefeltrioxid. Beispiele für Flüssig/Flüssig-Reaktionen sind Veresterungen mit zwei Phasen, z. B. nach dem Schotten-Baumann-Verfahren. Beispiele für schnelle Flüssig-Reaktionen sind nukleophile Substitutionen, elektrophile Substitutionen, wie Nitrierungen von Aromaten, Veresterungen, Amidierungen etc. Mit besonderem Vorteil lassen sich in dem erfindungsgemäßen Reaktor auch photochemische Reaktionen durchführen. Die spezielle Flüssigkeitsführung gewährleistet dabei eine nahezu 100%ige Verfügbarkeit der Flüssigkeit. Beispiele für photochemische Reaktionen sind Cycloadditionen, Radikalbildung und -umsetzung oder Dekompositionsreaktionen. Alle hierin aufgeführten Reaktionen und die nachfolgend beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten, sind gleichberechtigt mit dem erfindungsgemäßen Reaktor realisierbar bzw. durchführbar. Die hierin beispielhaft ausführlich beschriebene Nutzung des Reaktors für Gas/Flüssig-Reaktionen findet gleichermaßen auch auf alle anderen der oben beschriebenen Reaktionstypen Anwendung. Die beschriebene Gaskomponente kann durch eine oder in speziellen Anwendungen auch durch mehrere nicht mischbare Flüssigphasen bzw. Flüssigkeiten ersetzt sein.

[0038] Weitere Vorteile, Merkmale und Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Reaktors werden anhand der nachfolgenden Beschreibung einiger Beispiele und der dazugehörigen Figuren deutlich.

[0039] Fig. 1a, 1b zeigen schematische perspektivische Ansichten verschiedener Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Reaktors.

[0040] Fig. 2a, 2b zeigen schematische Ansichten alternativer Ausführungsformen von Halteinrichtungen für Führungsstrukturen im Reaktor von oben.

[0041] Fig. 2c zeigt eine schematische Ansicht einer wei-

teren alternativen Ausführungsform einer Halteeinrichtung für die Führungsstrukturen in dem Reaktor von vorne.

[0042] Fig. 3 zeigt eine schematische Teilansicht von zwei erfindungsgemäßen Führungsstrukturen mit dazwischen aufgespanntem Flüssigkeitsfilm.

[0043] Fig. 4a bis f zeigen Draufsichten auf die Führungsstrukturen aus Fig. 3 mit verschiedenen herstellbaren Formen des Flüssigkeitsfilms bzw. Tropfens.

[0044] Fig. 5a bis m zeigen Querschnittsansichten verschiedener erfindungsgemäßer Führungsstrukturen von oben.

[0045] Fig. 6 zeigt verschiedene Ansichten von als Hohlprofil ausgebildeten Führungsstrukturen.

[0046] Fig. 7a bis d zeigen verschiedene alternative Verlaufsformen der Führungsstrukturen über ihrer Länge.

[0047] Fig. 8a, 8b zeigen alternative Anordnungen der erfindungsgemäßen Führungsstrukturen.

[0048] Fig. 9a, 9b zeigen weitere alternative Anordnungen der erfindungsgemäßen Führungsstrukturen.

[0049] Fig. 10 zeigt eine schematische Darstellung zur Neigungseinstellung des Reaktors.

[0050] Fig. 11a, 11b zeigen Anwendungen für den erfindungsgemäßen Reaktor.

[0051] Fig. 12 zeigt eine beispielhafte Darstellung einer weiteren alternativen Anwendung für den erfindungsgemäßen Reaktor.

[0052] Fig. 13 zeigt verschiedene Ausführungsformen erfindungsgemäßer Führungsstrukturen mit oberflächenmodifizierten Bereichen.

[0053] Fig. 1a zeigt eine schematische perspektivische Ansicht einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Führungsstrukturreaktors 1 mit einem Reaktorgehäuse, welches eine Flüssigkeitseinlaßeinheit 2, Reaktorseitenwände 2' und eine Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' umfasst. Der Reaktor 1 ist in Fig. 1a geöffnet mit Blick in den Reaktorraum 7 dargestellt.

Die Flüssigkeitseinlaßeinheit 2 des Reaktorgehäuses weist eine Flüssigkeitseinlaßöffnung 4 für das Einleiten von Flüssigkeit 3 in das Gehäuse auf. Unterhalb der Flüssigkeitseinlaßeinheit sind in dem Reaktorgehäuse Führungsstrukturhalteteile 12 angeordnet, an denen die bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 als Drähte ausgebildeten Führungsstrukturen 6 befestigt sind. Die Führungsstrukturen 6 erstrecken sich in dem Reaktorraum 7 vom Flüssigkeitseinlaß in Richtung des Flüssigkeitsauslasses und können am Flüssigkeitsauslaß ebenfalls an entsprechenden Halte- 35

teilen oder an der Flüssigkeitsauslasseinheit befestigt sein. Sie können aber auch frei herabhängen. Die Führungsstrukturhalteteile 12 weisen Verteileröffnungen 5 auf, durch welche die eingeleitete Flüssigkeit 3 den Führungsstrukturen 6 zugeleitet wird. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1a sind die Führungsstrukturen 6 im wesentlichen parallel und mit gleichen Abständen zueinander angeordnet. Die Verteileröffnungen 5 sind jeweils im wesentlichen mittig über dem Abstand zwischen zwei Führungsstrukturen angeordnet. Flüssigkeit 3, die durch die Flüssigkeitseinlaßöffnung 4 in das Reaktorgehäuse eingeleitet wird, verteilt sich zunächst über dem plattenförmig ausgebildeten Führungsstrukturhalteteil 12 und fließt dann durch die Verteileröffnungen 5 in dem Führungsstrukturhalteteil 12 zu den Führungsstrukturen 6. Aufgrund der vertikalen Anordnung des Reaktors 1 und der Zuführung der Flüssigkeit 3 von oben wird die Flüssigkeit bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1a im wesentlichen durch die Schwerkraft angetrieben. Nach dem Austritt der Flüssigkeit 3 aus den Verteileröffnungen 5 wird die Flüssigkeit aufgrund der Adhäsionskräfte zunächst einmal an der Unterseite des Führungsstrukturhalteteils 12 und dann zu den jeweils benachbarten Führungsstrukturen unterhalb einer Verteileröffnung 5 geleitet. An den Flüssigkeits-

strukturen 6 spannt sich aufgrund der Adhäsionskräfte und der Oberflächenspannung der Flüssigkeit zwischen benachbarten Führungsstrukturen 6 ein Flüssigkeitsfilm 3a auf, der von der Schwerkraft angetrieben herab durch den Reaktorraum 7 in Richtung der Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' strömt.

[0054] Das Reaktorgehäuse der Ausführungsform gemäß Fig. 1 weist an den Seitenwänden jeweils zwei Reaktionsgaseinlaßöffnungen 10, 10' und zwei Reaktionsgasauslaßöffnungen 11, 11' auf. In der beispielhaften Darstellung gemäß Fig. 1a wird ein Reaktionsgas 9 durch die Reaktionsgaseinlaßöffnung 10 in das Reaktorgehäuse in den Reaktorraum 7 eingeleitet und durch die in vertikaler Richtung tiefer angeordnete Reaktionsgasauslaßöffnung 11' abgeführt. In diesem Beispiel sind die Öffnungen 10' und 11 verschlossen, jedoch können der Gaseinlaß und der Gasauslaß auch an beliebigen Kombinationen der Öffnungen 10, 10', 11 und 11' erfolgen. Es können auch beispielsweise verschiedene Gase durch die Reaktionsgaseinlaßöffnungen 10 bzw. 10' gleichzeitig oder nacheinander eingeführt und durch die Reaktionsgasauslaßöffnungen 11 bzw. 11' abgeführt werden. Anstelle eines Reaktionsgases 9 kann auch ein inertes Gas als Schutzgas eingeleitet werden.

[0055] Am unteren Ende des Reaktorgehäuses befindet sich die Flüssigkeitsauslaßeinheit 2''. Fig. 1a zeigt hiervon zwei verschiedene Ausführungsvarianten. Die in der linken Hälfte der Abbildung dargestellte Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' ist im Inneren des Reaktors mit schräg in Richtung einer einzigen mittig angeordneten Flüssigkeitsauslaßöffnung 4' zusammenlaufenden Innenflächen versehen. Die in der rechten Hälfte der Abbildung dargestellte Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' (alternative Ausführungsform) weist mehrere Flüssigkeitsauslaßöffnungen 4' unmittelbar unterhalb der einzelnen Führungsstrukturen 6 auf. Nachdem die Flüssigkeit 3 bzw. der Flüssigkeitsfilm 3a den Reaktorraum 7 durchlaufen hat, wobei beispielsweise eine Umsetzung mit dem Reaktionsgas 9 stattgefunden hat, wird die Flüssigkeit an der Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' je nach Ausführungsform durch die Flüssigkeitsauslassöffnung/en 4' bzw. 4'' abgeführt.

[0056] Fig. 1b zeigt eine alternative Ausführungsvariante zu Fig. 1a, bei der die Führungsstrukturen 6 alle die gleiche Länge besitzen und an einem unteren Führungsstrukturhalteteil 12' befestigt sind. Das untere Führungsstrukturhalteteil 12' ist entsprechend dem oberen Führungsstrukturhalteteil 12 mit Bohrungen für den Ablauf der Flüssigkeit versehen. Das untere Führungsstrukturhalteteil 12' kann für ein Vorspannen der Führungsstrukturen 6 in vertikaler Richtung verschiebbar sein. Die Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' am unteren Ende des Reaktorgehäuses ist in zwei unterschiedlichen Ausführungsvarianten dargestellt. Beide Ausführungsvarianten sind im Inneren des Reaktors mit schräg in Richtung einer einzigen mittig angeordneten Flüssigkeitsauslaßöffnung 4' zusammenlaufenden Innenflächen versehen. Die in der linken Hälfte der Abbildung dargestellte Ausführungsvariante weist eine steiler verlaufende Schräge zur Flüssigkeitsauslaßöffnung 4' hin auf als die in der rechten Hälfte der Abbildung dargestellte Flüssigkeitsauslaßeinheit 2'' (alternative Ausführungsform).

[0057] Die Fig. 2a und 2b zeigen zwei verschiedene Ausführungsformen von Führungsstrukturhalteteilen 12a und 12b mit jeweils daran befestigten Führungsstrukturen 6, wobei jeweils die Führungsstrukturhalteteile 12b in Richtung der in den Figuren dargestellten Pfeile beweglich angeordnet sind. Durch die Bewegung der Führungsstrukturhalteteile 12b läßt sich die Position der daran befestigten Führungsstrukturen gegenüber den an den Führungsstrukturhalteteilen 12a befestigten Führungsstrukturen verändern. Das

Führungsstrukturhalteteil **12b** aus **Fig. 2a** ist senkrecht zum Führungsstrukturhalteteil **12a** von diesem weg bzw. zu diesem hin bewegbar, wodurch sich der Abstand der einander gegenüberliegenden Führungsstrukturen **6** variabel einstellen läßt. Für die Bewegbarkeit der Führungsstrukturhalteteile **12b** sind Einstellmechanismen **13** daran vorgesehen. Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 2b** ist das Führungsstrukturhalteteil **12b** parallel zu dem Führungsstrukturhalteteil **12a** verschiebbar ausgebildet. Durch einen entsprechenden Einstellmechanismus, dessen Konstruktion im Bereich des handwerklichen Könnens des Fachmanns liegt, lassen sich auch beide Bewegungsrichtungen gleichzeitig realisieren (nicht dargestellt). Durch die Veränderung der Position des beweglichen Führungsstrukturhalteteils **12b** bzw. der daran befestigten Führungsstrukturen **6** gegenüber den Führungsstrukturen **6** am Führungsstrukturhalteteil **12a** lassen sich Form und Dicke der zwischen benachbarten Führungsstrukturen **6** ausgebildeten Flüssigkeitsfilme verändern.

[0058] **Fig. 2c** zeigt von vorne zwei Führungsstrukturen **6** mit dazwischen strömendem Flüssigkeitsfilm **3a**, wobei die Führungsstrukturen **6** an Führungsstrukturhalteteilen **12a**, **12b**, **12c** und **12d** befestigt sind. Die Führungsstrukturhalteteile **12b** und **12d** lassen sich in der in **Fig. 2c** horizontalen Richtung gegenüber den Führungsstrukturhalteteilen **12a** und **12c** verschieben, was durch entsprechende Doppelpfeile dargestellt ist, welche Einstellmechanismen **13** repräsentieren. Darüber hinaus lassen sich die Führungsstrukturhalteteile **12c** und **12d** in vertikaler Richtung **Y** verschieben, wodurch sich die Vorspannung der Führungsstrukturen **6** verändern läßt.

[0059] **Fig. 3** ist eine schematische Teilansicht zweier Führungsstrukturen **6** mit daran entlangströmender Flüssigkeit **3**, die aufgrund von Adhäsionskräften an den Führungsstrukturen **6** haftet und zwischen diesen einen Flüssigkeitsfilm **3a** aufspannt. Die Länge **L** der Führungsstrukturen **6** ist variabel wählbar, und der Abstand **X** zwischen diesen Führungsstrukturen ist frei einstellbar. **Fig. 3** verdeutlicht, wie ein Reaktionsgas **9** die an den Führungsstrukturen **6** entlangströmende Flüssigkeit **3** und den dazwischen aufgespannten Flüssigkeitsfilm **3a** allseitig anströmen kann.

[0060] **Fig. 4** zeigt eine Draufsicht zweier Führungsstrukturen **6**, wie sie in **Fig. 3** dargestellt sind. Die **Fig. 4a** bis **f** verdeutlichen verschiedene mögliche Formen, welche die Flüssigkeit als Flüssigkeitsfilm **3a** (**Fig. 4a** bis **d**) bzw. als Tropfen (**Fig. 4e** und **f**) annehmen kann. Die Form des Flüssigkeitsfilmes **3a** bzw. die Ausbildung von Tropfen werden maßgeblich vom Abstand der Führungsstrukturen **6** und den Eigenschaften der Flüssigkeit selbst, wie Viskosität, Dichte, Kapillarkräfte und Oberflächenspannung, beeinflusst. Des Weiteren beeinflusst das Material der Führungsstrukturen und dessen Oberflächenrauheit die Ausbildung des Flüssigkeitsfilmes bzw. der Tropfen. **Fig. 4a** zeigt eine konkave Form des Flüssigkeitsfilmes **3a**. **Fig. 4b** zeigt eine gewölbte Form des Flüssigkeitsfilmes **3a**, die sowohl hängend als auch aufliegend transportiert werden kann. **Fig. 4c** zeigt einen Flüssigkeitsfilm mit im wesentlichen parallelen einander gegenüberliegenden Flüssigkeitsoberflächen. **Fig. 4d** zeigt eine ovale Form des Flüssigkeitsfilmes **3a**. **Fig. 4e** zeigt die Tropfenführung zwischen zwei Führungsstrukturen, wobei die Tropfen auf den Führungsstrukturen aufliegend oder an diesen hängend transportiert werden können. **Fig. 4f** zeigt die Tropfenführung an nur einer Führungsstruktur.

[0061] **Fig. 5a** bis **m** zeigt verschiedene erfindungsgemäß geeignete Führungsstrukturen im Querschnitt von oben. Die erfindungsgemäß besonders bevorzugte Form ist der kreisförmige Querschnitt (**Fig. 5a**). Weitere geeignete Formen sind ein quadratisches Querschnittsprofil (**Fig. 5b**), ein

sechseckiges Querschnittsprofil (**Fig. 5c**), ein rechteckiges Querschnittsprofil (**Fig. 5e**), eine Rautenform (**Fig. 5f**), eine elliptische oder ovale Form (**Fig. 5g**) oder eine Dreiecksform (**Fig. 5h**). Eine runde Form mit einem Steg (**Fig. 5d**) kann bei zwei benachbarten Führungsstrukturen geeignet sein, um den Flüssigkeitsfilm sehr dünn bis zu wenigen Mikrometern Dicke einstellen zu können. Die Anströmfläche für das Gas auf den Flüssigkeitsfilm kann hier beidseitig etwa waagrecht eingestellt werden. Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 5i** sind drei gleichmäßig verteilte Stege um einen gemeinsamen Mittelpunkt um 120° versetzt angeordnet. Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 5k**, welche derjenigen aus **Fig. 5i** ähnelt, sind die Stege mittig nochmals abgelenkt. **Fig. 5l** zeigt eine Querschnittsform eines gleichmäßigen Rhombus mit runden Ecken und nach innen gewölbten Seitenflächen. **Fig. 5m** zeigt ein Querschnittsprofil mit einer Kreuzform mit abgerundeten Ecken.

[0062] **Fig. 6** zeigt eine erfindungsgemäße alternative Ausführungsform der Führungsstrukturen **6**, welche hier als Hohlprofile ausgebildet und auf der linken Seite in **Fig. 6** im Querschnitt von oben und auf der rechten Seite schematisch im Querschnitt von der Seite dargestellt sind. Zwischen den als Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen **6** ist ein herabströmender Flüssigkeitsfilm **3a** dargestellt. Zur Beheizung der Führungsstrukturen **6** kann der Hohlraum darin mit einem flüssigen oder gasförmigen Heiz- oder Kühlmedium **14** durchströmt werden. Zusätzlich oder alternativ dazu können in dem Hohlraum einiger der Führungsstrukturen **6** Sensoren **15**, wie Drucksensoren oder Temperatursensoren, untergebracht sein.

[0063] Die **Fig. 7a** bis **d** zeigen alternative Anordnungen der Führungsstrukturen für eine parallele Führung (**Fig. 7a**), eine zickzackförmige Führung (**Fig. 7b**), eine kurvenförmige Führung (**Fig. 7c**) und eine schraubenförmige Führung (**Fig. 7d**) des Flüssigkeitsfilmes. Die Führungswege gemäß den **Fig. 7b** bis **d** erlauben eine Verweilzeitverlängerung der Flüssigkeit in dem Reaktor durch Verlängerung der Wegstrecke.

[0064] In den **Fig. 8a** und **b** sind alternative Anordnungen der Führungsstrukturen **6** in Dreiecksanordnung (**Fig. 8a**) bzw. Vierecksanordnung (**Fig. 8b**) dargestellt. Die Abstände der benachbarten, jeweils ein Dreieck bzw. ein Viereck bildenden Führungsstrukturen **6** sind im wesentlichen gleich, so daß sich zwischen allen benachbarten Führungsstrukturen mit gleichen Abständen Flüssigkeitsfilme **3a** aufspannen und dabei einen von Flüssigkeit umgebenen Kanal ausbilden. Die Flüssigkeitsfilme werden von außen von einem Gas **9** umströmt, wobei auch in dem von Flüssigkeit gebildeten Kanal ein Gas **9a** strömen kann. Die Gase **9** und **9a** können gleich oder verschieden sein.

[0065] Die **Fig. 9a** und **9b** zeigen weitere alternative Anordnungen von Führungsstrukturen **6** in einem Reaktorgehäuse. Gemäß **Fig. 9a** sind mehrere Führungsstrukturen in zwei konzentrischen Kreisen bzw. Vielecken angeordnet, wobei benachbarte Führungsstrukturen **6** eines Kreises im wesentlichen gleiche Abstände haben und sich jeweils zwischen zwei benachbarten Führungsstrukturen Flüssigkeitsfilme aufspannen. Die Flüssigkeitsfilme sind von Reaktionsgas **9** und **9a** umströmt, wobei das in dem Raum zwischen den beiden konzentrischen Kreisen strömende Gas **9a** das gleiche oder ein anderes Gas sein kann als das Gas **9**. **Fig. 9b** zeigt eine alternative Ausführungsform, wobei auch die Führungsstrukturhalteteile **12** dargestellt sind.

[0066] **Fig. 10** ist eine schematische Darstellung der stufenlosen Neigungseinstellung des erfindungsgemäßen Reaktors **1** um eine Drehachse **16**, wobei der Reaktor **1** auf der linken Seite in **Fig. 10** vertikal und auf der rechten Seite in **Fig. 10** horizontal angeordnet ist. Jeder Neigungswinkel

zwischen 0° und 90° zur Horizontalen ist einstellbar. Auf diese Weise läßt sich die Flüssigkeitsführung in dem Reaktor, insbesondere der Einfluß der Schwerkraft auf den Antrieb der Flüssigkeit, variieren.

[0067] Fig. 11a zeigt schematisch die Anordnung mehrerer erfindungsgemäßer Reaktoren **1**, wobei zwei parallel angeordnete Reaktoren **1**, gefolgt von einer Mischeinheit **17** und einem sich daran anschließenden weiteren Reaktor **1** dargestellt sind. Diese Reaktoren **1** können gleich oder unabhängig voneinander mit gleichen oder verschiedenen Antriebsmöglichkeiten für die zugeführten Flüssigkeiten bzw. Medien betrieben werden.

[0068] Fig. 11b zeigt zwei in Reihe angeordnete erfindungsgemäße Reaktoren **1**, deren Neigung über Drehachsen **16** individuell verstellbar ist.

[0069] Fig. 12 zeigt eine Gesamtanordnung, bei der eine oder mehrere, gleiche oder verschiedene flüssige Medien L1, L2 über Druckwächter **18** zu einer Mischeinheit **17** transportiert und anschließend in den erfindungsgemäßen Reaktor eingeleitet werden. Dem Reaktor können Reaktionsgase oder Reaktionsflüssigkeiten über die Ein- und Auslassöffnungen g1 bis g6 zu- bzw. abgeführt werden. Nach Austritt der umgesetzten Flüssigkeit wird diese einer Verweilstrecke **19** und anschließend über Ventile **20** einem Gaschromatographen **21** zugeführt. Ein nachgeschalteter Druckwächter **18** kann hierbei eine Steuerfunktion übernehmen, um gegebenenfalls die Flüssigkeitszuführungen zu nachgeschalteten Anordnungen zu steuern.

[0070] Fig. 13 zeigt verschiedene Ausführungsformen von erfindungsgemäßen Führungsstrukturen **6** mit Bereichen unterschiedlicher Benetzbarkeit **22**, **23** für die eingesetzte Flüssigkeit. Die Bereiche besserer Benetzbarkeit **22** erstrecken sich in Bahnen über die gesamte Länge der Führungsstrukturen **6**. Dazwischen verlaufen Bereiche schlechterer Benetzbarkeit **23**. Fig. 13a zeigt eine Führungsstruktur **6** mit nur einer Bahn besserer Benetzbarkeit **22** von vorne und von oben. Entsprechend zeigt Fig. 13 eine Führungsstruktur **6** mit mehreren parallel angeordneten Bahnen besserer Benetzbarkeit **22** von vorne und von oben. Zwischen benachbarten Führungsstrukturen **6** spannen sich Flüssigkeitsfilme **3a** zwischen den besser benetzbaren Bereichen **22** auf. Die schlechter benetzbaren Bereiche **23** bleiben von Flüssigkeit im wesentlichen frei. Die Ausführungsform gemäß Fig. 13b erlaubt auch das Hindurchleiten eines Gases oder einer weiteren Flüssigkeit durch die von zwei Flüssigkeitsfilmen und den benachbarten Führungsstrukturen gebildeten Kanäle. Es ist klar, dass die Führungsstrukturen gemäß den Fig. 13a und 13b auch auf ihren Rückseiten mit entsprechenden Bahnen **22** und **23** versehen sein können, so dass mehrere Führungsstrukturen hintereinander mit sich dazwischen aufspannenden Flüssigkeitsfilmen angeordnet sein können. Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 13c sind die Führungsstrukturen zusätzlich noch auf angrenzenden Seitenflächen mit Bahnen besserer und schlechterer Benetzbarkeit versehen. Dies erlaubt die Anordnung von vier Führungsstrukturen, wobei sich jeweils zwischen zwei benachbarten Führungsstrukturen Flüssigkeitsfilme unter Ausbildung eines größeren Kanals aufspannen. Durch diesen Kanal kann ein Reaktionsgas oder auch eine Flüssigkeit geleitet werden.

Bezugszeichenliste

1 Führungsstrukturreaktor
2 Flüssigkeitseinlasseinheit
2' Reaktorseitenwände
2" Flüssigkeitsauslasseinheit
3 Flüssigkeit

3a Flüssigkeitsfilm
4 Flüssigkeitseinlassöffnung
4', 4" Flüssigkeitsauslassöffnung
5 Verteileröffnungen
6 Führungsstruktur
7 Reaktionsraum
9 Reaktionsgas
10, 10' Reaktionsgaseinlassöffnungen
11, 11' Reaktionsgaseinlassöffnungen
12, 12' Führungsstrukturhalteteil
13 Einstellmechanismus
14 Heiz- oder Kühlmedium
15 Sensoren
17 Mischeinheit
18 Druckwächter
19 Verweilstrecke
20 Ventil
21 Gaschromatograph
22 oberflächenmodifizierte Bereiche besserer Benetzbarkeit
23 oberflächenmodifizierte Bereiche schlechterer Benetzbarkeit

Patentansprüche

1. Reaktor mit Führungsstrukturen für die Erzeugung und Leitung von Flüssigkeitsfilmen (**3a**) oder Flüssigkeitstropfen durch eine Reaktionsstrecke in einem Reaktorgehäuse, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Führungsstrukturen (**6**) als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildet sind und sich in dem Reaktorgehäuse von einer Flüssigkeitszuführung in Richtung zu einem Flüssigkeitsauslass erstrecken.
2. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils wenigstens zwei benachbarte der als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen (**6**) im wesentlichen parallel und in einem Abstand zueinander angeordnet sind.
3. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils wenigstens zwei benachbarte der als Drähte, Stäbe, Strangprofile, Streifen, Bänder oder Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen (**6**) in Längsrichtung von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass mit zunehmendem oder abnehmendem Abstand zueinander angeordnet sind.
4. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand so gewählt ist, dass die Flüssigkeit zwischen den benachbarten Führungsstrukturen einen zusammenhängenden Flüssigkeitsfilm ausbilden kann.
5. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum variablen Einstellen des Abstandes zwischen benachbarten Führungsstrukturen vorgesehen sind.
6. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen im Querschnitt senkrecht zur Längsachse eine Kreisform, eine elliptische Form, eine quadratische Form, eine rechteckige Form, eine gleichschenklige oder ungleichschenklige dreieckige Form, eine fünfeckige, eine sechseckige, eine Rautenform, eine gleichmäßige Rhombusform mit gerundeten Ecken und konkav gewölbten Seitenflächen, eine Kreuzform, eine Kreuzform mit gerundeten Ecken oder eine Sternform mit sich radial von einem gemeinsamen Mittelpunkt nach außen erstreckenden Stegen, wobei die Stege gerade, gekrümmt oder abge-

knickt sein können, aufweisen.

7. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen in Längsrichtung von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass geradlinig verlaufen. 5

8. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen in Längsrichtung von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass zick-zack-förmig, gekrümmt oder schraubenförmig verlaufen. 10

9. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einige der Führungsstrukturen in dem Reaktor als Hohlprofile ausgebildet sind.

10. Reaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an wenigstens einigen der als Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen Zuleitungen und Ableitungen für das Hindurchleiten eines Kühl- oder Heizfluides durch die Führungsstrukturen vorgesehen sind. 15

11. Reaktor nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass in wenigstens einigen der als Hohlprofile ausgebildeten Führungsstrukturen Sensoren, vorzugsweise Drucksensoren und/oder Temperatursensoren, vorgesehen sind. 20

12. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen elektrisch leitend ausgebildet sind und Anschlüsse für das Verbinden der Führungsstrukturen mit einer Stromquelle, wobei jeweils zwei benachbarte Führungsstrukturen entgegengesetzte Polung für das Hindurchleiten eines elektrischen Stromes durch einen zwischen den Führungsstrukturen ausgebildeten Flüssigkeitsfilm aufweisen. 30

13. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktorgehäuse als geschlossenes Gehäuse ausgebildet ist und Zuleitungen (10) und Ableitungen (11) für das Hindurchleiten von Gas oder Flüssigkeit, vorzugsweise Gas, durch das Reaktorgehäuse aufweist. 35

14. Reaktor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuleitungen (10) und Ableitungen (11) so angeordnet sind, dass ein durch das Reaktorgehäuse hindurchgeleitetes Gas oder eine Flüssigkeit im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung der Führungsstrukturen strömt. 40

15. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Führungsstrukturen in dem Reaktorgehäuse von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass bezüglich der Vertikalen abwärts erstrecken. 50

16. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen in dem Reaktorgehäuse von der Flüssigkeitszuführung in Richtung zu dem Flüssigkeitsauslass im wesentlichen vertikal angeordnet sind. 55

17. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorgehäuse an oder in der Nähe wenigstens einiger, vorzugsweise aller der Führungsstrukturen Vorrichtungen zur Erzeugung eines elektrischen Wechselfeldes vorgesehen sind. 60

18. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorgehäuse Vorrichtungen zur Erzeugung eines elektrischen Feldes über die Länge der Führungsstrukturen vorgesehen sind. 65

19. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorgehäuse an

wenigstens einigen, vorzugsweise allen der Führungsstrukturen Mittel zur Erzeugung eines Temperaturprofils in den Führungsstrukturen über ihre Länge oder zur Erzeugung von lokaler Aufheizung der Führungsstrukturen vorgesehen sind.

20. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorgehäuse an oder in der Nähe wenigstens einiger, vorzugsweise aller der Führungsstrukturen Mittel zur Erzeugung eines Temperaturprofils in der an den Führungsstrukturen entlangströmenden Flüssigkeit oder zur Erzeugung von lokaler Aufheizung der Flüssigkeit vorgesehen sind.

21. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsstrukturen in dem Reaktorgehäuse vorgespannt sind.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

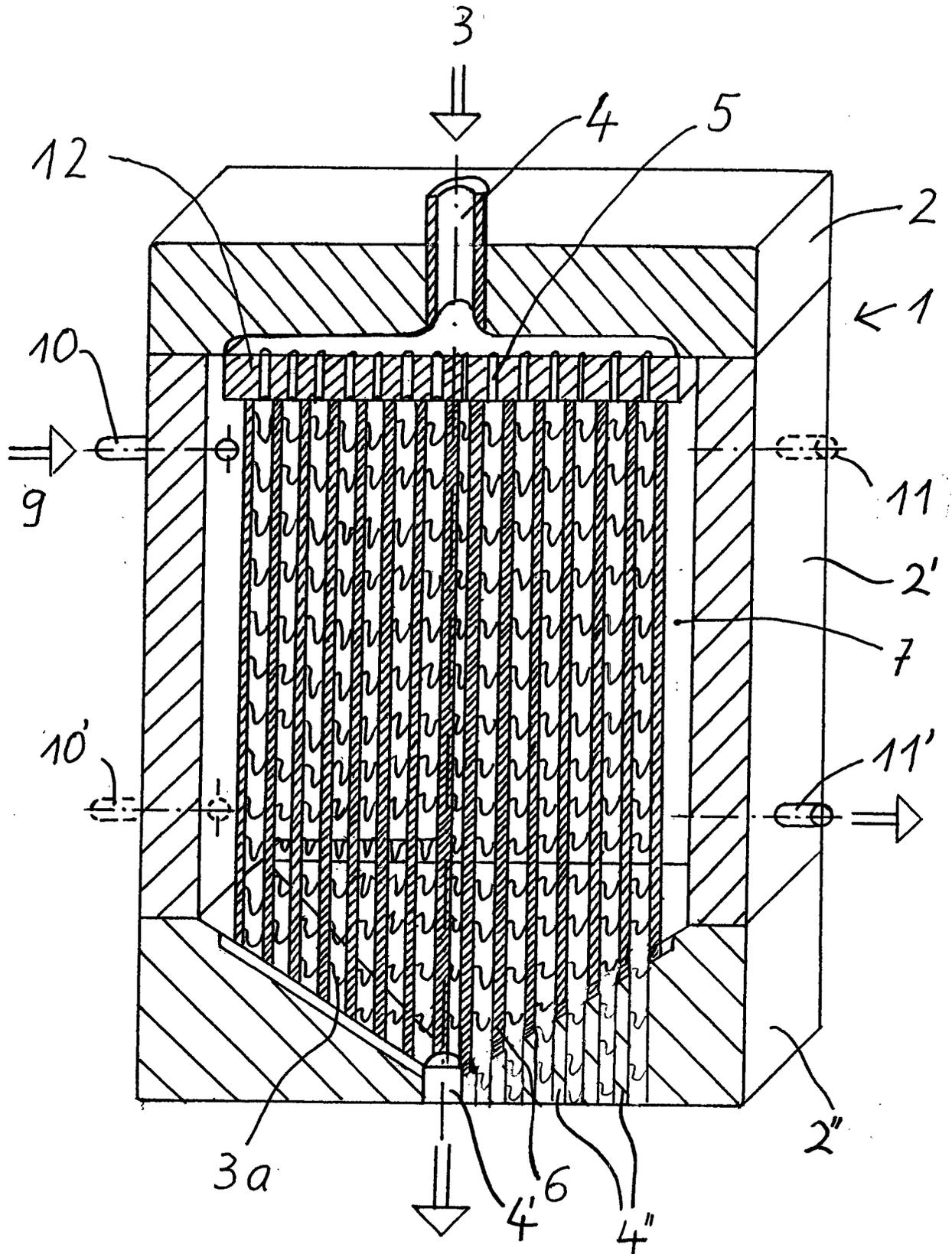


Fig. 1a

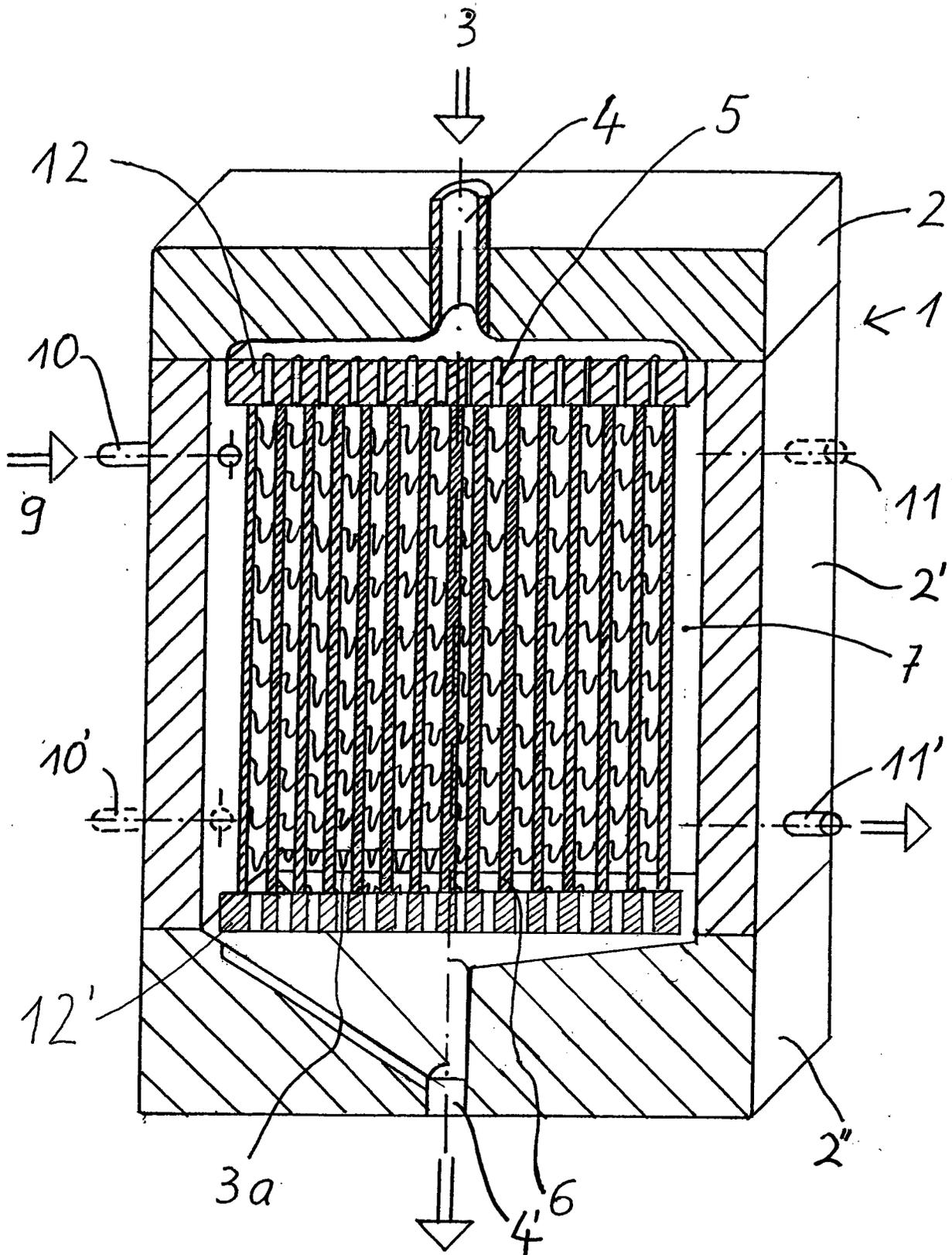


Fig. 1b

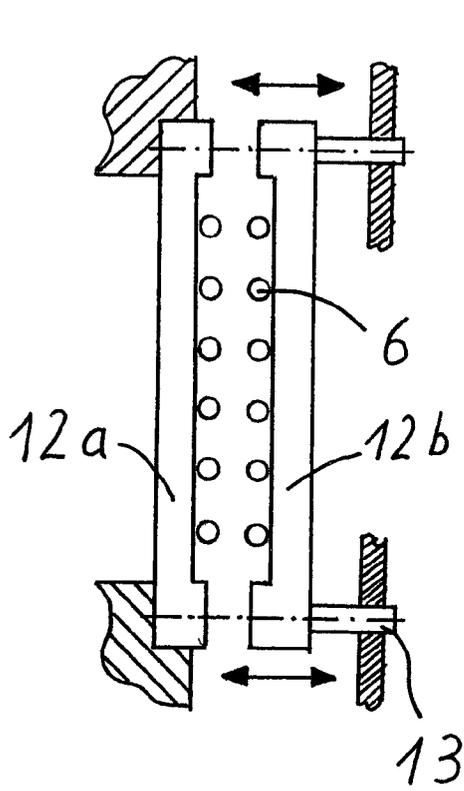


Fig. 2a

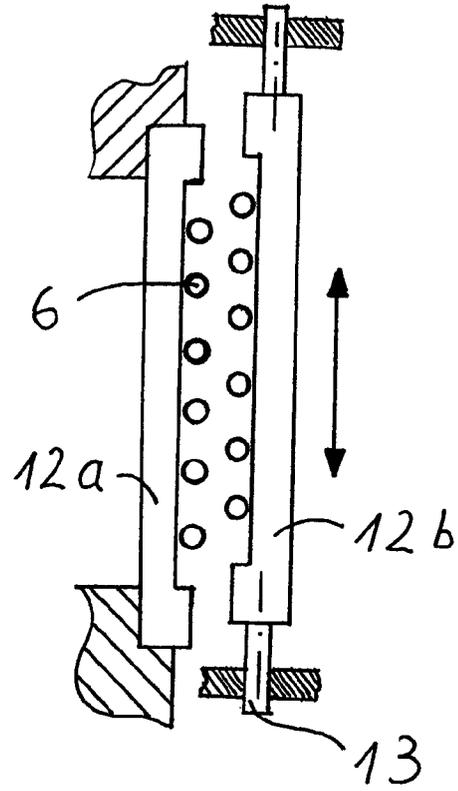


Fig. 2b

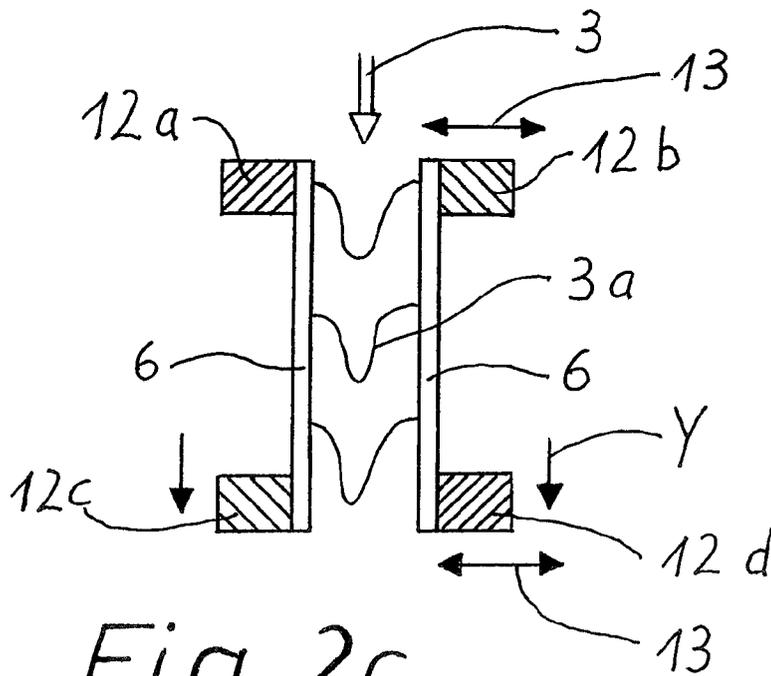


Fig. 2c

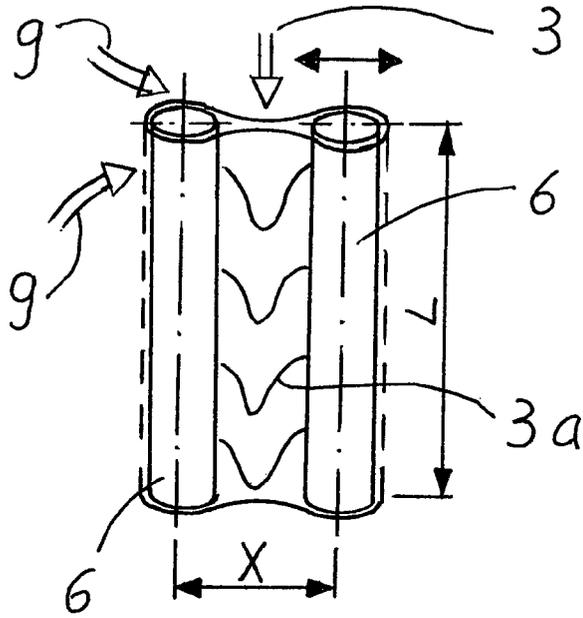


Fig. 3

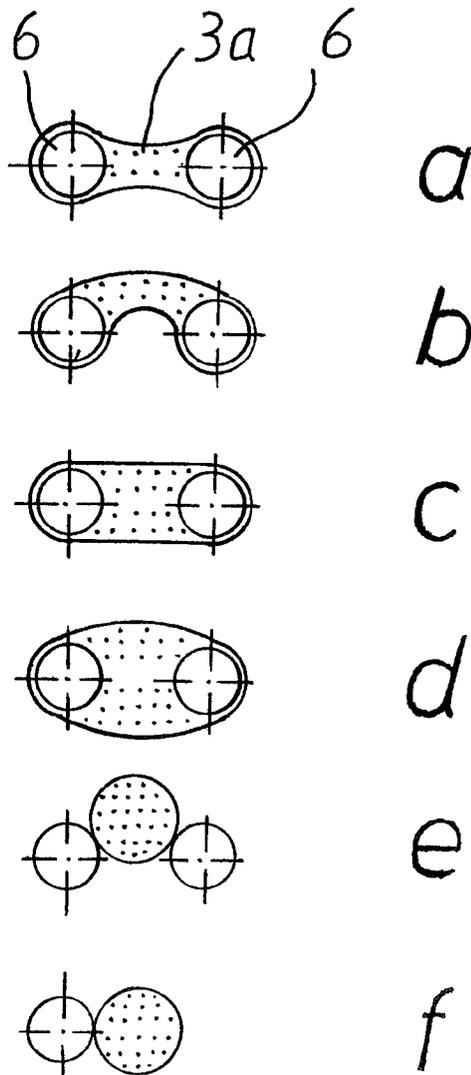


Fig. 4

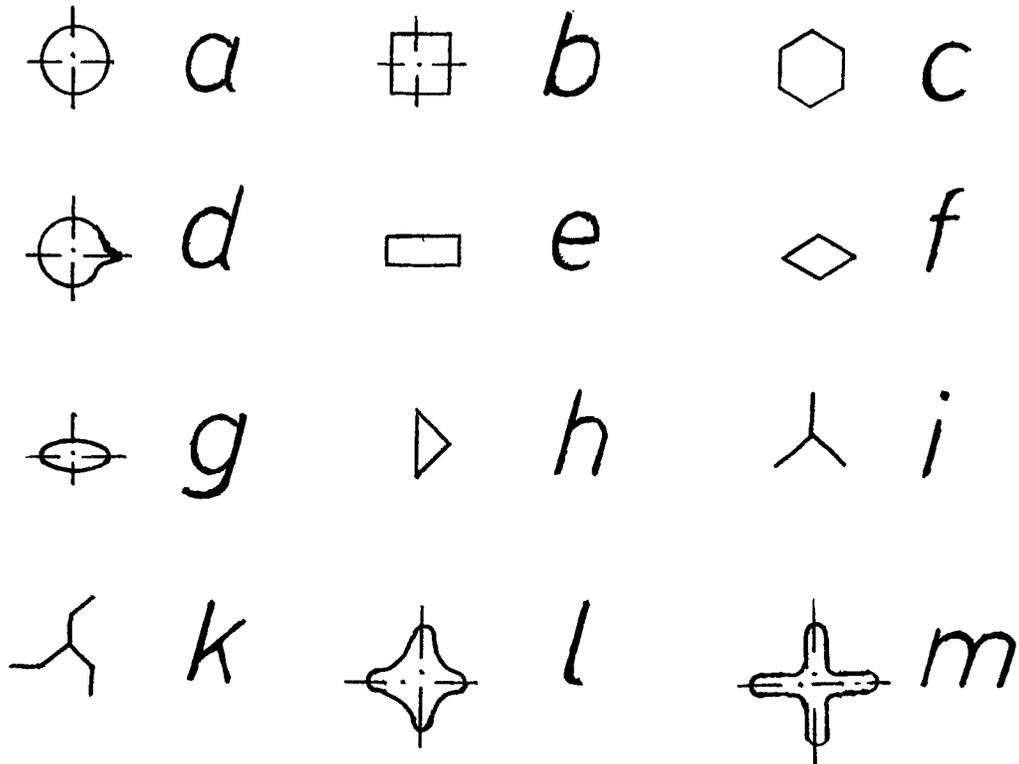


Fig. 5

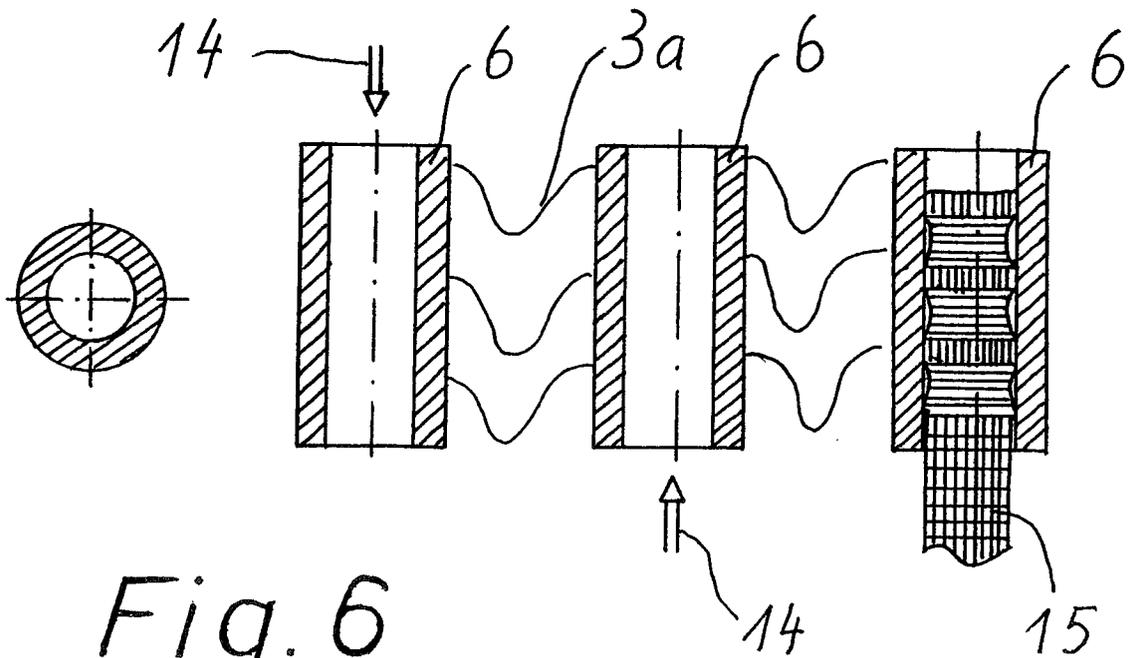


Fig. 6

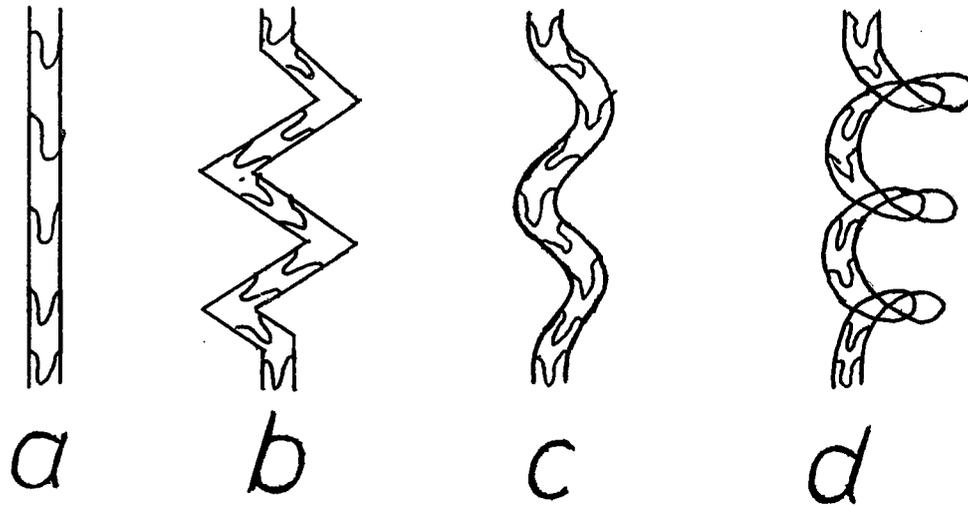


Fig. 7

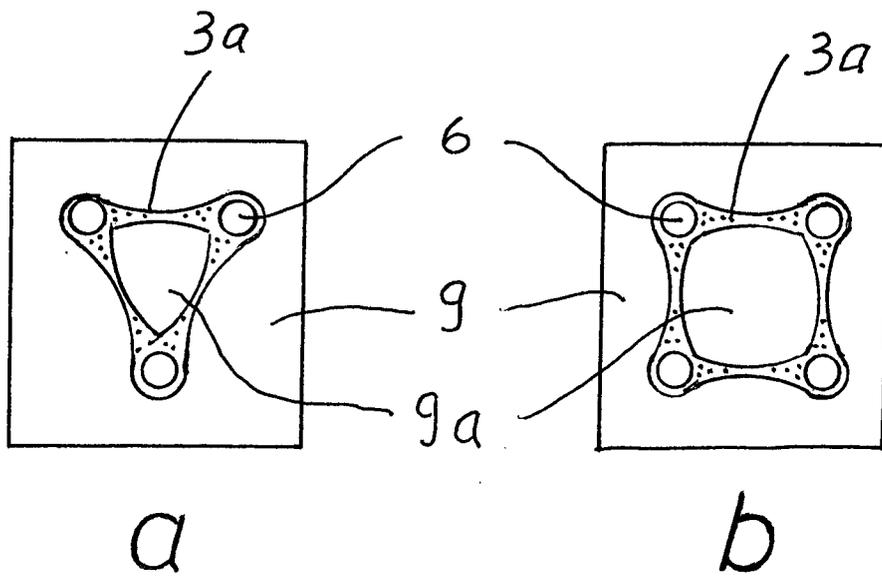


Fig. 8

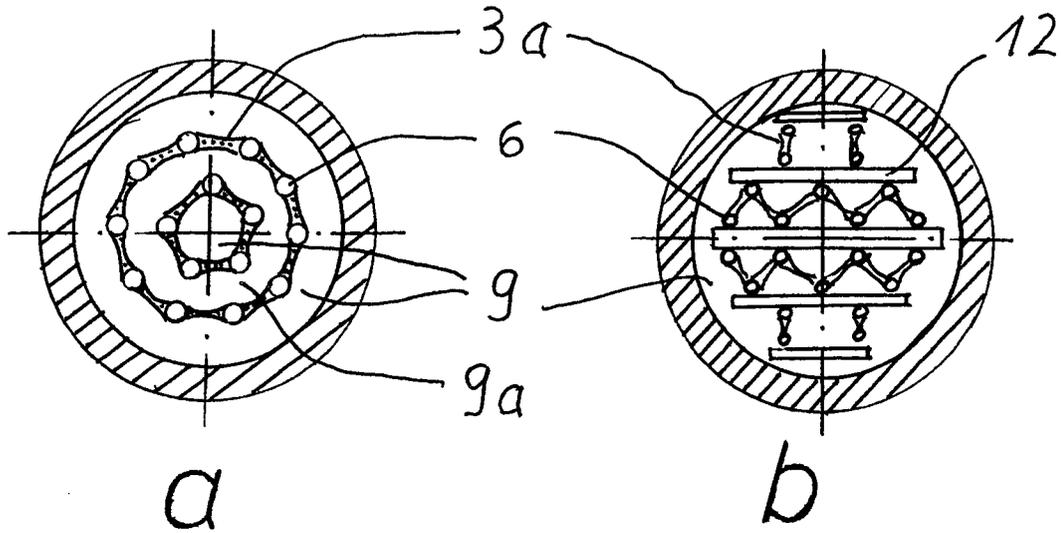


Fig. 9

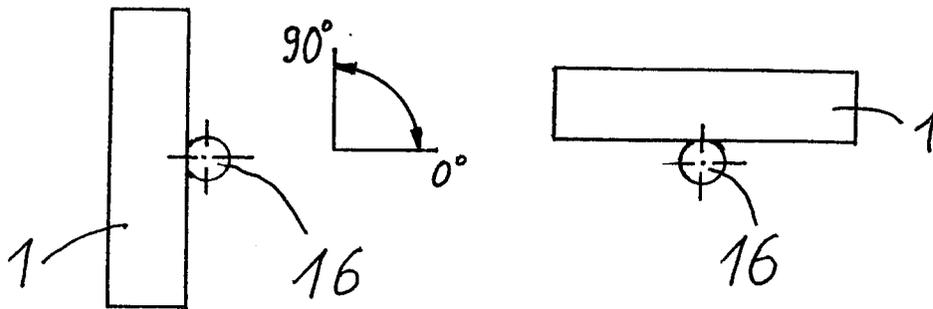


Fig. 10

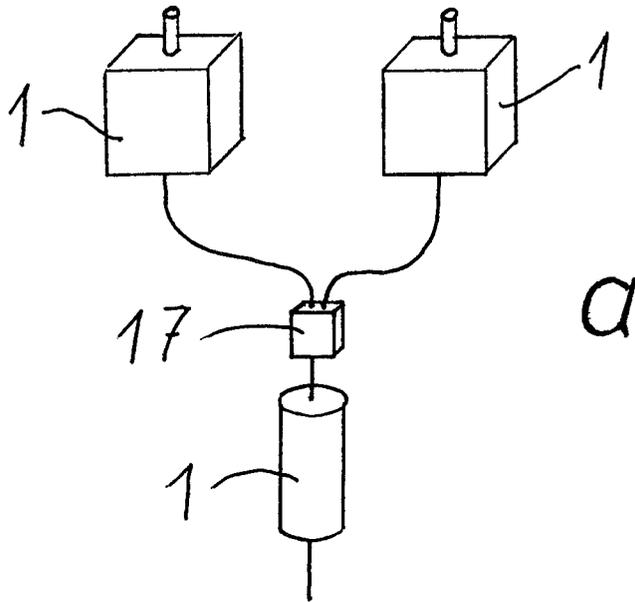
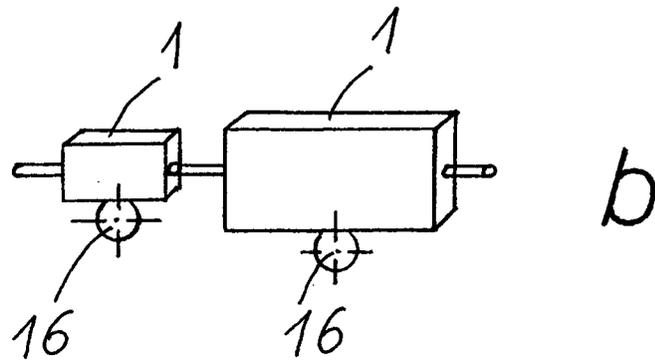


Fig. 11



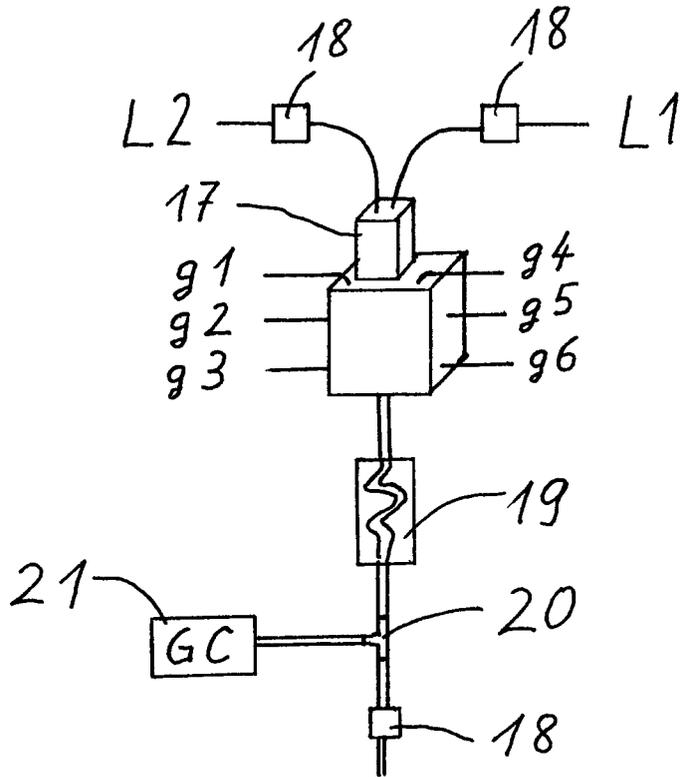


Fig.12

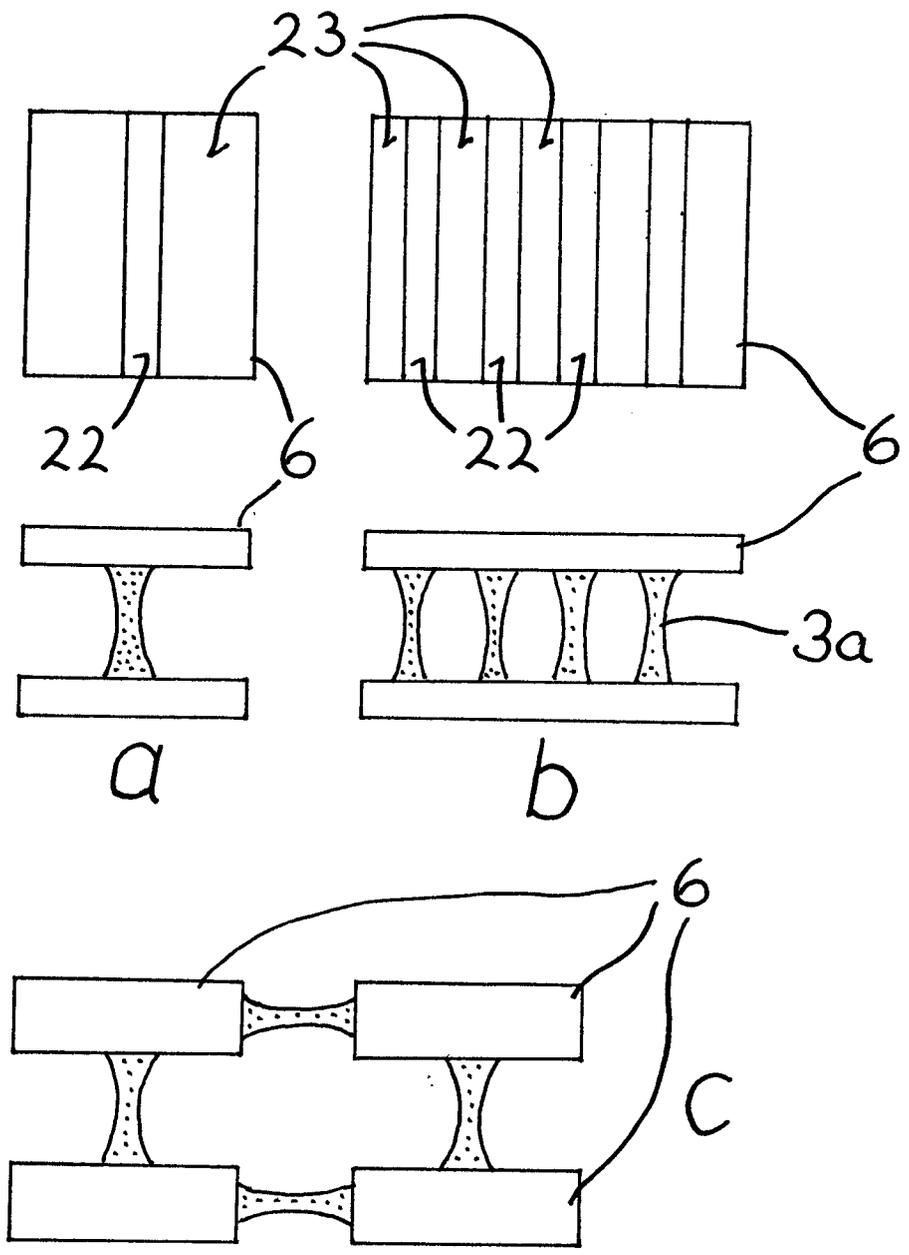


Fig. 13