



(10) **DE 10 2009 013 138 A1** 2010.09.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 013 138.8**

(22) Anmeldetag: **13.03.2009**

(43) Offenlegungstag: **16.09.2010**

(51) Int Cl.⁸: **B01D 53/22** (2006.01)

(71) Anmelder:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

(72) Erfinder:
Baune, Michael, Dr. rer. nat., 28215 Bremen, DE;
Thöming, Jörg, Prof. Dr., 28355 Bremen, DE;
Okoth, George, 28215 Bremen, DE; Varesi,
Andreas, 80469 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2005 055675 B3

Hans-Jochen Foth: Diffusion. In: Römpp Online.
Stand August 2006

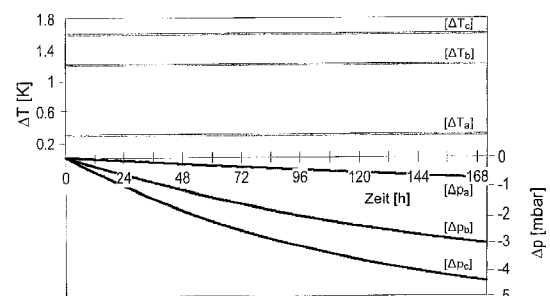
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Gasanreicherung oder Erzeugung mechanischer Leistung sowie Verfahren dafür**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung, welche umfasst:

- einen ersten Behälter und einen zweiten Behälter,
- eine zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter angeordnete Kapillareinrichtung mit einer oder mehreren Kapillaren, wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren den ersten Behälter mit dem zweiten Behälter verbindet, und wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren sich vom zweiten Behälter in Richtung auf den ersten Behälter zumindest abschnittsweise verjüngt,
- Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die insbesondere zur Gasanreicherung oder zur Erzeugung mechanischer Leistung mittels eines Gases geeignet ist, sowie entsprechende Verfahren.

[0002] Eine solche gattungsgemäße Vorrichtung ist aus der DE 10 2005 055 675 B3 bekannt. Die dort beschriebene Vorrichtung umfasst beispielsweise zwei Behälter, die über eine Kapillareinrichtung miteinander verbunden sind. Die Kapillareinrichtung umfasst eine oder mehrere Kapillaren, wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren sich von einer Seite zur anderen Seite der Kapillareinrichtung zumindest abschnittsweise verjüngt.

[0003] Die Permeation von Gasen in Poren kann durch die drei seit Jahrzehnten bekannten Mechanismen der Gaspermeation, nämlich Größenausschluß, Lösungsdiffusion und Knudsendiffusion, beschrieben werden. Die ersten zwei werden unter anderem in der Membrantrennung genutzt. Bei der Trennung durch Größenausschluß werden Molsiebe mit einer Porenweite deutlich unter 1 Nanometer eingesetzt. Die mitunter sehr spezifische Trennung führt zu sehr hohen Selektivitäten bei gleichzeitig geringer Permeabilität. Bei der Lösungsdiffusion löst sich das Gas in einem Polymergewebe auf und diffundiert. Je nach Polymer kann hier ein großer Bereich an Selektivitäten und Permeabilitäten abgedeckt werden, wobei eine Verbesserung der einen Größe immer zu Lasten der anderen geht.

[0004] Werden die Behälter im Stand der Technik mit einem Gas oder einem Gasgemisch gefüllt, so zeigen die Gase an der Kapillareinrichtung unterschiedliches Verhalten und durchlaufen die Kapillare insbesondere unterschiedlich schnell. Dies kann zum einen in der Anreicherung einer Gaskomponente eines Gasgemisches in einem der Behälter resultieren, zum anderen in einer Druckdifferenz zwischen den beiden Behältern, die zur Erzeugung einer mechanischen Leistung eingesetzt werden kann. Bezüglich der genaueren Funktionsweise der Vorrichtung aus dem Stand der Technik wird auf die DE 10 2005 055 675 B3 verwiesen.

[0005] Wesentlich für die in der DE 10 2005 055 675 B3 beschriebene Vorrichtung ist, dass der minimale Querschnitt von jeder der einen oder mehreren Kapillaren mindestens in einer Richtung kleiner ist als die vorbestimmte mittlere freie Weglänge des Gases. Die Geometrie der Poren und die Unterschiede in den mittleren freien Weglängen der Gase eines Gasgemisches sollen dabei ausreichen, um einen gewünschten Effekt zu erzielen.

[0006] Es wurde jedoch nun ferner festgestellt, dass

zum Betrieb der Vorrichtung aus dem Stand der Technik zum einen keine Triebkraft vorhanden ist, die ein mit der Vorrichtung durchzuführendes Verfahren antreibt. Zum anderen wurde festgestellt, dass die mit der Vorrichtung aus dem Stand der Technik erreichbare Gasanreicherung bzw. Erzeugung mechanischer Leistung noch unzureichend ist. Ferner hat sich bei Einsatz der im Stand der Technik beschriebenen Vorrichtung gezeigt, dass die dort beschriebene Geometrie der Kapillareinrichtung nicht zu einer ausreichenden Trennung eines Gasgemisches führt.

[0007] Es ist somit eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung bereitzustellen, die die Nachteile im Stand der Technik überwindet und insbesondere ermöglicht, die Anreicherung einer Gaskomponente aus einem Gasgemisch zu verbessern und die Nutzung einer Druckdifferenz zur Erzeugung mechanischer Leistung weiter zu fördern.

[0008] Ferner sollen Verfahren zur Gasanreicherung und zur Erzeugung mechanischer Leistung bereitgestellt werden, die die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzen.

[0009] Die erste Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung, welche umfasst:

- einen ersten Behälter und einen zweiten Behälter,
- eine zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter angeordnete Kapillareinrichtung mit einer oder mehreren Kapillaren, wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren den ersten Behälter mit dem zweiten Behälter verbindet, und wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren sich vom zweiten Behälter in Richtung auf den ersten Behälter zumindest abschnittsweise verjüngt,
- Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter.

[0010] Dabei ist vorgesehen, dass der erste Behälter und/oder der zweite Behälter mit Gas gefüllt ist bzw. sind.

[0011] Außerdem kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung zumindest eine Gaszuführung zum Zuführen eines Gases und zumindest eine Gasabführung zum Abführen eines Gases umfasst.

[0012] Bevorzugt ist ebenfalls, dass die zumindest eine Gaszuführung mit dem ersten und/oder zweiten Behälter verbunden ist, und/oder die zumindest eine Gasabführung mit dem ersten und/oder zweiten Behälter verbunden ist.

[0013] Es ist bevorzugt vorgesehen, dass der zweite Behälter mit einer Vorrichtung zur Erzeugung me-

chanischer Leistung verbunden ist oder die Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung im zweiten Behälter integriert ist.

[0014] Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass der zweite Behälter mit einer Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung verbunden ist oder die Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung im zweiten Behälter integriert ist.

[0015] Besonders bevorzugt ist, dass der zweite Behälter zur Umgebungsatmosphäre hin offen ist.

[0016] Es ist weiter vorteilhaft vorgesehen, dass die Länge jeder der einen oder mehreren Kapillaren von 10 µm bis 3 cm beträgt.

[0017] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Öffnungsdurchmesser jeder der einen oder mehreren Kapillaren auf der Seite des ersten Behälters 0,05–5 µm beträgt und der Öffnungsdurchmesser jeder der einen oder mehreren Kapillaren am zweiten Behälter 0,5 bis 100 µm beträgt.

[0018] Vorteilhafterweise ist der Winkel α im verjüngten Abschnitt jeder der einen oder mehreren Kapillaren zwischen einer Kapillarenwand und der Winkelhalbierenden $< 45^\circ$, liegt vorzugsweise zwischen 0,001 bis 10° .

[0019] Besonders bevorzugt ist das Mittel zur Erzeugung eines Temperaturgradienten eine Heizvorrichtung am oder innerhalb des ersten Behälters.

[0020] Auch kann vorgesehen sein, dass das Mittel zur Erzeugung eines Temperaturgradienten eine Kühlvorrichtung am oder innerhalb des zweiten Behälters umfasst.

[0021] Ebenfalls ist bevorzugt, dass der erste Behälter und der zweite Behälter thermisch voneinander getrennt sind.

[0022] Weiterhin kann sich das Material des ersten Behälters vom Material des zweiten Behälters unterscheiden.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform liegt die Knudsen-Zahl (Kn) der Kapillareinrichtung zwischen $1 > Kn > 0,005$, bevorzugt $1 > Kn > 0,01$, wobei für die Ermittlung der Knudsen-Zahl der Durchmesser der Pore am verjüngten Ende verwendet wird.

[0024] Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Temperaturgradient im Mittel $0,1^\circ\text{C}$ bis 800°C , bevorzugt $0,5$ – 100°C beträgt.

[0025] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung

liefert ein Verfahren zur Gasanreicherung eines vorbestimmten Gases aus einem Gasgemisch, welches die folgenden Schritte umfasst:

- Einführen eines ein vorbestimmtes Gas enthaltenden Gasgemisches in den ersten Behälter
- Einstellen eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter mit dem Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten und
- Abführen des vorbestimmten Gases oder eines Gasgemisches, in dem das vorbestimmte Gas angereichert ist, aus dem zweiten Behälter.

[0026] Dabei ist bevorzugt, dass mehrere Vorrichtungen in Reihe geschaltet sind.

[0027] Außerdem ist bevorzugt, dass das aus dem zweiten Behälter vorbestimmte Gas zumindest teilweise in den ersten Behälter zurückgeführt wird.

[0028] Schließlich liefert die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung mechanischer Leistung mittels einer Vorrichtung, welches die Schritte umfasst:

- Einführen eines Gases in den ersten Behälter,
- Einstellen eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter mit dem Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten und
- Führen des Gases aus dem zweiten Behälter in bzw. durch eine Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung.

[0029] Überraschenderweise wurde erfindungsgemäß gefunden, dass es für die aus der DE 10 2005 055 675 B3 bekannte Vorrichtung wesentlich ist, einen Temperaturgradienten zwischen dem ersten und zweiten Behälter vorzusehen, so dass die Temperatur im ersten Behälter größer ist als die Temperatur im zweiten Behälter. Dabei ist ein nur geringer Temperaturgradient notwendig, damit der Druck, nicht wie zu erwarten gewesen wäre im ersten Behälter, sondern im zweiten Behälter steigt. Dieser Effekt (d. h. Erhöhung der Temperatur des ersten Behälters gegenüber dem zweiten Behälter und daraus resultierender Druckanstieg im zweiten Behälter), war in keiner Weise zu erwarten gewesen, resultiert jedoch darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung deutlich besser in einem Verfahren zur Gasanreicherung oder zur Erzeugung mechanischer Leistung eingesetzt werden kann.

[0030] Ferner wurde erfindungsgemäß als bevorzugt festgestellt, wenn die gasspezifische Wechselwirkung der Moleküle mit der Wand eine große Bedeutung aufweist. Der Wandeffekt ist gegenüber einer Wechselwirkung der Gasmoleküle untereinander umso ausgeprägter, je höher die Knudsen-Zahl ist, d.

h. das Verhältnis von mittlerer freier Weglänge der Gasmoleküle zum Porendurchmesser. Besonders bevorzugt ist die Knudsen-Zahl (Kn) zwischen $1 > Kn > 0,005$. Dies steht im Gegensatz zur Erkenntnis der DE 10 2005 055 675 B3, wonach stets eine Knudsen-Zahl von > 1 vorzusehen ist, so dass der minimale Querschnitt von jeder der einen oder mehreren Kapillaren mindestens in einer Richtung kleiner ist als die vorbestimmte mittlere freie Weglänge. Auch wurde erfindungsgemäß festgestellt, dass die aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung nicht der dort beschriebenen Gleichung "Einfallswinkel = Ausfallswinkel" folgt, die Reflexion an den Wänden also nicht gemäß der Newton'schen Mechanik beschreibbar ist, sondern auf dem Knudsen'schen Cosinusetz beruht.

[0031] Während die aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung als besonders geeignet für einmolekulare Gase beschrieben wird, wurde im Gegensatz dazu erfindungsgemäß festgestellt, dass bei Verwendung der beschriebenen Vorrichtung zur Gasanreicherung besonders gute Ergebnisse zur Abtrennung von Kohlendioxid (CO_2) erhalten werden.

[0032] Eine Optimierung der Gasanreicherung kann durch gezielte Materialauswahl der Kapillareinrichtung erreicht werden.

[0033] Bevorzugt ist der Porendurchmesser um einen Faktor 10 bis 100 größer als die mittlere freie Weglänge, so dass diese nur eine untergeordnete Rolle bei Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung in den vorgeschlagenen Verfahren spielt.

[0034] Erfindungsgemäß wurde festgestellt, dass gasspezifische Wechselwirkungen mit der Porenwand einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten der Gase in der Kapillareinrichtung aufweisen, wobei ein Temperaturgradient als Triebkraft für die erfindungsgemäßen Verfahren identifiziert werden konnte.

[0035] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert, dabei zeigt:

[0036] Fig. 1 einen Graphen, der die Abhängigkeit der Druckdifferenz Δp vom Temperaturgradienten ΔT bei Betrieb einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt,

[0037] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zur Gasanreicherung eingesetzt werden kann, und

[0038] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zur Erzeugung mechanischer Leistung eingesetzt werden kann.

[0039] Für eine erfindungsgemäße Vorrichtung wurde bei deren Betrieb mit einem Gas die Abhängigkeit zwischen dem eingestellten Temperaturgradienten und der daraus resultierenden Druckdifferenz zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter ermittelt. Die Ergebnisse sind in Fig. 1 gezeigt, wobei im oberen Teil von Fig. 1 die angelegte mittlere Temperaturdifferenz ΔT mit $T_{1, \text{Behälter}} > T_{2, \text{Behälter}}$ gezeigt ist. Im unteren Teil von Fig. 1 ist die aus dieser Temperaturdifferenz resultierende Druckdifferenz Δp mit $p_{1, \text{Behälter}} < p_{2, \text{Behälter}}$ gezeigt. Fig. 1 ist zu entnehmen, dass bereits für sehr kleine Temperaturdifferenzen signifikante Druckunterschiede resultieren, die genutzt werden können.

[0040] Fig. 2 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Gasanreicherung, die, vereinfacht dargestellt, aus einem ersten Behälter **1** und einem zweiten Behälter **2** aufgebaut ist, die über eine Kapillareinrichtung **3** miteinander verbunden sind. Die Kapillareinrichtung **3** weist eine Mehrzahl von Kapillaren **4** auf, die sich vom zweiten Behälter **2** in Richtung auf den ersten Behälter **1** verzweigen. Selbstverständlich ist es möglich, dass sich die Kapillaren **4** innerhalb der Kapillareinrichtung **3** abschnittsweise verzweigen. Entsprechende Kapillarformen sind beispielsweise aus der DE 10 2005 055 675 B2 bekannt. Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung umfasst ferner ein (nicht gezeigtes) Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten $T_{1, \text{Behälter}} > T_{2, \text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter **1** und dem zweiten Behälter **2**. Mit diesem Mittel wird erreicht, dass die Temperatur im ersten Behälter **1** im Mittel stabil höher als die Temperatur im zweiten Behälter **2** ist. In den ersten Behälter **1** führt eine Gaszuführung **5**, über die ein Gasgemisch in den ersten Behälter **1** geleitet werden kann. Aus dem ersten Behälter **1** führt eine Gasabführung **6**, über die ein angereichertes Gasgemisch aus dem ersten Behälter entfernt werden kann. Schließlich weist der zweite Behälter **2** eine Gasabführung **7** auf, über die angereichertes Gas bzw. Konzentrat entfernt werden kann.

[0041] Bei Betrieb der in Fig. 2 dargestellten Vorrichtung wird, vorzugsweise kontinuierlich, ein Gasgemisch über die Gaszuführung **5** in den ersten Behälter **1** eingeführt. Über das nicht gezeigte Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten wird die Temperatur im ersten Behälter gegenüber der Temperatur im zweiten Behälter **2** erhöht bzw. erhöht gehalten, was in einem Druckanstieg im zweiten Behälter **2** resultiert. Während des Verfahrens kann ein angereichertes Gasgemisch über die Gasabführung **6** aus dem ersten Behälter **1** entfernt werden. Ferner kann angereichertes Gas bzw. Konzentrat aus dem zweiten Behälter **2** über die Gasabführung **7** abgenommen werden. Dieses angereicherte Gas kann beispielsweise wieder in den ersten Behälter **1** derselben Vorrichtung zirkuliert wer-

den oder in eine weitere, in Serie geschaltete, Vorrichtung zur Gasanreicherung eingeführt werden, um die Gasanreicherung noch weiter voranzutreiben. Es ist offensichtlich, dass eine Vielzahl von Vorrichtungen zur Gasanreicherung hintereinander geschaltet werden können.

[0042] Das anzureichernde Gas weist aufgrund der Vorrichtungsmerkmale in Verbindung mit dem Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung des Temperaturgradienten eine höhere Durchgangsrate bezüglich der Kapillareinrichtung **3** als andere Bestandteile des zu trennenden Gasgemisches auf. Wie oben bereits ausgeführt, dient insbesondere der Temperaturgradient als Triebkraft, damit in der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Gasanreicherung durchgeführt werden kann.

[0043] Das Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten kann beispielsweise eine Heizeinrichtung sein, die innerhalb des ersten Behälters **1** angeordnet ist. Als ein solches Mittel kommt jedoch beispielsweise auch in Betracht, den zweiten Behälter **2** durch eine nicht gezeigte Kühlvorrichtung zu kühlen. Auch können Heizvorrichtung und Kühlvorrichtung gemeinsam verwendet werden. Schließlich kann auch vorgesehen sein, dass der zweite Behälter **2** gegenüber der Umgebungsluft isoliert ist. Dann reichen für die erfindungsgemäßen Verfahren bereits Schwankungen der Umgebungstemperatur aus, um den oben beschriebenen Effekt des Druckanstiegs im zweiten Behälter **2** aufgrund eines Temperaturgradienten zwischen den ersten und zweiten Behältern **1**, **2** zu bewirken.

[0044] Es ist offensichtlich, dass **Fig. 2** (und ebenfalls die im folgenden zu beschreibende **Fig. 3**) lediglich schematische und nicht-maßstäbliche Darstellungen sind. Insbesondere sind die Kapillaren **4** und deren laterale Abmessungen unmaßstäblich dargestellt.

[0045] **Fig. 3** veranschaulicht schließlich eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung, die zur Erzeugung mechanischer Leistung eingesetzt werden kann.

[0046] Ein erster Behälter **11** ist dabei mit einem zweiten Behälter **12** über eine Kapillareinrichtung **13** verbunden. Die Kapillareinrichtung **13** weist eine Mehrzahl von Kapillaren **14** auf, die sich vom zweiten Behälter **12** in Richtung auf den ersten Behälter **11** verjüngen. Am ersten Behälter **11** ist ein Mittel **18** zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung einer Temperaturdifferenz angeordnet, vorzugsweise eine Heizvorrichtung. Am zweiten Behälter **12** ist ein weiteres Mittel **19** zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung einer Temperaturdifferenz angeordnet, vorzugsweise eine Kühlvorrichtung. Im zweiten Behälter **12** ist ferner ein Mittel **20** zur Erzeugung mechanischer Leistung,

beispielsweise ein Rotor oder eine Turbine, im Strömungsweg des Gases angeordnet. Der erste Behälter **11** und der zweite Behälter **12** sind ferner über eine Verbindungsleitung umfassend einen Auslass **21** aus dem zweiten Behälter **12** und einem Einlass **22** in den ersten Behälter **11** miteinander verbunden. In dieser Verbindungsleitung ist ferner ein Mittel **23** zur thermischen Trennung des ersten Behälters **11** und des zweiten Behälters **12** vorgesehen.

[0047] Bei Betrieb der in **Fig. 3** gezeigten Vorrichtung wird eine Temperaturdifferenz $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter **11** und dem zweiten Behälter **12** eingestellt und aufrechterhalten. Die Temperaturdifferenz kann durch Erwärmen eines Gases im ersten Behälter **11** und/oder Abkühlen des Gases im zweiten Behälter **12** erfolgen. Durch diese Temperaturdifferenz wird bewirkt, dass Gas aus dem ersten Behälter **11** in den zweiten Behälter **12** strömt, was zu einem Druckanstieg im zweiten Behälter **12** führt. Die Strömung des Gases kann genutzt werden, um den im Strömungsweg des Gases im zweiten Behälter **12** angeordneten Rotor **20** anzutreiben und dadurch mechanische Leistung zu erzeugen. Das Gas aus dem zweiten Behälter **12** kann dann über den Auslass **21** und den Einlass **22** in den ersten Behälter **11** zurückgeführt werden. Dabei ist es wesentlich, dass der erste Behälter **11** und der zweite Behälter **12** voneinander thermisch getrennt sind.

[0048] Die in der Beschreibung, den Ansprüchen und den Zeichnungen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in Kombination zur Verwirklichung unterschiedlichster Ausführungsformen der Erfindung wesentlich sein.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005055675 B3 [0002, 0004, 0005, 0029, 0030]
- DE 102005055675 B2 [0040]

Patentansprüche

1. Vorrichtung, welche umfasst:
 - einen ersten Behälter und einen zweiten Behälter,
 - eine zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter angeordnete Kapillareinrichtung mit einer oder mehreren Kapillaren, wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren den ersten Behälter mit dem zweiten Behälter verbindet, und wobei jede der einen oder mehreren Kapillaren sich vom zweiten Behälter in Richtung auf den ersten Behälter zumindest abschnittsweise verjüngt,
 - Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Behälter und/oder der zweite Behälter mit Gas gefüllt ist bzw. sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, ferner umfassend zumindest eine Gaszuführung zum Zuführen eines Gases und zumindest eine Gasabführung zum Abführen eines Gases.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Gaszuführung mit dem ersten und/oder zweiten Behälter verbunden ist, und/oder die zumindest eine Gasabführung mit dem ersten und/oder zweiten Behälter verbunden ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Behälter mit einer Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung verbunden ist oder die Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung im zweiten Behälter integriert ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Behälter mit einer Vorrichtung zur Entspannung von Gas verbunden ist oder die Vorrichtung zur Entspannung von Gas im zweiten Behälter integriert ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Behälter zur Umgebungsatmosphäre hin offen ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge jeder der einen oder mehreren Kapillaren von 10 μm bis 3 cm beträgt.
9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Öffnungsdurchmesser jeder der einen oder mehreren Kapillaren auf der Seite des ersten Behälters 0,05–5 μm beträgt und der Öffnungsdurchmesser jeder der einen oder mehreren Kapillaren am zweiten Behälter 0,5 bis 100 μm beträgt.
10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel α im verjüngten Abschnitt jeder der einen oder mehreren Kapillaren zwischen einer Kapillarenwand und der Winkelhalbierenden $< 45^\circ$ ist, vorzugsweise zwischen 0,001 bis 10° liegt.
11. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Erzeugung eines Temperaturgradienten eine Heizvorrichtung am oder innerhalb des ersten Behälters umfasst.
12. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Erzeugung eines Temperaturgradienten eine Kühlvorrichtung am oder innerhalb des zweiten Behälters umfasst.
13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Behälter und der zweite Behälter thermisch voneinander getrennt sind.
14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Material des ersten Behälters vom Material des zweiten Behälters unterscheidet.
15. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Knudsen-Zahl (Kn) der Kapillareinrichtung zwischen $1 > Kn > 0,005$, bevorzugt $1 > Kn > 0,01$, liegt.
16. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturgradient im Mittel 0,1°C bis 800°C, bevorzugt 0,5–100°C beträgt.
17. Verfahren zur Gasanreicherung eines vorbestimmten Gases aus einem Gasgemisch mittels einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, welches die folgenden Schritte umfasst:
 - Einführen eines ein vorbestimmtes Gas enthaltenden Gasgemisches in den ersten Behälter
 - Einstellen eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter mit dem Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten und
 - Abführen des vorbestimmten Gases oder eines Gasgemisches, in dem das vorbestimmte Gas angereichert ist, aus dem zweiten Behälter.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 1 bis 16 in Reihe geschaltet sind.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem zweiten Behälter vorbestimmte Gas zumindest teilweise in den ersten Behälter zurückgeführt wird.

20. Verfahren zur Erzeugung mechanischer Leistung mittels einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, welches die Schritte umfasst:

- Einführen eines Gases in den ersten Behälter,
- Einstellen eines Temperaturgradienten $T_{1,\text{Behälter}} > T_{2,\text{Behälter}}$ zwischen dem ersten Behälter und dem zweiten Behälter mit dem Mittel zur Erzeugung und/oder Aufrechterhaltung eines Temperaturgradienten und
- Führen des Gases aus dem zweiten Behälter in bzw. durch eine Vorrichtung zur Erzeugung mechanischer Leistung.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

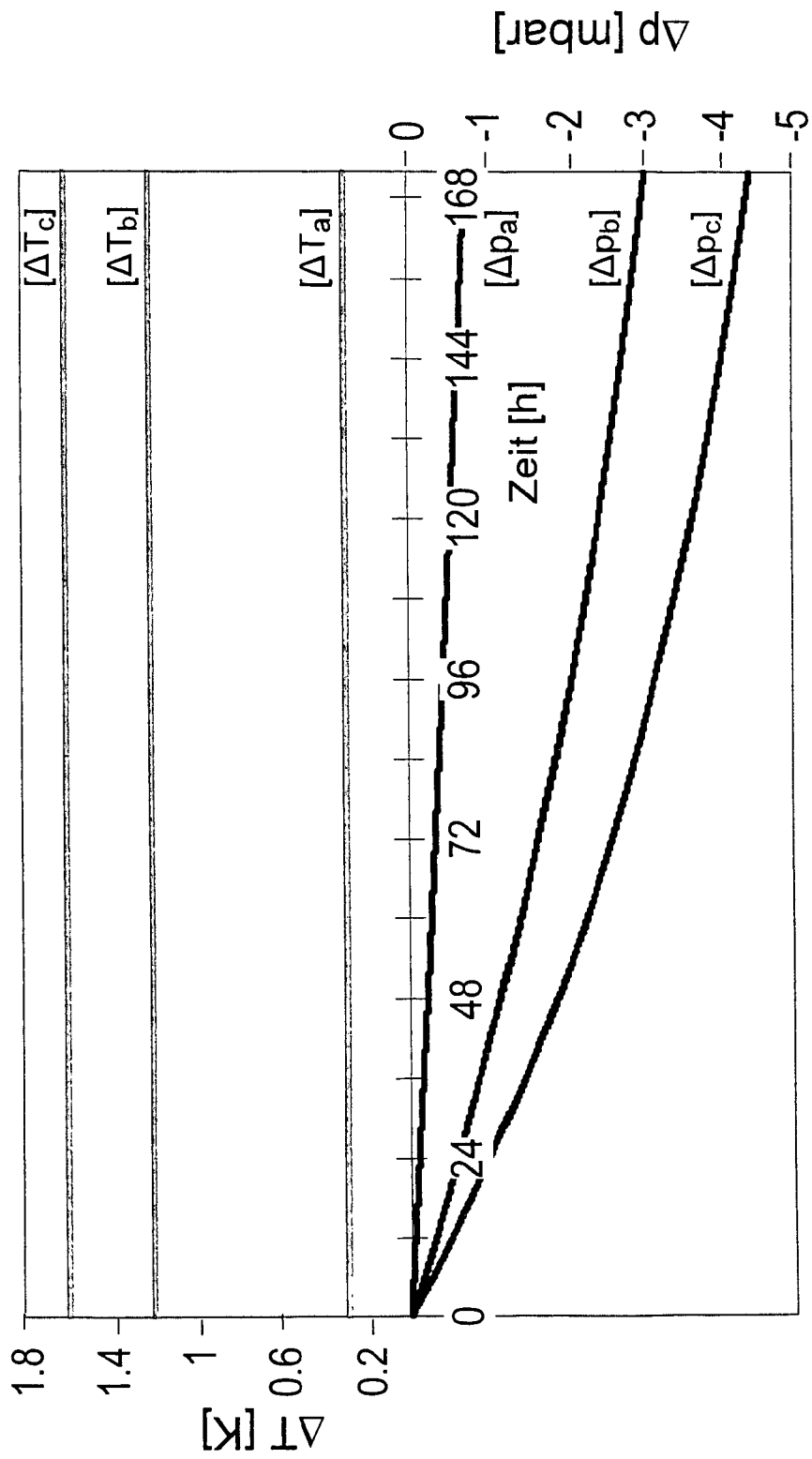


Fig. 1

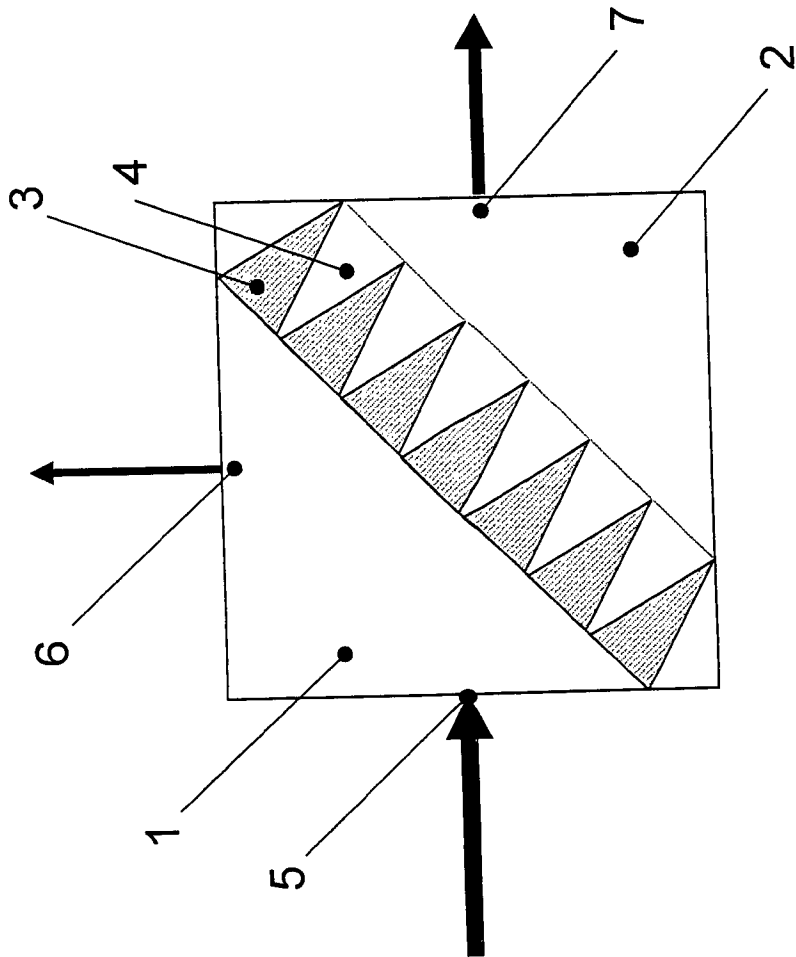
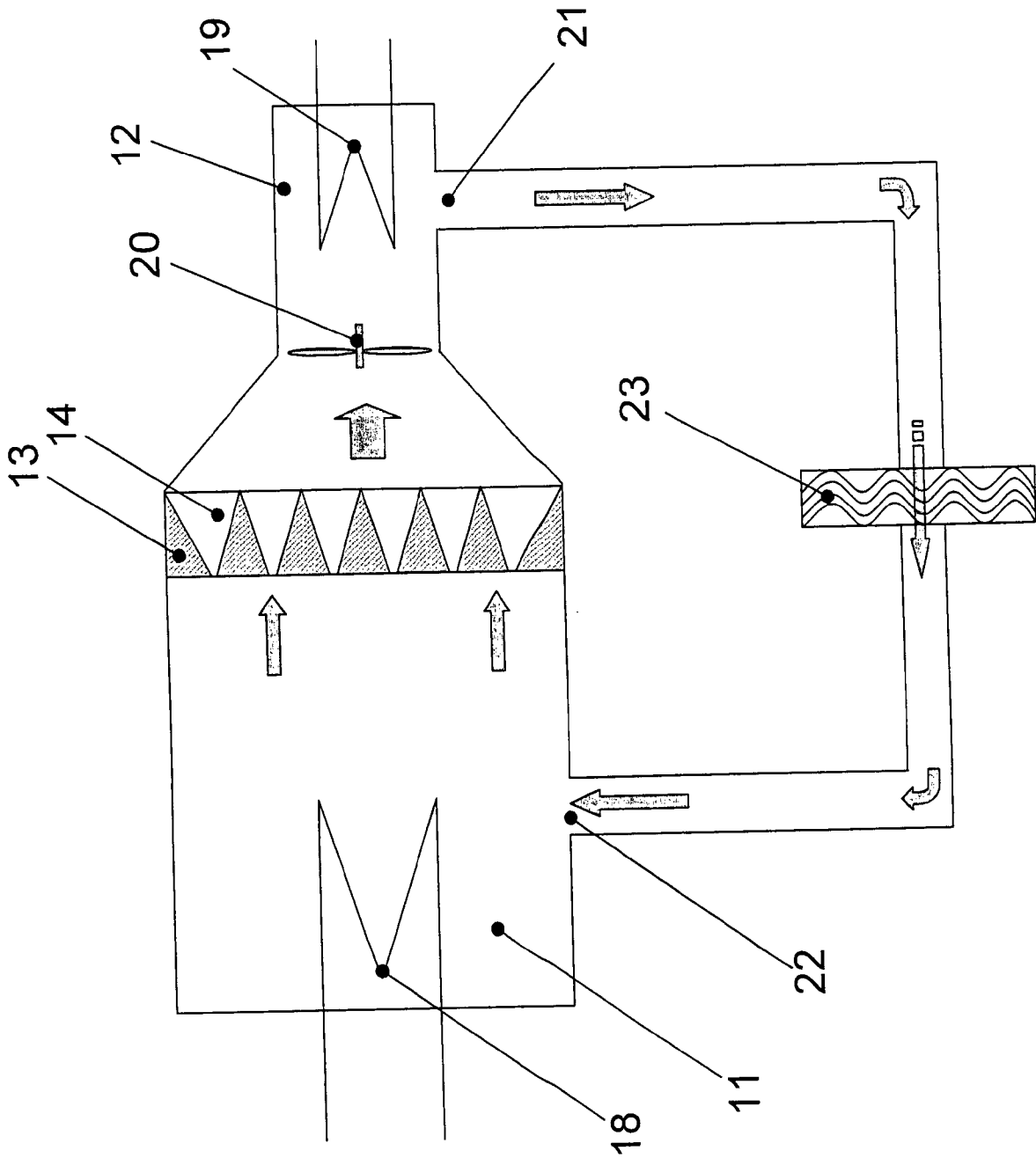


FIG. 2



ETC 2