

(12) Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 305/2007 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: H01M 8/02 (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2007-02-27  
(43) Veröffentlicht am: 2008-10-15

(30) Priorität:  
27.02.2006 DE 202006003108  
beansprucht.

(73) Patentanmelder:  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN  
D-80333 MÜNCHEN (DE)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 10237865A1 EP 1335439A1  
WO 1997/033333A1  
WO 2003/071624A2  
WO 2004/055933A2  
WO 2006/017777A2 JP 2000-058089A

(54) ROHR- ODER STABFÖRMIGE BRENNSTOFFZELLE, BRENNSTOFFZELLENSÄULE  
UND BRENNSTOFFZELLENSTAPELANORDNUNG

(57) Eine rohrförmige Brennstoffzelle (1; 100) weist eine erste und eine zweite Stirnseite (4, 6), eine sich zwischen diesen erstreckende Rohrwandung (2), sich hierin jeweils mantelförmig erstreckenden eine Kathode (12) und eine Anode (8) mit einem Festelektrolyten (10) dazwischen, einem inneren Strömungskanal (16) für Oxidationsmittel (18) oder Brenngas (22) und eine äußeren, die Rohrwandung (2) umgebenden Strömungskanal (20) für Brenngas (22) oder Oxidationsmittel (18) auf. In radialer Richtung erstreckt sich auf der ersten Stirnseite eine Elektrodenkontaktfläche (24) zur elektrischen Kontaktierung der Kathode (12) und auf der zweiten Stirnseite eine zweite Elektrodenkontaktfläche (30) zur elektrischen Kontaktierung der Anode (8). Die Elektrodenkontaktflächen weisen jeweils eine Öffnung für den inneren Strömungskanal auf. So können die Elektrodenkontaktflächen unmittelbar benachbarter Brennstoffzellen aufeinander gedrückt werden und so der elektrische Kontakt hergestellt werden. Die Brennstoffzellen werden nicht ineinander geschoben, sodass unweigerlich Spannungen nicht zum Bruch der Brennstoffzellen führen können. Die Demontage bei Defekten wird vereinfacht.

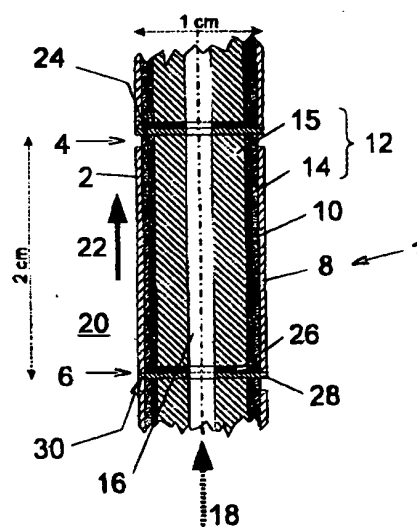


Fig. 1a

Die Erfindung betrifft eine rohrförmige oder tubuläre Brennstoffzelle, eine Brennstoffzellensäule mit einer Mehrzahl von solchen rohrförmigen Brennstoffzellen und eine Brennstoffzellenstapelanordnung mit einer Mehrzahl solcher Brennstoffzellensäulen.

5 Rohrförmige oder tubuläre Brennstoffzellen sind beispielsweise aus der JP 2000,058,089 A, der EP 0914687 B1, der EP 1335439 A1 und der WO 03/071624 A2 bekannt. Bei diesen rohrförmigen Brennstoffzellen bilden die Kathode, der Elektrolyt und die Anode den Mantel des Rohres und das Oxidationsmittel, insbesondere Luft, strömt im Inneren des Rohres an der Kathode entlang, und das Brenngas umströmt die Außenhülle des Rohres mit der Anode.

10 Aufgrund der insbesondere bei SOFC-Zellen auftretenden hohen Temperaturen im Bereich von 900°C treten in den Materialien erhebliche thermische Spannungen auf, was die Anordnung in Stapeln oder Säulen erschwert.

15 Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine tubuläre oder rohrförmige Brennstoffzelle bereitzustellen, die sich leichter mit anderen gleichartigen Zellen in Stapeln oder Säulen zusammenschalten lässt.

Die Lösung dieser Aufgaben erfolgt durch die Merkmale des Anspruchs 1.

20 Durch die Anordnung der elektrischen Kontaktflächen auf den jeweiligen Stirnseiten können die elektrischen Kontaktflächen unmittelbar benachbarter Brennstoffzellen aufeinander gedrückt werden und so der elektrische Kontakt hergestellt werden. Die mit Druck beaufschlagten elektrischen Kontaktflächen dichten auch die Strömungskanäle für Brenngas und Oxidationsmittel gegeneinander ab. Darüber hinaus wird durch das einfache Aufeinanderstapeln dieser Brennstoffzellen die Montage und Demontage bei Defekten vereinfacht.

25 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform nach Anspruch 2 sind die elektrischen Kontaktflächen plan, was die Herstellung und die Abdichtung zwischen dem inneren und dem äußeren Strömungskanal vereinfacht.

30 Üblicherweise besteht die Kathode einer Brennstoffzelle aus leitender Keramik und besitzt daher eine geringere elektrische Leitfähigkeit als die Anode. Dadurch, dass die Schichtdicke der Kathode wesentlich größer ist als die Schichtdicke, der Anode wird dies ausgeglichen (Anspruch 4 und 5).

35 Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung nach den Ansprüchen 6 und 7 besteht die Kathodenschicht aus zwei Schichten, wobei die erste Kathodenschicht unmittelbar an die Elektrolytschicht angrenzt und die zweite Kathodenschicht auf der dünneren ersten Kathodenschicht aufgebracht ist. Die zweite Kathodenschicht ist wesentlich dicker als die erste Kathodenschicht.

40 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach Anspruch 8 ist die Kathode dem inneren Strömungskanal und die Anode dem äußeren Strömungskanal zugewandt. Dadurch ist gewährleistet, dass Luft, die auf der Seite der Kathode strömt, nicht mit einer die Brennstoffzelle umgebenden, üblicherweise aus Stahl hergestellten Brennstoffzellenhülle in Berührung kommt und daher z.B. Chromausgasungseffekte bei hohen Temperaturen vermieden werden können.

45 Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung nach Ansprüchen 9 und 10 bildet eine Stirnseite der rohrförmigen Kathodenschicht die erste elektrische Kontaktfläche für die Kathode und bildet die andere Stirnseite der Anodenschicht die zweite elektrische Kontaktfläche für die Anode. In vorteilhafter Weise unterscheidet sich die Materialzusammensetzung der Kathode im Bereich der Stirnseite bzw. der erste elektrischen Kontaktfläche von dem übrigen Kathodenbereich. Beispielsweise ist im Bereich der ersten elektrischen Kontaktfläche die elektrische Leitfähigkeit

55

higkeit durch gezieltes Beimengen von Metall, z. B. Silber, vergrößert. Auch wird die Porosität im Bereich der elektrischen Kontaktfläche geringer sein als im übrigen Bereich der Kathode.

5 Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung nach Anspruch 14 ist die Anode dem inneren Strömungskanal und die Kathode dem äußeren Strömungskanal zugewandt. Eine solche Bauform hat den Vorteil, dass die Elektrolytschicht direkt auf die Anode gespritzt werden kann und insgesamt dünner vorgesehen werden kann. Eine Stirnseite der rohrförmigen Anodenschicht bildet dann die erste elektrische Kontaktfläche für die Anode, und die andere Stirnseite der Kathodenschicht bildet die zweite elektrische Kontaktfläche für die Kathode. In diesem Fall ist es aus den vorstehend genannten Gründen vorteilhaft, wenn sich die Materialzusammensetzung der Kathode im Bereich der Stirnseite bzw. der zweiten elektrischen Kontaktfläche von dem übrigen Kathodenbereich unterscheidet.

15 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach Anspruch 12 oder 18 kann die Porosität der zweiten Kathodenschicht so groß sein, dass sich darin sogar Gasströmungskanäle ergeben. Hierdurch wird die Kontaktfläche zwischen Kathode und Brenngas vergrößert. Falls die Kathode innen liegt, kann die zweite Kathodenschicht wenigstens teilweise in radialer Richtung bis zur Mitte der Brennstoffzelle reichen, wodurch sich eine besonders einfache Herstellungsweise ergeben kann und das Brenngas in jedem Fall durch die Gaskanäle der zweiten Strömungsschicht treten muss, sodass die vergrößerte Kontaktfläche voll ausgenutzt werden kann. In diesem Fall kann auch im zentralen Bereich der Brennstoffzelle ein Kern aus einem Material derart eingebracht sein, dass der Gasstrom durch die Strömungskanäle in der Kathodenschicht gezwungen wird. Dadurch kann das Verhältnis der Strömungsmengen von Luft und Brenngas zusätzlich eingestellt werden, und es können sich zusätzliche Vorteile bei der Herstellung ergeben.

20 Die Brennstoffzellen sind gemäß Anspruch 21 vorzugsweise in Serie hintereinander so anordbar, dass eine Mehrzahl hiervon an den elektrischen Kontaktflächen aufeinanderliegen und damit elektrischen und mechanischen Kontakt miteinander aufweisen. Die elektrischen Kontaktflächen stellen zum einen den elektrischen Kontakt zwischen Anode und Kathode benachbarter Brennstoffzellen her, und andererseits dichten sie den inneren oder die inneren Strömungskanäle gegen den äußeren Strömungskanal für Brenngas-/Oxidationsmittel ab. Im Gegensatz zum Stand der Technik werden die Brennstoffzellen nicht durch Ineinanderschieben gegeneinander abgedichtet, so dass unweigerlich auftretende thermische oder mechanische Spannungen zwischen benachbarten Brennstoffzellen nicht zum Bruch der Brennstoffzellen führen können.

30 Durch eine Führungseinrichtung im Bereich der Stirnseite(n) lassen sich mehrere Brennstoffzellen leichter aneinander anordnen und ausrichten (Anspruch 22). Vorzugsweise ist die Führungseinrichtung auch als Abstandshalter zu in radialer Richtung nebeneinander angeordneten Brennstoffzellen oder als Abstandshalter zu der Brennstoffzellenhülle ausgelegt (Anspruch 23).

45 Zur Verbesserung der Abdichtung des inneren gegen den äußeren Strömungskanal können die elektrischen Kontaktflächen gemäß Anspruch 24 entsprechend geglättet sein. Diese Glättung erfolgt beispielsweise durch Schleifen und/oder Polieren elektrischer Kontaktflächen.

Anspruch 25 betrifft eine Brennstoffzellensäule mit mehreren derart hintereinander angeordneten erfindungsgemäßen Brennstoffzellen.

50 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform nach Anspruch 26 wird zwischen die elektrischen Kontaktflächen benachbarter Brennstoffzellen eine elektrisch leitende Schicht eingefügt, die zum einen dem elektrischen Kontakt zwischen den benachbarten elektrischen Kontaktflächen herstellt und zum anderen eine erhöhte Abdichtung zwischen dem inneren und äußeren Strömungskanal für Brenngas-/Oxidationsmittel ermöglicht.

55 Statt die einzelnen Brennstoffzellen mit Führungseinrichtung und Abstandshalter zu versehen,

kann auch eine eigenständige Zentriereinrichtung mit Abstandshalterfunktion zwischen den einzelnen Brennstoffzellensäulen vorgesehen werden - Anspruch 28 bzw. 29.

Gemäß Anspruch 30 wird eine Brennstoffzellenstapelanordnung bereitgestellt, bei der eine Mehrzahl von einzelnen Brennstoffzellen oder Brennstoffzellensäulen parallel in einem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter angeordnet sind. In diesem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter zirkuliert ein Wärmetransportmedium das insbesondere die Abwärme von der Brennstoffzelle aufnimmt und allgemein für eine Regulierung der Temperatur der Brennstoffzelle sorgt. D.h. durch das zirkulierende Wärmetransportmedium werden auch lokale Temperaturunterschiede auf einzelne Brennstoffzellen insbesondere im Bereich der Zuführung des Brenngases ausgeglichen. Bei herkömmlichen SOFC-Brennstoffzellen ist die Abdichtung mit chemisch stabilen Dichtungen bei hohen Temperaturen ca. 900°C) unter reduzierenden und oxidierenden Bedingungen und gleichzeitige elektrische Isolierung sehr schwierig. So würde das Zusammenreffen von aus einer auch nur geringfügigen Undichtigkeit austretender Luft aus dem inneren Strömungskanal der Brennstoffzelle auf Brenngas im äußeren Strömungskanal zu einer heftigen Reaktion und einer lokalen Temperaturspitze führen, welche die Keramik aufgrund der auftretenden thermischen Spannungen zerstören würde. Werden die lokalen Temperaturspitzen jedoch weggekühlt, kann eine geringfügige Restundichtigkeit hingenommen werden, da sie nicht mehr zur Zerstörung der Keramik führen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach Anspruch 32 durchläuft das Wärmetransportmedium in dem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter während des Wärmetransports einen Phasenwechsel. Hierdurch wird zum einen ein effektiver Wärmetransport und zum andern eine bestimmte gewünschte Betriebstemperatur erreicht, wenn der Phasenwechsel bei der gewünschten Betriebstemperatur erfolgt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nach Anspruch 35 sind die Hüllen der Brennstoffzellen mit einer Kapillarstruktur versehen, um den Wärmeübergang von der Brennstoffzellenhülle auf das Wärmetransportmedium zu verbessern.

Die übrigen Unteransprüche beziehen sich auf weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen anhand der Zeichnungen. Es zeigt bzw. zeigen:

Fig. 1a eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzelle;

Fig. 1 b eine Aufsicht auf die erste Stirnseite der Ausführungsform nach Fig. 1a;

Fig. 1 c eine Aufsicht auf die zweite Stirnseite der Ausführungsform nach Fig. 1a;

Fig. 2a eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzelle;

Fig. 2b eine Aufsicht auf die erste Stirnseite der Ausführungsform nach Fig. 2a;

Fig. 2c eine Aufsicht auf die zweite Stirnseite der Ausführungsform nach Fig. 2a,

Fig. 3a eine schematische Darstellung einer beispielhaften Anordnung von Brennstoffzellen gemäß einer Abwandlung der ersten Ausführungsform innerhalb einer gemeinsamen Umhüllung;

Fig. 3b eine entlang einer Linie IIIB-IIIB in Fig. 3a genommene Querschnittsansicht einer Brennstoffzelle von Fig. 3a einschließlich der Umhüllung und einer beispielhaften Zentriereinrichtung;

Fig. 4 eine perspektivische Ansicht einer Abwandlung der Brennstoffzelle der ersten Ausführungsform mit einer anderen beispielhaften Zentriereinrichtung;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer beispielhaften Anordnung von Brennstoffzellen gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform mit einer weiteren

- beispielhaften Zentriereinrichtung;
- Fig. 6a eine schematische Darstellung einer beispielhaften Anordnung von Brennstoffzellen gemäß der Erfindung, und Fig. 6b, 6c, 6d und 6e jeweils eine vergrößerte Ansicht eines Details "A" in Fig. 6a mit unterschiedlichen Varianten eines Kontaktbereichs zwischen einer Anode und einem Interkonnektor;
- Fig. 7 eine schematische Darstellung einer weiteren Abwandlung einer Brennstoffzelle gemäß der Erfindung;
- Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Mehrzahl von Brennstoffzellensäulen gemäß der vorliegenden Erfindung in einem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter,
- Fig. 9a und 9b eine entsprechende schematische Darstellung einer Mehrzahl von Brennstoffzellensäulen gemäß der vorliegenden Erfindung in einem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter, und
- Fig. 10 eine weitere Variante der Anordnung von Wärmetauschersäulen in einem gemeinsamen Wärmetransportbehälter.

Die Fig. 1a, 1b und 1c zeigen schematisch eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen rohrförmigen Brennstoffzelle. In Fig. 1a sind hierbei drei in Reihe aufeinander gestapelte Brennstoffzellen 1 gezeigt, wobei die obere und die untere Brennstoffzelle nur teilweise dargestellt sind. Der Aufbau der einzelnen Brennstoffzellen ist identisch und wird beispielhaft anhand der mittleren Brennstoffzelle 1 erläutert. Die Brennstoffzelle 1 umfasst eine kreisringförmige Rohrwandung 2 mit einer ersten, oberen Stirnseite 4 (in einer Aufsicht dargestellt in Fig. 1b) und einer zweiten, unteren Stirnseite 6 (in einer Aufsicht dargestellt in Fig. 1c). Die Rohrwandung 2 umfasst von außen nach innen eine Anode oder Anodenschicht 8, gefolgt von einer Elektrolytschicht 10 und einer Kathodenschicht oder Kathode 12, welche die innerste Schicht der Rohrwandung 2 darstellt. Kathode 12, Anode 8 und der Festelektrolyt 10 sind jeweils als Zylindermantel ausgebildet. Die Kathode 12 umfasst eine erste Kathodenschicht 14 aus Lanthan-Strontium-Manganoxid (LSM), die unmittelbar an die Elektrolytschicht 10 angrenzt, und eine an die erste Kathodenschicht 14 angrenzende zweite Kathodenschicht 15. Die zweite Kathodenschicht 15 grenzt unmittelbar an einen inneren Strömungskanal 16 an, in dem ein Oxidationsmittel 18, insbesondere Luft, der Kathode 12 zugeführt wird, wie durch einen gepunkteten Pfeil in Fig. 1a dargestellt. Die außen auf der Rohrwandung 2 angeordnete Anode 8 wird von einem äußeren Strömungskanal 20 umgeben, in dem ein Brenngas 22 strömt (durchgehender Pfeil in Fig. 1a) und mit der Anode 8 in Kontakt tritt. Die äußere Begrenzung des äußeren Strömungskanals 20 ist in Fig. 1 nicht, jedoch in Fig. 3a, 3b, 6a und 8 mit der Bezugsziffer 40 dargestellt.

Wie aus Fig. 1a, 1b zu ersehen ist, ist die Kathode 12 bzw. die Kathodenschicht 12 wesentlich dicker als die Anode bzw. die Anodenschicht 8. Die erhöhte Dicke der Kathode 12 wird vor allem durch die zweite Kathodenschicht 15 in Form einer elektrisch leitenden Perovskit-Keramik erreicht. Für die Kathode 12 bzw. die erste Kathodenschicht 14 eignen sich Lanthanchromit, Yttriumchromit und LSM. Zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit können die Keramiken mit Metallen oder Metallfasern versetzt sein.

Die Rohrwandung 2 ist im Bereich der ersten Stirnseite 4 plan geschliffen, so dass die freiliegende Kathode 12 mit den beiden Kathodenschichten 14 und 15 eine kreisringförmige, plane erste elektrische Kontaktfläche 24 zur elektrischen Kontaktierung der Kathode bildet. Damit kein Kurzschluss zwischen Kathode 12 und Anode 8 auftreten kann, ist die Anode bzw. die Anodenschicht 8 im Bereich der ersten Stirnseite 4 zurück versetzt. Im Bereich der zweiten Stirnseite 6 überragt die Anodenschicht 8 die Elektrolytschicht 10 und die Kathodenschicht 12 etwas. Die Elektrolytschicht 10 und insbesondere die Kathodenschicht 12 sind mit einer kreisringförmigen Isolationsschicht 26 abgedeckt, sodass sich zusammen mit der überstehenden Anodenschicht 8 eine Stirnfläche ergibt, die von einer planen, kreisringförmigen Leiterschicht 28 überdeckt wird und eine zweite Stirnseite 6 definiert, die eine zweite elektrische Kontaktfläche 30 für die Anode 8 bildet. Die Leiterschicht 28 wird auch als Interkonnektor 28 bezeichnet. Durch die kreisringförmige Ausgestaltung der Isolationsschicht 26 sowie der Leiterschicht (des Interkonnektors) 28 wird ermöglicht, dass bei Aufeinanderstapeln einer Mehrzahl von Brennstoffzellen 1 ein

durchgehender innerer Strömungskanal 16 bereitgestellt wird.

5 Dabei ist zu beachten, daß der Interkonnektor 28 ebenso wie die Anode 8 auch als Materialschichten ausgebildet sind, die durch geeignete Maßnahmen wie z.B. Tauchen, Pinseln, Sprühen oder elektrochemische Verfahren aufgebracht werden können. Es ist möglich, die Eigenschaften der als Interkonnektor 28 und als Anode 8 aufgetragenen Materialien ineinander übergehen zu lassen, sodass sich ein Übergangsbereich ergibt, der sich mehr in den Bereich des Interkonnektors 28 oder mehr in den Bereich der Anode 8 erstrecken kann. Dieser Fall ist in den Zeichnungen nicht näher dargestellt.

10 Bei der vorliegenden Ausführungsform ist es von Vorteil, dass der Luftstrom 18 im Inneren der Brennstoffzelle 1 verläuft. Dadurch kann vermieden werden, dass die Luft 18 mit einer üblicherweise aus Stahl gefertigten Umhüllung der Brennstoffzelle 1 in Berührung kommt. Dies wäre problematisch, da bei hohen Temperaturen Chrom aus dem Stahl ausdampfen kann, wenn dieser mit Luft in Berührung kommt.

15 Bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Erfindung liegt die Kathode 12 dem inneren Strömungskanal 16 zugewandt, da die Kathode 12 dem Luftstrom 18 ausgesetzt sein muss. Aus fertigungstechnischen Gründen kann es aber auch vorteilhaft sein, die Kathode 12 außen und die Anode 8 innen zu haben, weil es dann möglich ist, den Elektrolyten 10 auf die Anode 8 aufzuspritzen und die Elektrolytschicht 10 insgesamt dünner auszuführen. Da in diesem Fall der Luftstrom 18 außen verläuft, ist es vorteilhaft, wenn die Stahlumhüllung innen zusätzlich beschichtet ist, um ein Ausdampfen von Chrom zu verhindern. Die Beschichtung der Stahlumhüllung kann aus einem keramischen Material, z.B. Aluminiumoxid, bestehen.

25 Die Fig. 2a, 2b und 2c zeigen demgemäß eine zweite Ausführungsform einer Brennstoffzelle 100. In Fig. 2a sind zwei identische Brennstoffzellen 100 dargestellt, die übereinander angeordnet sind. Diese Brennstoffzelle 100 gemäß der zweiten Ausführungsform weist die gleichen Komponenten wie die Brennstoffzelle 1 des ersten Beispiels auf, und es werden daher die gleichen Bezugszeichen verwendet. Der Unterschied zwischen den beiden Brennstoffzellenformen besteht lediglich darin, dass die Abfolge von Anode 8, Elektrode 10 und Kathode 12 vertauscht ist. Damit ist bei der Brennstoffzelle 100 der zweiten Ausführungsform die äußere Schicht der Rohrwandung 2 die Kathodenschicht 12 mit der zweiten Kathodenschicht 15 als äußerster Schicht. Die Anodenschicht 8 ist damit die Innerste Schicht der Rohrwandung 2. Damit strömt im inneren Strömungskanal 16 das Brenngas 22, während im äußeren Strömungskanal 20 das Oxidationsmittel 18 strömt. Der übrige Aufbau der beiden Ausführungsformen ist identisch. Es ist zu beachten, dass die Größenverhältnisse, insbesondere die Durchmesser-  
30 verhältnisse der einzelnen Schichten der Brennstoffzelle 100 und des inneren Strömungskanals 16 in Fig. 2a einerseits und in Fig. 2b und 2c andererseits unterschiedlich dargestellt sind.

35 Da die Brennstoffzellen 1, 100 gemäß der Erfindung mit planen Flächen 4, 6 aufeinander liegen, kann es sein, dass sich im Betrieb seitliche Verschiebungen zwischen aufeinander bzw. hintereinander angeordneten Brennstoffzellen einstellen. Es kann also wünschenswert sein, eine Einrichtung bereitzustellen, die eine Zentrierung der Brennstoffzellen relativ zueinander ermöglicht, ohne den Betrieb der Brennstoffzellenanordnung zu beeinträchtigen.

45 Die Fig. 3a und 3b stellen eine beispielhafte Anordnung von Brennstoffzellen 1 gemäß einer Abwandlung der ersten Ausführungsform innerhalb einer gemeinsamen Umhüllung dar, wobei in Fig. 3b, die eine entlang einer Linie IIIB-III B in Fig. 3a genommene Querschnittsansicht ist, eine erste beispielhafte Zentriereinrichtung sichtbar ist. In Fig. 3a ist eine Abwandlung der Brennstoffzelle 1 der ersten Ausführungsform derart dargestellt, dass die Isolationsschicht 26 in einem Arbeitgang mit der Elektrolytschicht 10 aufgebracht ist und insbesondere auch aus dem gleichen Material besteht. Mit anderen Worten, die Isolationsschicht 26 und die Elektrolytschicht  
55 10 bilden hier eine einzige durchgehende Schicht, die auch als "Elektrolyttopf" bezeichnet wird

und zur Unterscheidung mit der Bezugsziffer 52 bezeichnet wird.

Gemäß der Darstellung in Fig. 3a und 3b sind die Brennstoffzellen 1 innerhalb einer Umhüllung 40 (auch als Brennstoffzellenhülle 40 bezeichnet) so angeordnet, dass jeweils eine erste Stirnfläche 4 einer Brennstoffzelle 1 über einen Interkonnektor 28 an einer zweiten Stirnfläche 6 einer benachbarten Brennstoffzelle 1 zu liegen kommt. Dabei weist die Rohrwandung 2 einen Abstand zu der Brennstoffzellenhülle 40 auf. Wie in Fig. 3b gezeigt, wird der Abstand mittels einer Mehrzahl von Stäben 44 aufrechterhalten, die innerhalb der Brennstoffzellenhülle 40 in Längsrichtung angeordnet sind und sowohl an der Innenfläche der Brennstoffzellenhülle 40 als auch an der Außenfläche der Rohrwandung 2 anliegen. Im gezeigten Beispiel sind drei Stäbe 44 unter im wesentlichen gleichen Abständen in Umfangsrichtung angeordnet. Es versteht sich, dass auch mehr Stäbe 44 vorhanden sein können. Die Stäbe 44 bestehen vorzugsweise aus einem keramischen Material und ist insbesondere elektrisch nichtleitend und chemisch inaktiv.

In Fig. 4 ist eine weitere Abwandlung der Brennstoffzelle 1 gemäß der ersten Ausführungsform mit einer Zentriereinrichtung für Brennstoffzellen dargestellt. In der Zeichnung ist der äußere Umriss der Rohrwandung 2 der Brennstoffzelle 1 dargestellt. Die Brennstoffzelle 1 weist vier im Bereich eines Endes (vorzugsweise des oberen Endes 4) der Brennstoffzelle 1 radial abstehende Abstandshalter 48 auf. Die Abstandshalter 48 dienen dazu, den Abstand zu weiteren Brennstoffzellen, die neben der Brennstoffzelle 1 angeordnet sind, aufrechtzuerhalten. Falls die Brennstoffzellen zur Anordnung innerhalb einer Brennstoffzellenhülle vorgesehen sind, können die Abstandshalter 48 auch so angepasst sein, dass sie den Abstand zu der Brennstoffzellenhülle aufrechterhalten. Die Abstandshalter 48 sind vorzugsweise einstückig mit dem Elektrolyten 10 bzw. dem Elektrolyttopf 52 der Rohrwandung 2 ausgebildet.

Fig. 5 zeigt eine weitere Abwandlung der Brennstoffzelle 1 gemäß der ersten Ausführungsform mit einer Zentriereinrichtung für Brennstoffzellen. In der Zeichnung sind drei Brennstoffzellen 1 gezeigt, die übereinander angeordnet sind. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um die Abwandlung der Brennstoffzelle 1 aus Fig. 3a, bei welcher die Elektrolytschicht 10 und die Isolationsschicht 26 aus dem gleichen Material ausgebildet sind und einen Elektrolyttopf 52 bilden; dies spielt aber für das Verständnis der Zentriereinrichtung keine tragende Rolle. Im Bereich des oberen Endes 4 jeder Brennstoffzelle 1 ist eine kragenförmige Verlängerung 50 vorgesehen, die radialer und axialer Richtung über die Außenkontur der Rohrwandung 2 derart hinausragt, dass das untere Ende 6 einer benachbarten Brennstoffzelle 1 (der nächstoberen Brennstoffzelle 1 in Fig. 5) davon umgriffen wird und radialen Halt findet. Die kragenförmige Verlängerung 50 kann mit der Rohrwandung 2 einstückig ausgebildet oder als aufgesetztes "Hütchen" separat ausgebildet sein. Im gezeigten Beispiel ist die kragenförmige Verlängerung 50 einstückig mit dem Elektrolyten 10 bzw. dem Elektrolyttopf 52 der Rohrwandung 2 ausgebildet.

In Fig. 6a ist eine Anordnung von drei Brennstoffzellen 1 gemäß einer weiteren Abwandlung schematisch dargestellt, und in Fig. 6b bis 6e ist jeweils die Einzelheit "A" in Fig. 6a vergrößert dargestellt. In Fig. 6b bis 6e sind dabei verschiedene alternative Bauarten des Interkonnektors 28 und der Anode 8 gezeigt.

In der Grundform ist der Interkonnektor 28 auf der durch die Anode bzw. die Anodenschicht 8 gebildeten ringförmigen Stirnfläche (sowie den Stirnflächen der Elektrolytschicht und der Isolationsschicht 26) auf und bildet die zweite elektrische Kontaktfläche 30 ausgebildet. Diese plane zweite elektrische Kontaktfläche 30 liegt wiederum auf der planen ersten elektrischen Kontaktfläche 24 der darunterliegenden Brennstoffzelle 1 auf (vgl. z.B. Fig. 3a). Durch thermische und mechanische Spannungen kann es vorkommen, dass die planen Kontaktflächen 24, 30 nicht vollständig dicht aufeinanderliegen und Luft aus dem inneren Strömungskanal 16 in den äußeren Strömungskanal 20 austreten kann. Sofern die austretende Luftmenge gering ist, kann die in diesem Fall durch das direkte Aufeinandertreffen von Luft und Brenngas auftretende Temperaturspitze durch geeignete Kühlungsmaßnahmen wie etwa durch Anordnen der Brennstoffzellen 1 in einer Wärmerohranordnung so weit abgefangen werden, dass eine Zerstörung der

Brennstoffzellen 1 vermieden werden kann. Allerdings ist zu beachten, dass direkt an der Austrittsstelle Luft mit hoher Temperatur vorliegt, was zu einer unerwünschten Oxidation der Anodenschicht 8 auf der Außenseite der Rohrwandung 2 im Bereich der unteren Stirnseite 6 führen kann. Dem kann durch geeignete Ausbildung des Rands des Interkonnektors 28 und der Stirnseite der Anode 8 so, dass die Anode im Bereich der unteren Stirnseite 6 nicht eventuell austretenden Luftströmen ausgesetzt ist, begegnet werden.

In einer in Fig. 6b gezeigten Abwandlung weist die Anode 8 ein flaches Ende auf, wie es auch bisher der Fall war. D.h., die Anodenschicht ist bis zum axial unteren Ende der Elektrolytschicht aufgebracht. Der Interkonnektor 28 erstreckt sich auf der Stirnseite in radialer Richtung über den Außendurchmesser der Anodenschicht 8 hinaus und ein wenig weiter in Richtung der oberen Stirnseite 4 (nach oben in Fig. 6b). Dies kann z.B. dadurch bewerkstelligt werden, dass der Interkonnektor 28 erst nach der Anodenschicht 8 und teilweise auf dieser in dieser Form aufgebracht wird. Dadurch weist der Interkonnektor 28 einen Radius auf, der größer als der Außendurchmesser der Anode 8 ist, und weist ferner einen in axialer Richtung auf die Anode 8 weisenden ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28b auf, der so angepasst ist, dass der Rand der Anode 8 von dem ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28b umschlossen wird. So ist die Anode dem Gasstrom in dem äußeren Strömungskanal 20 erst an einer Stelle ausgesetzt, die ein kleines Stück von der unteren Stirnseite 6 entfernt ist. Der Abstand ist dabei so bemessen, dass aus dem inneren Strömungskanal 16 austretende Luft bereits verbrannt ist, bevor der Gasstrom auf die Anodenschicht 8 trifft. Dadurch kann verhindert werden, dass aus dem inneren Strömungskanal 16 nach außen austretende Luft auf die Anodenschicht 8 trifft. Mit der Ausbildung gemäß dieser Abwandlung kann auch die elektrische Verbindung zwischen der Anodenschicht 8 und der Interkonnektorschicht 28 verbessert werden.

Eine andere, in Fig. 6c gezeigte Abwandlung unterscheidet sich von demjenigen in Fig. 6b dadurch, dass nach Aufbringen einer ersten Schicht der Anode 8 und einer ersten Schicht des Interkonnektors 28 in oben beschriebener Weise derart, dass der untere Randbereich der Anode 8 durch einen ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28c der Interkonnektorschicht 28 überdeckt wird, jeweils eine weitere Schicht der Anode 8, welche den ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28c mit einem Überlappungsabschnitt 8c überdeckt, eine weitere Schicht des Interkonnektors 28, welche einen zweiten, die Anode in gleicher Weise wie oben im Bereich des unteren Endes umgreifenden ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28c' aufweist, und zuletzt eine dritte Schicht der Anode 8, die wiederum den zweiten ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28b der Interkonnektorschicht 28 in einem Überlappungsabschnitt 8c' überdeckt, aufgebracht wurden. Damit weisen die Anode 8 und der Interkonnektor 28 einen verzahnten Bereich auf, der eine Verbindung zwischen der Anodenschicht 8 und dem Interkonnektor 28 verbessert. Auch wenn im untersten Bereich die außen überlappende Anodenschicht anoxidieren sollte, werden so die elektrischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt. Wenn der letzte Schritt mit Ausbildung des zweiten Überlappungsabschnitts 8c' der Anode 8 weggelassen wird, kann die Anodenschicht wie in der in Fig. 6b gezeigten Abwandlung so weit von einer möglichen Austrittsstelle von Luft gebracht werden, dass diese gar nicht auf die Anodenschicht 8 treffen kann.

Eine weitere, in Fig. 6d gezeigte Abwandlung unterscheidet sich von demjenigen in Fig. 6b dadurch, dass die Anode 8 von dem zweiten Ende 6 in axialer Richtung zurückgesetzt ist und die Interkonnektorschicht 28 in einem ersten ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28d um diesen Betrag nach oben um die Elektrolytschicht 10 herumreicht und diese ringförmig umgreift und erst dann in einem zweiten ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28d', der sich an den ersten ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28d anschließt, den unteren Rand der Anodenschicht 28 ringförmig überdeckt. Damit wird das untere Ende der Anodenschicht 8 noch weiter von der möglichen Austrittsstelle von Luft entfernt. Es versteht sich, dass diese Abwandlung mit der in Fig. 6c gezeigten Abwandlung kombiniert werden kann, also mehrere einander überlappende Schichten der Anode 8 und des Interkonnektors 28 aufgetragen werden können.

Schließlich wird in Fig. 6e eine Abwandlung gezeigt, bei welcher der Interkonnektor 28 im Bereich des unteren Endes 6 die Elektrolytschicht 10 in Form eines ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28e umgreift und die Anode 8 in diesem Bereich den ringförmigen Verlängerungsabschnitt 28e des Interkonnektors 28 mit einem Überlappungsabschnitt 8e überdeckt. Bei diesem Beispiel wird zuerst die Interkonnektorschicht 28 aufgebracht und dann erst die Anodenschicht 8. Es ist hierbei darauf zu achten, den Überlappungsabschnitt 8e nicht ganz bis zum unteren Ende 6 der Brennstoffzelle 1 zu führen, sodass wie bei den vorstehenden Abwandlungen eventuell austretende Luft bereits verbrannt ist, bevor sie auf die Anodenschicht 8 treffen und diese oxidieren kann. Auch hier können mehrere einander überlappende Schichten der Anode 8 und des Interkonnektors 28 vorgesehen sein.

Die in den Fig. 3, 4, 5 und 6 gezeigten und vorstehend beschriebenen Abwandlungen beziehen sich auf die Brennstoffzelle 1, bei welcher die Anode 8, die Elektrolytschicht 10 und die Kathode 12 von außen nach innen angeordnet sind. Die gleichen Abwandlungen sind jedoch auch auf die Brennstoffzelle 100 anwendbar, bei welcher die Reihenfolge der Schichten in radialer Richtung umgekehrt ist. Die erforderlichen Anpassungen sind aus der vorstehenden Beschreibung ohne weiteres ersichtlich.

In den bisher gezeigten Ausführungsformen ist der innere Strömungskanal 16 durch ein einziges durchgehendes Loch verwirklicht, welches die Interkonnektorschicht 28, die Isolationschicht 26 und die Kathodenschicht 12 bzw. die zweite Kathodenschicht 15 mittig in axialer Richtung durchdringt. Der Strömungskanal 16 ist jedoch nicht auf diese Ausführung beschränkt. Gemäß einer nicht näher dargestellten Abwandlung ist es auch möglich, dass mehrere ggf. kleinere Durchgangslöcher die Brennstoffzelle 1 in axialer Richtung durchdringen, die auf dem Querschnitt der Brennstoffzelle 1 verteilt sind, wobei es nicht erforderlich ist, dass eines der Durchgangslöcher genau in der axialen Mitte der Brennstoffzelle 1 angeordnet ist. Es ist nur zu beachten, dass die Durchgangslöcher ausschließlich in einem Querschnittsbereich vorzusehen sind, welcher der Kathodenschicht 12 bzw. der zweiten Kathodenschicht 15 entspricht. Hierdurch wird die Kontaktfläche zwischen Brenngas und Kathode vergrößert.

Besonders groß wird die Kontaktfläche zwischen Brenngas und Kathode 12 bzw. zweiter Kathodenschicht 15, wenn, anstatt Löcher in der Kathode vorzusehen, die Porosität des Materials der Kathode 12 oder zumindest der zweiten Kathodenschicht 15 so gewählt wird, dass sich Gaskanäle innerhalb derselben bilden. Lediglich innerhalb der Interkonnektorschicht 28 und der Isolationschicht 26 sind dann noch Durchgangslöcher erforderlich, um den Gasstrom von einer Brennstoffzelle 1 zur nächsten zu gewährleisten. Ggf. kann die zweite Kathodenschicht 15 an der ersten Stirnseite 4 der Brennstoffzelle 1 auch etwas zurückgenommen sein, um die Druckverteilung an der ersten Stirnseite 4 zu vergleichmäßigen. Derzeit wird jedoch bevorzugt, die Kathodenschicht im Bereich der ersten Stirnseite 4 so weit wie möglich zu belassen, um möglichst guten elektrischen Kontakt mit der nächsten Zelle (d.h., mit dem Interkonnektor 28 der nächsten Zelle 1) zu gewährleisten.

In Fig. 7 ist eine Abwandlung der Brennstoffzelle 1 gemäß der ersten Ausführungsform schematisch gezeigt, die in ihrem Grundaufbau dem in Fig. 3a gezeigten entspricht und die vorstehenden Überlegungen verwirklicht. D.h., die Rohrwandung 2 der Brennstoffzelle 1 umfasst von außen nach innen die Anode oder Anodenschicht 8, gefolgt von der Elektrolytschicht 10 als Teil eines auch die Isolationschicht 26 umfassenden Elektrolyttopfes 52 und der Kathodenschicht oder Kathode 12, welche die innerste Schicht der Rohrwandung 2 darstellt. Die Kathode 12 umfasst eine erste Kathodenschicht 14 und eine an die erste Kathodenschicht 14 angrenzende zweite Kathodenschicht 15. Die zweite Kathodenschicht 15 geht bis zur axialen Mitte der Brennstoffzelle 1 durch (wodurch die rohrförmige Brennstoffzelle 1 auch als stabförmige Brennstoffzelle betrachtet werden kann) und ist von Gaskanälen 15a durchzogen, die sich durch geeignete Wahl der Porosität des Materials der Kathodenschicht 15 bilden und Teil des inneren Strömungskanals sind.

Zusätzlich enthält der zentrale Teil des inneren Strömungskanals 16 einen Kern 46, auf welchem die Schichten der Kathoden-, Elektrolyt- und Anodenschichten leicht aufgebracht werden können. Die Dimensionierung des Kerns 46 in radialer Richtung ist in Abhängigkeit z.B. von der Porosität des Kathodenmaterials so bemessen, dass ein optimales Verhältnis der Strömungsmengen im äußeren Strömungskanal 20 und im inneren Strömungskanal 16, 15a erzielt wird. Der Kern 46 ist aus einem Material hergestellt, das weniger porös als das der zweiten Kathodenschicht 15 ist, und bewirkt, dass der Strömungswiderstand in diesem Teil größer ist als in den Gaskanälen 15a in der zweiten Kathodenschicht 15. Dadurch wird der Gasstrom durch die Strömungskanäle 15a in der zweiten Kathodenschicht 15 gezwungen.

Der Kern 46 ist im Bereich des oberen Endes 4 ein Stück zurückgenommen, da sonst die Strömung des Brenngases zur nächsten Brennstoffzelle 1 (d.h., in den inneren Strömungskanal 16 in dem Interkonnektor 28 und der Isolationsschicht 26 der nächsten Brennstoffzelle 1) blockiert wäre. Im gezeigten Beispiel ist der dadurch frei werdende Raum durch das Material der zweiten Kathodenschicht 15 ausgefüllt, er kann aber auch ganz oder teilweise frei bleiben; dadurch kann je nach Herstellungsweise u.U. ein zusätzlicher Arbeitsschritt eingespart werden.

Die Fig. 8, 9 und 10 zeigen schematisch eine Brennstoffzellenanordnung bzw. Brennstoffzellenstapelanordnung, die eine Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Brennstoffzellensäulen 32 umfasst. Die einzelnen Brennstoffzellensäulen 32 wiederum bestehen aus einer Mehrzahl von aufeinander gestapelten Brennstoffzellen 1 bzw. 100. Diese Brennstoffzellensäulen 32 sind in einem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter 34 angeordnet. Wie insbesondere aus der Fig. 8 zu ersehen ist, umfassen die einzelnen Brennstoffzellensäulen 32 an ihrem oberen und unteren Ende eine Einrichtung 36 zum Beaufschlagen mit mechanischem Druck, so dass die einzelnen Brennstoffzellen 1 bzw. 100 in der jeweiligen Brennstoffzellensäule 32 aufeinander gedrückt werden.

Das Innere des gemeinsamen Wärmetauscherbehälters 34, in dem die Brennstoffzellensäule 32 eingetaucht sind, bilden einen gemeinsamen Dampfraum für ein während des Wärmetransports die Phase wechselndes Wärmetransportmedium 38, z.B. in Form von Natrium. Wie insbesondere aus Fig. 8 zu ersehen ist, ist der äußere Strömungskanal 20 für Brenngas 22 oder Oxidationsmittel 18 durch eine Brennstoffzellenhülle 40 begrenzt. Im gezeigten Beispiel wird Brenngas 22 der Brennstoffzellenhülle 40 von unten zugeführt und strömt im äußeren Strömungskanal 20 nach oben, während die Luft 18 der Anordnung zunächst im oberen Bereich zugeführt wird, dann in einem den Wärmetauscherbehälter 34 umgebenden Kanal diesen umströmend nach unten geleitet und im unteren Bereich der Brennstoffzellenhülle 40 dem inneren Strömungskanal 16 der Brennstoffzellen 1, 100 zugeführt wird. In diesem inneren Strömungskanal 16 strömt die Luft nach oben. Oberhalb der Brennstoffzellensäule werden die Gasströme des inneren Strömungskanals 16 und des äußeren Strömungskanals 20 zusammengeführt und dann gemeinsam abgeführt.

Die in der Brennstoffzelle 1, 100 erzeugte Abwärme wird über die Brennstoffzellenhülle 40 an das Wärmetransportmedium 38 abgegeben. Dabei bildet der gemeinsame Wärmetauscherbehälter 34 mit dem die Phase wechselnden Natrium als Wärmetransportmedium 38 eine Art Heat-Pipe (Wärmerohr). Das flüssige Natrium 38 verdampft an der Brennstoffzellenhülle 40, strömt zur Außenseite des gemeinsamen Wärmetauscherbehälters 34 und kondensiert dort und gibt dabei Wärme ab. Gleichzeitig kann das dampfförmige Wärmetransportmedium 38 auch in kühleren Bereichen der Brennstoffzellenhülle 40 (einem unteren Bereich in Fig. 8) kondensieren, während es in den Bereichen, in denen sich das Gas in dem äußeren Strömungskanal 20 aufgrund der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle 1, 100 bereits aufgeheizt hat, (einem oberen Bereich in Fig. 8) das flüssige Natrium verdampft, wodurch die gesamte Brennstoffzellenhülle 40 isotherm gehalten wird. Zusätzlich kann das dampfförmige Wärmetransportmedium 38 die Wärme auch an das den Wärmetauscherbehälter 34 umströmende Gas abgeben, sodass dieses bei Eintritt in den inneren Strömungskanal 16 im unteren Bereich der Brennstoffzellensäule 32 bereits vorgewärmt ist. Das gasförmige Natrium 38 kann aber auch zusätz-

lich oder allein an ganz anderer Stelle kondensieren, um seine thermische Energie nutzbar zu machen.

Es versteht sich, dass in dem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter 34 nicht nur Brennstoffzellen gemäß der vorliegenden Erfindung, sondern auch bereits im Stand der Technik bekannte tubuläre Brennstoffzellen angeordnet werden können.

#### Bezugszeichenliste

10	1, 100	Brennstoffzelle
	2	Rohrwandung
	4	erste, obere Stirnseite
	6	zweite, untere Stirnseite
	8	Anode(-nschicht)
15	8c	ringförmiger Überlappungsabschnitt
	8e	ringförmiger Überlappungsabschnitt
	10	Elektrolyt(-schicht)
	12	Kathode(-nschicht)
	14	erste Kathodenschicht
20	15	zweite Kathodenschicht
	15a	Gaskanäle in der zweiten Kathodenschicht
	16	innerer Strömungskanal 18 Oxidationsmittel
	20	äußerer Strömungskanal
	22	Brenngas
25	24	erste elektrische Kontaktfläche
	26	kreisringförmige Isolationsschicht
	28	kreisringförmige Leiterschicht bzw. Interkonnektor
	28b	ringförmiger Verlängerungsabschnitt
	28c, 28c'	ringförmiger Verlängerungsabschnitt
30	28d	erster ringförmiger Verlängerungsabschnitt
	28d'	zweiter ringförmiger Verlängerungsabschnitt
	28e	ringförmiger Verlängerungsabschnitt
	30	zweite elektrische Kontaktfläche
	32	Brennstoffzellensäule
35	34	gemeinsamer Wärmetauscherbehälter
	36	Einrichtung zum Beaufschlagen mit Druck
	38	Wärmetransportmedium
	40	Brennstoffzellenhülle
	42	Kapillarstruktur
40	44	Keramikstab
	46	Kern (Material hohen Strömungswiderstands)
	48	Abstandshalter
	50	kragenförmige Verlängerung
	52	Elektrolyttopf

45

#### Patentansprüche:

1. Rohrförmige oder stabförmige Brennstoffzelle (1; 100), mit
  - einer ersten und einer zweiten Stirnseite (4, 6);
  - einer sich zwischen den beiden Stirnseiten (4, 6) erstreckenden Rohrwandung (2);
  - einer Kathode (12) und einer Anode (8), die sich in der Rohrwandung (2) jeweils insbesondere mantelförmig erstrecken, mit einem Festelektrolyten (10) dazwischen;
  - einem inneren Strömungskanal (16; 15a) für Oxidationsmittel (18) oder Brenngas (22); und
  - einem äußeren, die Rohrwandung (2) umgebenden Strömungskanal (20) für Brenngas (22)

55

oder Oxidationsmittel (18),  
*dadurch gekennzeichnet,*

dass auf der ersten Stirnseite (4) eine sich in radialer Richtung erstreckende erste elektrische Kontaktfläche (24) zur elektrischen Kontaktierung einer der Kathode (12) und der

Anode (8) angeordnet ist,  
dass auf der zweiten Stirnseite (6) eine sich in radialer Richtung erstreckende zweite elektrische Kontaktfläche (30) zur elektrischen Kontaktierung der anderen der Kathode (12) und der Anode (8) angeordnet ist, und

dass die elektrischen Kontaktflächen (24, 30) jeweils eine Öffnung für den inneren Strömungskanal (16) aufweisen.

2. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet,* dass die elektrischen Kontaktflächen (24, 30) plan sind.

3. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Brennstoffzelle (1; 100) im Querschnitt kreisringförmig ist.

4. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Schichtdicke der Kathode (12) in radialer Richtung wesentlich größer ist als die Schichtdicke der Anode (8).

5. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 4, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Schichtdicke der Kathode (12) mindestens 10%, vorzugsweise 20% bis 60% und insbesondere 30% bis 50% des Radius der rohrförmigen Brennstoffzelle (1; 100) beträgt.

6. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Kathode (12) eine die Elektrolytschicht (10) kontaktierende erste Kathodenschicht (14) aus Lanthan-Strontium-Manganoxid und eine mit der ersten Kathodenschicht (14) verbundene zweite Kathodenschicht (15) aus leitender Keramik, insbesondere aus Perovskit aufweist.

7. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 6, *dadurch gekennzeichnet,* dass die zweite Kathodenschicht (15) wesentlich dicker als die erste Kathodenschicht (14) ist.

8. Brennstoffzelle (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Kathode (12) eine innere Schicht der Rohrwandung (2) bildet und insbesondere dem inneren Strömungskanal (16) zugewandt ist und die Anode (8) eine äußere Schicht der Rohrwandung (2) bildet und dem äußeren Strömungskanal (20) zugewandt ist.

9. Brennstoffzelle (1) nach Anspruch 8, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Stirnfläche der Kathode (12) auf der Seite der ersten Stirnseite (4) die erste elektrische Kontaktfläche (24) als Kontaktfläche für die Kathode (12) bildet und die Stirnfläche der Anode (8) auf der Seite der zweiten Stirnseite (6) die zweite elektrische Kontaktfläche (30) als Kontaktfläche für die Anode (8) bildet.

10. Brennstoffzelle (1) nach Anspruch 9, *dadurch gekennzeichnet,* dass die zweite elektrische Kontaktfläche (30) auf der zweiten Stirnseite (6) der Rohrwandung (2) eine ringförmige Schicht (28) aus elektrisch leitendem Material aufweist, und dass zwischen der ringförmigen Schicht (28) und der Stirnfläche der Kathode (12) auf der Seite der zweiten Stirnseite (6) eine ringförmige, elektrisch isolierende Schicht (26) angeordnet ist.

11. Brennstoffzelle (1) nach Anspruch 9 oder 10, *dadurch gekennzeichnet,* dass die Kathode (12) im Bereich der ersten elektrischen Kontaktfläche (24) und im übrigen Bereich eine unterschiedliche Zusammensetzung aufweist.

12. Brennstoffzelle (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zweite Kathodenschicht (15) von Gaskanälen (15a) durchzogen ist, die wenigstens einen Teil des inneren Strömungskanals bilden, wobei die zweite Kathodenschicht vorzugsweise wenigstens teilweise bis zur radialen Mitte der Brennstoffzelle (1) reicht.
- 5
13. Brennstoffzelle (1) nach Anspruch 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass der zentrale Teil der Brennstoffzelle (1) einen Kern (46) enthält, der aus einem Material derart besteht, dass der Strömungswiderstand in diesem Teil größer ist als in den Gaskanälen (15a) in der zweiten Kathodenschicht (15), und dessen Stirnfläche auf der Seite der ersten Stirnseite (4) der Brennstoffzelle (1) in axialer Richtung zurückgenommen ist.
- 10
14. Brennstoffzelle (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Anode (8) dem inneren Strömungskanal (20) und die Kathode (12) dem äußeren Strömungskanal (16) zugewandt ist.
- 15
15. Brennstoffzelle (100) nach Anspruch 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Stirnfläche der Anode (8) auf der Seite der ersten Stirnseite (4) die erste elektrische Kontaktfläche (24) als Kontaktfläche für die Anode (8) bildet und die Stirnfläche der Kathode (12) auf der Seite der zweiten Stirnseite (6) als Kontaktfläche für die Kathode (12) bildet.
- 20
16. Brennstoffzelle (100) nach Anspruch 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zweite elektrische Kontaktfläche (30) eine ringförmige Schicht (28) aus elektrisch leitendem Material aufweist, und dass zwischen der ringförmigen Schicht (28) und der Stirnfläche der Anode (8) auf der Seite der zweiten Stirnseite (6) der Rohrwandung (2) eine ringförmige, elektrisch isolierende Schicht (26) angeordnet ist.
- 25
17. Brennstoffzelle (100) nach Anspruch 15 oder 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Kathode (12) im Bereich der zweiten elektrischen Kontaktfläche (30) und im übrigen Bereich eine unterschiedliche Zusammensetzung aufweist.
- 30
18. Brennstoffzelle (100) nach einem der Ansprüche 14 bis 17, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zweite Kathodenschicht (15) von Gaskanälen durchzogen ist, die wenigstens einen Teil des äußeren Strömungskanals bilden.
- 35
19. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der Ansprüche 10 bis 13 und 16 bis 18, *dadurch gekennzeichnet*, dass die elektrisch isolierende Schicht (26) aus Feststoffelektrolytmaterial besteht.
- 40
20. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass es sich bei der Brennstoffzelle (1; 100) um eine SOFC-, MCFC- oder PEM-Zelle handelt.
- 45
21. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass mehrere der Brennstoffzellen (1; 100) in Serie hintereinander derart anordenbar sind, dass die elektrischen Kontaktflächen (24, 30) benachbarter Brennstoffzellen (1, 100) aufeinander liegen und die Strömungskanäle einen oder mehrere gemeinsame innere Strömungskanäle (16) für Oxidationsmittel/Brenngas (18, 22) und einen gemeinsamen äußeren Strömungskanal (20) für Brenngas/Oxidationsmittel (22, 18) bilden.
- 50
22. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 21, *dadurch gekennzeichnet*, dass im Bereich der ersten und/oder der zweiten Stirnseite (4, 6) eine Führungseinrichtung (48; 50) vorgesehen ist, um die Strömungskanäle der einzelnen Brennstoffzellen zueinander auszurichten, wobei die Führungseinrichtung (48; 50) vorzugsweise aus Festelektrolytmaterial, insbesondere einstückig mit der Elektrolytschicht (10) ausgebildet ist.
- 55

23. Brennstoffzelle (1; 100) nach Anspruch 22, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Führungseinrichtung (48) als Abstandshalter für zwei nebeneinander angeordneten Brennstoffzellen oder als Abstandshalter zu der Brennstoffzellenhülle (40) ausgelegt ist.
- 5 24. Brennstoffzelle (1; 100) nach einem der Ansprüche 21 bis 23, *dadurch gekennzeichnet*, dass die elektrischen Kontaktflächen (24, 30) geglättet sind, um die Abdichtung des inneren gegen den äußeren Strömungskanal (16, 20) zu verbessern.
- 10 25. Brennstoffzellensäule (32) mit einer Mehrzahl von rohrförmigen Brennstoffzellen (1; 100) nach einem der Ansprüche 21 bis 24, *dadurch gekennzeichnet*, dass mehrere Brennstoffzellen (1; 100) derart in Serie hintereinander angeordnet sind, dass die elektrischen Kontaktflächen (24, 30) benachbarter Brennstoffzellen (1, 100) aufeinander liegen, und ein oder mehrere gemeinsame innere Strömungskanäle (16) für Oxidationsmittel/Brenngas (18, 22) und ein gemeinsamer äußerer Strömungskanal (20) für Brenngas/Oxidationsmittel (22, 18) gebildet sind.
- 15 26. Brennstoffzellensäule (32) nach Anspruch 25, *dadurch gekennzeichnet*, dass zwischen den elektrischen Kontaktflächen (24, 30) unmittelbar benachbarter Brennstoffzellen (1; 100) eine elektrische leitende Schicht eingefügt ist, die gleichzeitig die Abdichtung des inneren gegen den äußeren Strömungskanal (16, 20) verbessert.
- 20 27. Brennstoffzellensäule (32) nach einem der Ansprüche 25 oder 26, *gekennzeichnet durch* eine Einrichtung (36) zum Beaufschlagen von mechanischem Druck auf die hintereinander angeordneten Brennstoffzellen (1; 100).
- 25 28. Brennstoffzellensäule (32) nach einem der Ansprüche 25 bis 27, *gekennzeichnet durch* eine Einrichtung zum Zentrieren der hintereinander angeordneten Brennstoffzellen (1; 100).
- 30 29. Brennstoffzellensäule (32) nach Anspruch 28, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zum Zentrieren der hintereinander angeordneten Brennstoffzellen (1; 100) als Abstandshalter (44) zwischen der Rohrwandung (2) und der Brennstoffzellenhülle (40) ausgebildet ist.
- 35 30. Brennstoffzellenstapelanordnung mit einer Mehrzahl von rohrförmigen Brennstoffzellen (1; 100) nach einem der Ansprüche 1 bis 24 oder einer Mehrzahl von Brennstoffzellensäulen (32) nach einem der Ansprüche 25 bis 29, wobei die Mehrzahl der Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen (1; 100; 32) nebeneinander in einem gemeinsamen Wärmetauscherbehälter (34) angeordnet sind, und
- 40 wobei in dem Wärmetauscherbehälter (34) ein Wärmetransportmedium (38) zirkuliert, das Abwärme der Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen aufnimmt.
- 45 31. Brennstoffzellenstapelanordnung nach Anspruch 30, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Wärmetransportmedium (38) die von der Mehrzahl der Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen aufgenommene Abwärme in einer Wärmesenke abgibt oder Wärme aus einer Wärmequelle an die Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen abgibt.
- 50 32. Brennstoffzellenstapelanordnung nach Anspruch 30 oder 31, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Wärmetransportmedium (38) während des Wärmetransports einen Phasenwechsel durchläuft.
- 55 33. Brennstoffzellenstapelanordnung nach Anspruch 32, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Wärmetransportmedium (38) durch Verdampfung Abwärme von der Mehrzahl der Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen (1; 100; 32) aufnimmt und durch Kondensation in kühleren Bereichen (Wärmesenke) des Wärmetauscherbehälters (34) durch Kondensation

wieder abgibt.

34. Brennstoffzellenstapelanordnung nach Anspruch 32 oder 33, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Wärmetauscherbehälter (34) Teil einer Wärmerohranordnung ist.
- 5 35. Brennstoffzellenstapelanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 34, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Mehrzahl der Brennstoffzellen/Brennstoffzellensäulen (1; 100; 32) an ihrer Außenseite wenigstens teilweise mit einer Kapillarstruktur (42) versehen sind.
- 10 36. Brennstoffzellenstapelanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 35, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Wärmetransportmedium Natrium ist.

## Hiezu 8 Blatt Zeichnungen

15

20

25

30

35

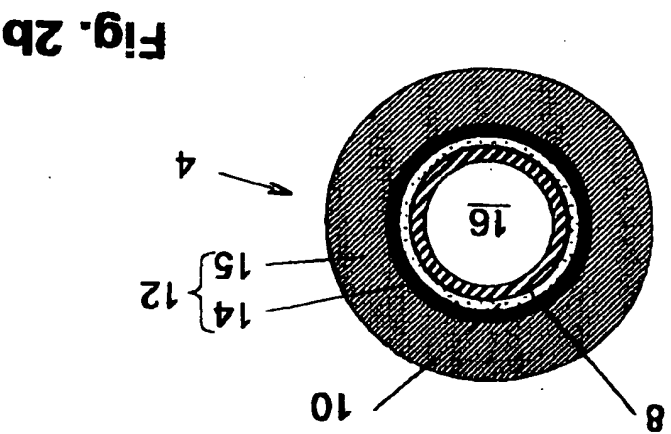
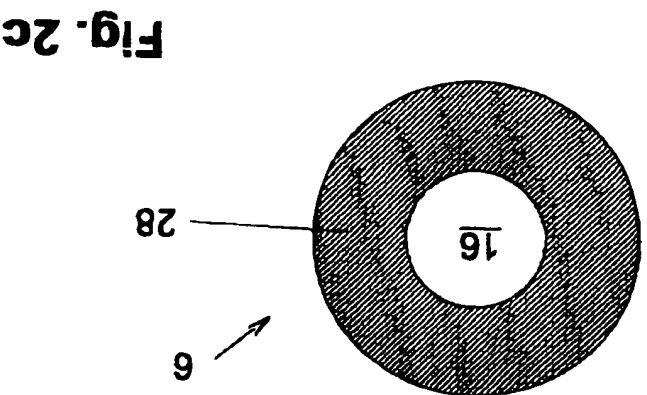
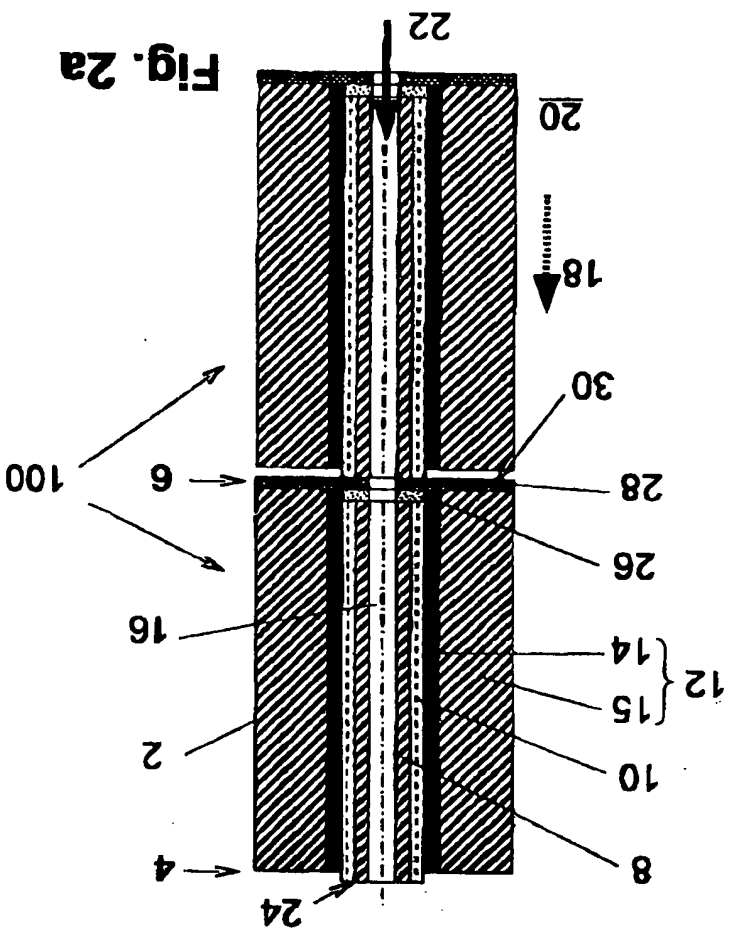
40

45

50

55





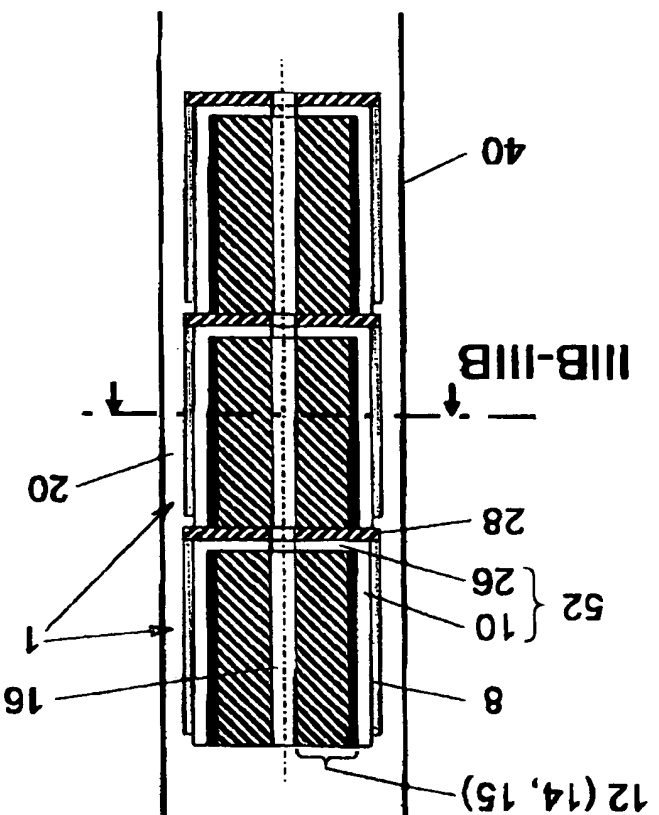
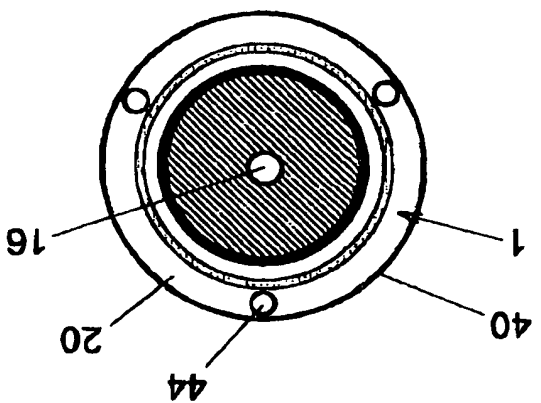


Fig. 3b



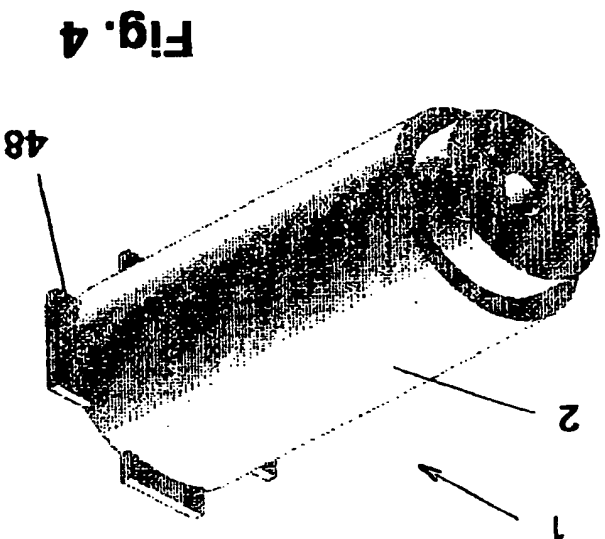


Fig. 4

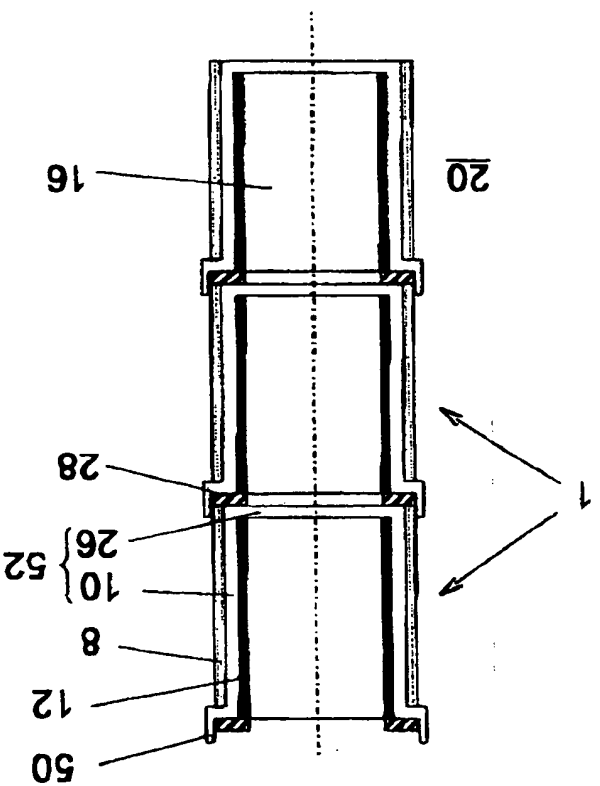


Fig. 5



Fig. 6a

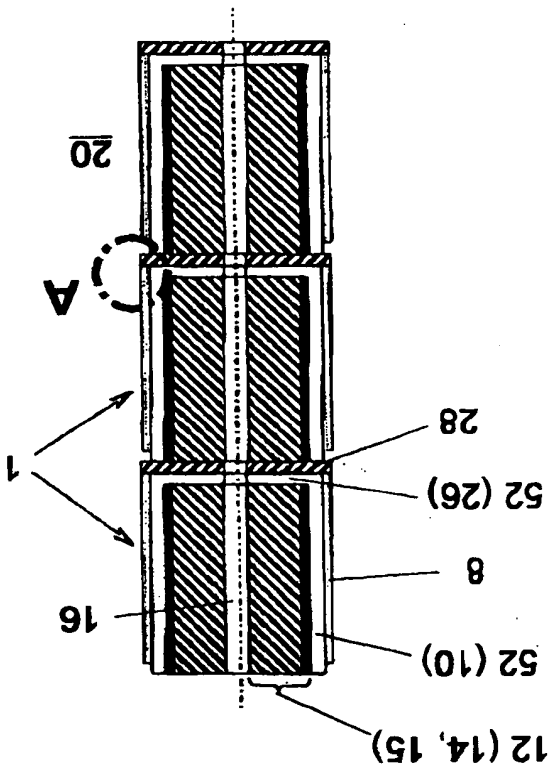


Fig. 6d

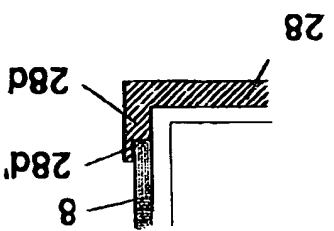


Fig. 6b

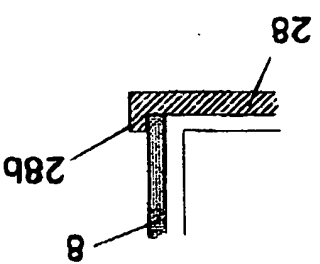


Fig. 6e

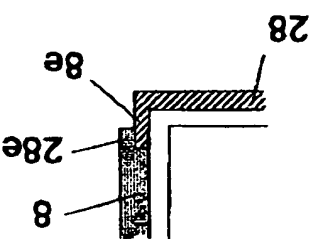
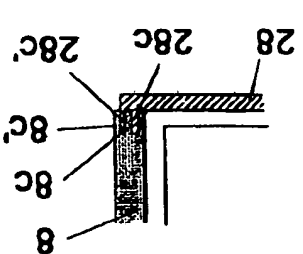
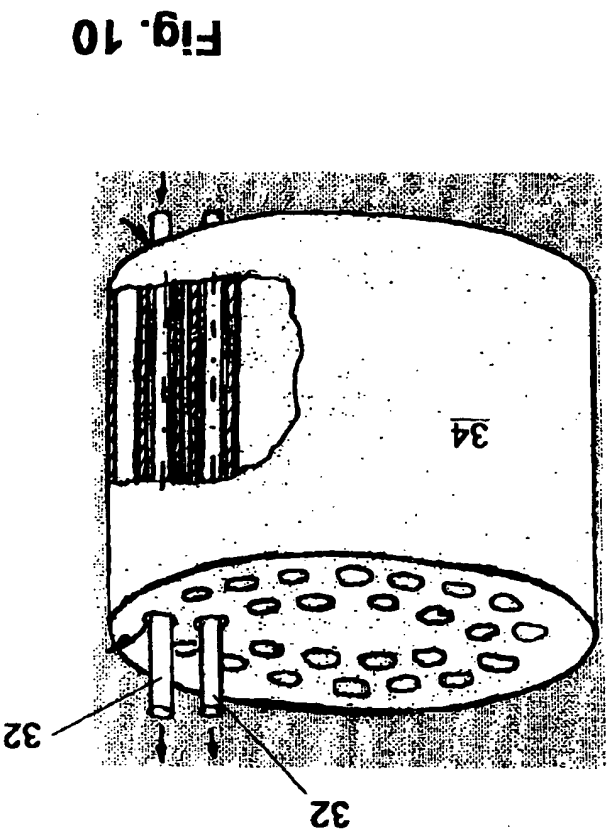
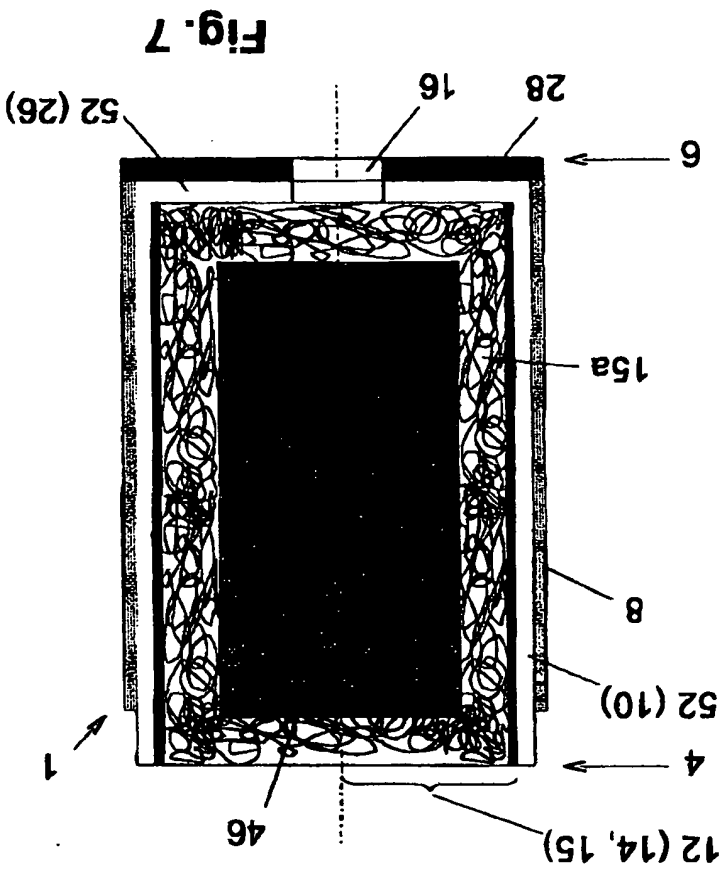


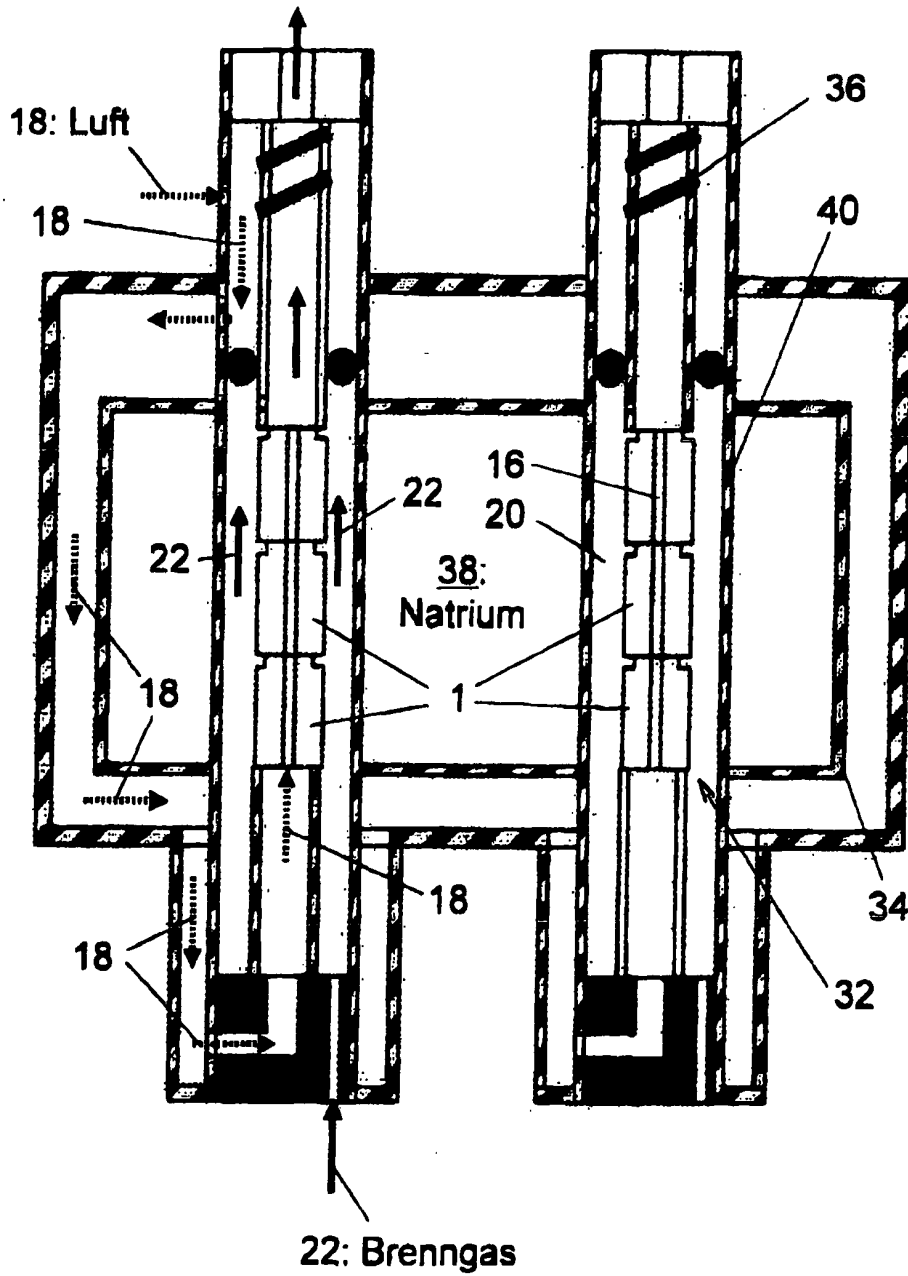
Fig. 6c







**Fig. 8**



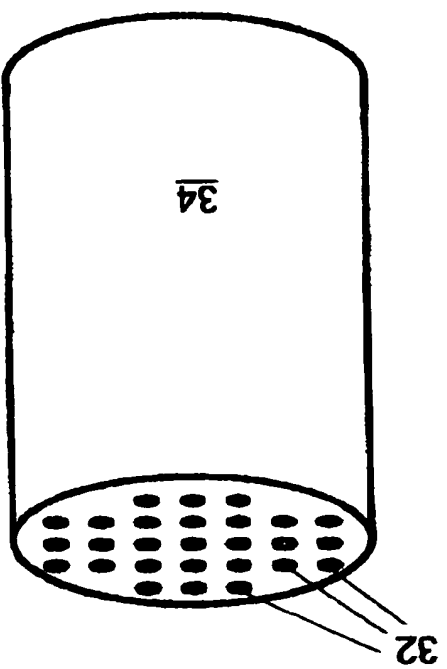


Fig. 9a

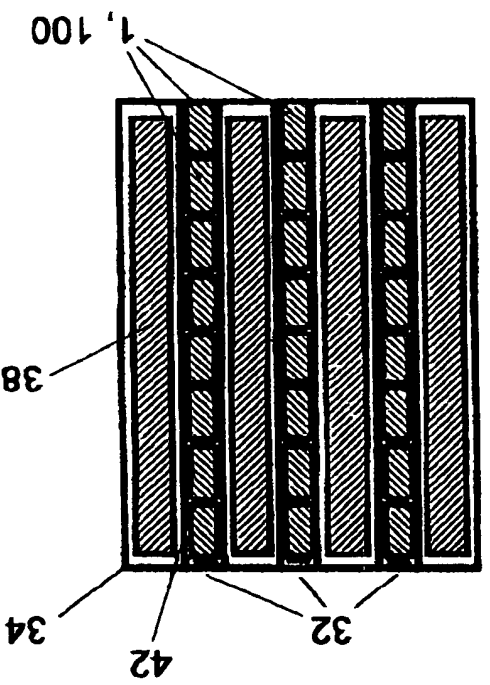


Fig. 9b