



(10) **DE 103 93 165 B4** 2012.11.22

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **103 93 165.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/26041**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/021473**
(86) PCT-Anmeldetag: **20.08.2003**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.03.2004**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **12.01.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.11.2012**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
10/230,916 **29.08.2002** **US**

(73) Patentinhaber:
General Motors Corp., Detroit, Mich., US

(74) Vertreter:
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336,
München, DE**

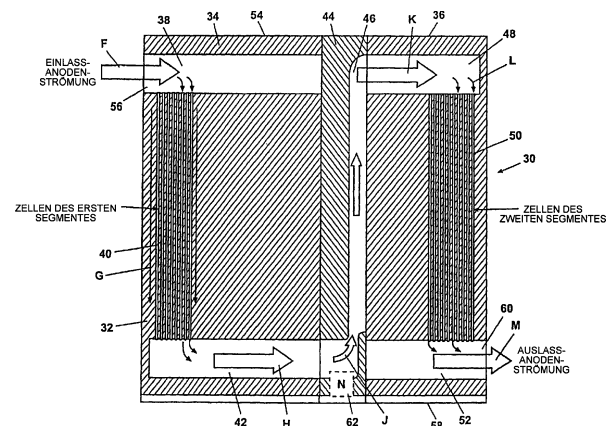
(72) Erfinder:
**Rapaport, Pinkhas A., Fairport, N.Y., US; Rock,
Jeffrey A., Fairport, N.Y., US; Bosco, Andrew D.,
Rochester, N.Y., US; Salvador, John P., Penfield,
N.Y., US; Gasteiger, Hubert, Rochester, N.Y., US;
Paine, Lesley, Rochester, N.Y., US**

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

DE	102 43 163	B4
DE	33 23 491	A1
DE	100 54 444	A1
US	54 78 662	A
US	57 63 113	A

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellenstapel und Betriebsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Brennstoffzellenstapel mit:
einer Vielzahl von Brennstoffzellen (40, 50), die in zumindest
zwei Brennstoffzellensegmente (34, 36; 70, 72) unterteilt
sind, von denen jedes einen Anteil der Vielzahl von Brennstoffzellen (40, 50), die darin angeordnet sind, aufweist, und die als aufeinander folgende oberstromige und unterstromige Paare von Segmenten (34, 36; 70, 72) angeordnet sind; wobei jeder der Anteile der Brennstoffzellen jedes Segmentes (34, 36; 70, 72) eine Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen aufweist, die mit einem gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgang (38, 48) und einem gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgang (42, 52) versehen sind; wobei jedes Paar von Segmenten (34, 36; 70, 72) ein Separatorsegment (44) aufweist, das zwischen dem oberstromigen Segment (34) und dem unterstromigen Segment (36) angeordnet ist, wobei das Separatorsegment (44) in Fluidverbindung mit dem gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgang (42) des oberstromigen Segmentes (34) und dem gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgang (48) des unterstromigen Segmentes (36) desselben Segmentpaares (34, 36; 70, 72) steht; wobei jeder der Vielzahl von...



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Brennstoffzellensysteme und insbesondere einen Brennstoffzellenstapel und ein Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellenstapels.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Brennstoffzellen sind bei vielen Anwendungen als eine Energie- bzw. Antriebsquelle vorgeschlagen worden, wobei Brennstoffzellen beispielsweise zur Verwendung in elektrischen Fahrzeugantriebsanlagen als Ersatz für Verbrennungsmotoren vorgeschlagen worden sind. Bei Brennstoffzellen vom Typ mit Protonenaustauschmembran (PEM) wird Wasserstoff an die Anode der Brennstoffzelle und Sauerstoff als das Oxidationsmittel an die Kathode geliefert. Eine typische PEM-Brennstoffzelle und ihre Membranelektrodenanordnung (MEA) sind in den U.S.-Patenten US 5,272,017 A und US 5,316,871 beschrieben, die am 21. Dezember 1993 bzw. 31. Mai 1994 erteilt wurden und auf die General Motors Corporation übertragen sind. Die MEAs umfassen eine dünne, protonendurchlässige, nicht elektrisch leitende Festpolymerelektrolytmembran, die auf einer ihrer Seiten den Anodenkatalysator und auf der entgegengesetzten Seite den Kathodenkatalysator umfasst.

[0003] Die nachveröffentlichte Patentschrift DE 102 43 163 B4 offenbart ein Brennstoffzellenpaket, das ein Paket von Unterpaketen mit zwischen diesen angeordneten Zwischenplatten aufweist. Jedes der Unterpakete weist ein Paket aus Membranelektrodenanordnungen mit zwischen diesen angeordneten Separatoren auf, von denen jede eine Anode, eine Kathode und eine Ionenaustauschmembran umfasst, welche zwischen der Anode und der Kathode sandwichartig angeordnet ist. Jede der Zwischenplatten weist einen Verbindungsdurchgang zur Verbindung eines Reaktionsgasauslass-Verbindungsdurchgangs eines stromaufwärtigen Unterpakets bezüglich einer Richtung, in welcher ein Reaktionsgas geführt wird, und eines Reaktionsgaseinlass-Verbindungsdurchgangs eines stromabwärtigen Unterpakets bezüglich dieser Richtung auf.

[0004] Die US 5,763,113 A offenbart ferner ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung des Leistungsverhaltens eines Brennstoffzellenpakets. Das Brennstoffzellenpaket weist eine Vielzahl von Brennstoffzellen auf, die jeweils parallel zueinander an Zuleitungen und Ableitungen für Wasserstoff und Luft angeschlossen sind.

[0005] Die US 5,478,662 A offenbart ein Brennstoffzellensystem mit mehreren hintereinander an-

geordneten Brennstoffzellenstapeln. Das Kathodengas weist in jedem Brennstoffzellenstapel eine unidirektionale, schwerkraftunterstützte Strömungsrichtung auf.

[0006] Weiterer Stand der Technik ist aus der DE 33 23 491 A1 und der DE 100 54 444 A1 bekannt.

[0007] Der Begriff "Brennstoffzelle" wird typischerweise dazu verwendet, abhängig vom Zusammenhang entweder eine einzelne Zelle oder eine Vielzahl von Zellen (Stapel) zu bezeichnen. Zur Bildung eines Brennstoffzellenstapels wird üblicherweise eine Vielzahl einzelner Zellen miteinander gebündelt. Jede Zelle in dem Stapel umfasst eine Membranelektrodenanordnung, die ihren Spannungszuwachs liefert. Typische Anordnungen mehrerer Zellen in einem Stapel sind in dem Patent US 5,763,113 A beschrieben, das auf die General Motors Corporation übertragen wurde.

[0008] Die elektrisch leitenden Elemente, die die MEAs schichtartig anordnen, können eine Gruppierung aus Kanälen oder Nuten in ihren Seiten umfassen, um die gasförmigen Reaktanden der Brennstoffzellen über die Oberflächen der jeweiligen Kathode und Anode zu verteilen. In dem Brennstoffzellenstapel ist eine Vielzahl von Zellen in elektrischer Reihe aneinander gestapelt, während sie voneinander durch eine gasundurchlässige, elektrisch leitende bipolare Platte getrennt sind. Bei einer üblichen Konstruktion mit individuellem Durchgang werden die Reaktanden an die Brennstoffzellen durch einzelne Einlassverteiler und -sammelleitungen geliefert. Von einem Einlassverteiler, der eine Strömung an eine Einlasssammelleitung vorsieht, wird der Reaktand, beispielsweise die Anodenströmung, in eine Vielzahl von Strömungspfaden unterteilt, die einzelne Zellen speisen. Der gesamte Reaktand (in diesem Fall die Anodenströmung) verlässt als Abgas die einzelnen Zellen, mischt sich in der Auslasssammelleitung und verlässt den Stapel durch den Auslassverteiler. Bei der Konstruktion mit individuellem Durchgang besitzen die Anodenseiten aller Zellen dieselbe Einlasswasserstoffkonzentration.

[0009] Der Nachteil der Konstruktion mit individuellem Durchgang zum Führen von Reaktandengas besteht darin, dass der Brennstoffzellenstapel nicht in der Lage ist, bei niedriger Stöchiometrie stabil zu arbeiten, d. h. nahe des Massendurchflusses von Reaktanden, der erforderlich ist, um eine gegebene Leistungsabgabe zu erfüllen. Es ist daher schwierig, eine wirksame Wasserstoff- oder Sauerstoffverwendung zu erreichen. Aufgrund dessen ist der Systemwirkungsgrad nicht optimal.

[0010] Stapelkonstruktionen, die die obige Situation teilweise korrigieren, sind bekannt, wie beispielsweise die Stapelkonstruktion des Patentes

US 5,478,662 A, die auf Strasser erteilt ist. Bei Stapeln, wie beispielsweise der Strasser-Konstruktion, sind einzelne Gruppen paralleler Zellen angeordnet, wobei die Strömung in jeder Zelle jeder Gruppe parallel ist und die gesamte Strömung von jeder Gruppe zwischen Gruppen in Reihe strömt. Bei einer beispielhaften Stapelkonstruktion besitzt jede Stapelgruppe einen Einlass- und einen Auslassverteiler, und jeder Auslassverteiler hat Abläufe, um Wasser zu sammeln, das als ein Reaktionsprodukt gebildet wird. Wenn das Wasser nicht abgelassen wird, baut es sich in nachfolgenden Zellengruppen auf. Die Anzahl einzelner Brennstoffzellen variiert normalerweise bei diesen Stapelkonstruktionen, wobei die anfänglichen oder oberstromigen Segmente der Zellen die größte Anzahl einzelner Brennstoffzellen umfassen und jedes nachfolgende Segment eine verringerte Menge von Brennstoffzellen vorsieht. Bei diesem Ausgestaltungstyp besitzt das letzte Segment in dem Satz von Segmenten normalerweise die geringste Anzahl einzelner Brennstoffzellen.

[0011] Ein Nachteil gemeinsam gruppierter Stapelkonstruktionen entsteht dann, wenn Reaktandengase als Reformat inerte Komponenten besitzen, die durch den Stapel strömen. Der Inertgasanteil des Reformat-Brennstoffes, der durch jede Gruppe des Stapels hindurch beibehalten wird, konzentriert sich, wenn die Menge an Brennstoffzellen in jedem Segment abnimmt, und kann zur Folge haben, dass das letzte Stapelsegment den Gesamtdruckabfall durch den Stapel kontrolliert. Normalerweise umfasst ein Wasserstoffreformatstrom, der in einen Brennstoffzellenstapel eintritt, ungefähr 40 Vol.-% Wasserstoff. Das verbleibende Volumen umfasst Stickstoff und andere Gase. Es wird nur der Wasserstoff von dem Brennstoffzellenstapel verbraucht (Bildung von Wasser), wodurch 60% des Anodengasvolumens als Inertgas durch jede Gruppe des Stapels strömen. Dieses Volumen an Inertgas bestimmt den Druckabfall über die kleinsten Gruppen des Stapels. Wenn Luft als das Kathodengas verwendet wird, umfasst die Sauerstoffkonzentration normalerweise zwischen 20 bis 40 Vol.-% der Strömung. Das verbleibende Volumen von etwa 60 bis 80 Vol.-% der Kathodenströmung umfasst Stickstoff mit anderen Inertgasen.

[0012] Die obigen Reihen-/Parallelstapelkonstruktionen sehen normalerweise ein serpentinartiges Strömungsmuster durch den Stapel hindurch vor. Ein serpentinartiger Strömungspfad resultiert sowohl in anoden- als auch kathodenseitigen Reaktandenströmungen, die entweder horizontal durch den Stapel verlaufen oder die für eines oder mehrere einzelne Segmente die Schwerkraft überwinden müssen. Ein Wasseraufbau in den Brennstoffzellen verhindert einen Reaktandenkontakt mit den Katalysatormaterialien der Brennstoffzellen, wodurch der Stapelwirkungsgrad verringert wird. Wasser, das in den nicht schwerkraftunterstützten Gruppen erzeugt wird,

muss durch die Zellen mit dem Reaktandengas gedrängt werden oder es muss zugelassen werden, dass dieses gegen die Reaktandenströmungsrichtung zur Entfernung von dem Stapel "rückfließen" kann, wodurch der Wirkungsgrad des Stapels verringert wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Die obigen Nachteile für Brennstoffzellenstapel werden durch eine Stapelkonstruktion der vorliegenden Erfindung gelöst. Die Stapelkonstruktion der vorliegenden Erfindung umfasst einzelne Segmente von Brennstoffzellenelementen, die in gleichwertigen oder verschiedenen Mengen von Brennstoffzellenelementen in jedem Segment angeordnet sind. Jedes Segment ist derart ausgebildet, dass es eine Strömung in jeder Brennstoffzelle in einer schwerkraftunterstützten Richtung vorsieht. Diese Anordnung steigert die Stabilität des Brennstoffzellenstapelbetriebs, indem zugelassen wird, dass das gesamte Volumen entweder der anodenseitigen oder kathodenseitigen oder beiden Strömungen durch die Segmente des Stapels verteilt wird, in dem nur ein Anteil der Gesamtzahl der Zellen vorhanden ist.

[0014] Bei einer bevorzugten Ausführungsform reicht ein erstes Segment, das normalerweise den größten Prozentsatz von Stapelbrennstoffzellen umfasst, den größten Prozentsatz des in dieses Segment eintretenden Reaktanden ab. Das erste Segment ist derart ausgebildet, um eine abwärts gerichtete oder schwerkraftunterstützte Strömung durch jede Zelle vorzusehen. Der das erste Segment verlassende Reaktand wird an ein zweites Segment gerichtet, das eine kleinere Menge von darin angeordneten Brennstoffzellen aufweist, das ebenfalls angeordnet ist, um eine schwerkraftunterstützte Strömung vorzusehen. Dieses zweite Segment reagiert den Großteil des verbleibenden Brennstoffes von der Reaktandenströmung. Wenn es notwendig ist, wird ein drittes oder werden weitere Segmente von Zellen verwendet, um die Verwendung des Wasserstoffs und Sauerstoffs von den Reaktandenströmungen zu maximieren. Jedes Segment sieht parallele Brennstoffzellen vor und ist für eine schwerkraftunterstützte Strömung durch jede Zelle des Segmentes ausgebildet. Die Gesamtstöchiometrie des Stapels wird durch die Konstruktion der vorliegenden Erfindung verbessert.

[0015] Zwischen jedem Stapelsegment ist ein Separatorsegment angeordnet, wobei die gesamte Strömung, die das vorhergehende Segment verlässt, durch das Separatorsegment geführt wird. Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Separatorsegmente zwischen einem Paar bipolarer Platten angeordnet, die keine Membranelektrodenanordnung (MEA) aufweisen. Der Zweck des Separatorsegments besteht darin, die gesamte Strömung von dem Auslass oder unteren Abschnitt dieses Seg-

ments in den Einlass oder oberen Abschnitt des nächsten nachfolgenden Segmentes ohne Reaktion in der Brennstoffströmung und daher ohne Erzeugung von zusätzlichem Wasser umzulenken. Jedes Separatorsegment ist ein Bauelement, das an einzelnen Segmenten von Brennstoffzellenelementen anliegt. Zwischen jedem Paar von Segmenten der Brennstoffzellen ist ein separates Separatorelement vorgesehen, um eine Strömung zwischen einzelnen Strömungsgruppen, d. h. Anode, Kathode und Kühlmittel, separat umzulenken. Die jedes Strömungssegment verlassende Strömung wird an einem unteren Abschnitt dieses Stapelsegmentes gesammelt und allgemein aufwärts zu einem oberen Einlass des nächsten nachfolgenden Segmentes umgeleitet, um eine "kaskadenartige" Stapelkonstruktion zu bilden. Dies sieht eine Strömung durch die einzelnen Brennstoffzellensegmente nur in einer schwerkraftunterstützten Richtung, d. h. abwärts, vor.

[0016] Wasser, das als ein Reaktionsprodukt in jedem einzelnen Segment gebildet wird, wird gemeinsam an der Basis jedes folgenden Separatorsegments abgelassen. Dieses Wasservolumen wird durch Ablassleitungen an einen Austragspunkt in dem Stapel ausgetragen. Dies stellt sicher, dass das in jedem Segment des Stapels gebildete Wasser in einer schwerkraftunterstützten Richtung zu den Schwerkraftablasspunkten an der Basis jedes Separatorelements abläuft und sieht ein effektives Entferungsverfahren für in dem Stapel erzeugtes flüssiges Wasser vor.

[0017] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sieht auch eine gewählte Verwendung einer abgewandelten Stromgeometrie für die Strömung für Brennstoffzellenelemente in jedem Brennstoffzellensegment vor. Durch Abwandlung der Strömungspfadgeometrie, d. h. Erhöhung der Strömungsdurchgangsgröße oder -länge der Brennstoffzellenelemente in zumindest einem gewählten Segment können verschiedene Reformatströme aus Reaktand mit unterschiedlichen Volumenprozentanteilen an Inertgas(en) verwendet werden. Der Reformatbrennstoffstrom umfasst normalerweise ein höheres Inertgasvolumen im Vergleich zu dem Volumen des Reaktandengases, d. h. Wasserstoff. Beispielsweise umfasst ein geeigneter Reformatbrennstoffstrom anfänglich etwa 40 Vol.-% Wasserstoff und etwa 60 Vol.-% Inertgas. Wenn der Strom den Stapel durchquert und Wasserstoff reagiert, um Wasser zu bilden, läuft das Wasser ab, wodurch ein erhöhtes Volumen an Inertgas in dem Strom zurückbleibt. Es ist daher erwünscht, die Anzahl von Brennstoffzellen in aufeinander folgenden Segmenten auf Grundlage des sich verringernden Wasserstoffvolumens zu verringern. Eine Verringerung der Brennstoffzellenzahl, während die Brennstoffzellengröße beibehalten wird, kann einen erhöhten Druckabfall in dem unterstromigen Segment bewirken, wodurch die Strö-

mung des Brennstoffstroms durch den Stapel gesteuert oder begrenzt wird. Durch Erhöhung des Brennstoffzellenquerschnitts in einem oder mehreren gewählten unterstromigen Segmenten erhöht sich der Druckabfall nicht, wenn die Anzahl von Zellen abnimmt. Das Ergebnis ist ein erhöhter Wirkungsgrad bei verringerten Kosten, da weniger Brennstoffzellen verwendet werden, während die Nettoströmungsrate beibehalten wird. Das Inertgas, das nicht von dem Brennstoffzellenstapel reagiert wird, steuert daher nicht den Gesamtdruckabfall über den Stapel.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Reihenströmung von Kühlmittel durch die einzelnen Segmente vorgesehen. Das Kühlmittel tritt in das Ende des Stapels ein, an dem die Reaktanden in den Stapel eintreten, und folgt der Strömung des Brennstoffstroms. Der Vorteil einer Reihenströmung ist, dass Kühlmittel mit seiner niedrigsten Temperatur in den Stapel an dem Punkt eintritt, an dem das trockenste Reaktandengas in den Stapel eintritt, wodurch der maximale Temperaturabfall des Reaktandengases und daher die höchste relative Feuchte für das Einlassgas vorgesehen wird. Indem die niedrigste Temperatur für das eintretende Reaktandengas vorgesehen wird, wird sein Taupunkt verringert und erfordert sehr wenig Wasserdampferzeugung, um die gewünschten 100% relative Feuchte für die Strömung des Brennstoffstromes durch den Stapel zu erreichen. Es ist normalerweise erwünscht, etwa 100% relative Feuchte (RH) in jedem Segment des Stapels vorzusehen, da kontinuierlich Wasser erzeugt wird und überschüssiges flüssiges Wasser eine Strömung wie auch einen Wasserstoffkontakt mit den Brennstoffzellen behindert.

[0019] Weitere Anwendungsgebiete der vorliegenden Erfindung sind nachfolgend detaillierter beschrieben. Es sei zu verstehen, dass die detaillierte Beschreibung wie auch spezifische Beispiele, während sie die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darstellen, nur zu Zwecken der Veranschaulichung und nicht dazu bestimmt sind, den Schutzzumfang der Erfindung zu beschränken.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht eines einzelnen Brennstoffstroms durch einen beispielhaften Brennstoffzellenstapel mit drei Gruppen, bei dem eine serpentinartige Strömung durch den Stapel vorgesehen ist;

[0021] [Fig. 2](#) ist ein geschnittener Aufriss eines Stromes einer einzelnen Strömung durch einen beispielhaften Brennstoffzellenstapel mit zwei Segmenten gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung.

[0022] [Fig. 3](#) ist ein Blockschaubild in perspektivischer Ansicht, das eine bevorzugte Ausführungsform

der vorliegenden Erfindung zeigt, wobei ein größeres erstes Segment von Brennstoffzellen und ein kleineres zweites Segment von Brennstoffzellen vorgesehen sind und wobei das Separatorsegment zur Vereinfachung weggelassen wurde;

[0023] Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht auf Grundlage von Fig. 3, die ferner die Strömungspfade für einen Reformatbrennstoffzellenstapel der vorliegenden Erfindung zeigt; und

[0024] Fig. 5 ist eine teilweise geschnittene perspektivische Ansicht eines Stroms mit einzelner Strömung bzw. stationärer Strömung durch einen beispielhaften Brennstoffzellenstapel mit zwei Segmenten gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0025] Die folgende Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen) ist lediglich beispielhafter Natur und nicht dazu bestimmt, die Erfindung, ihre Anwendung bzw. ihre Benutzung zu beschränken.

[0026] In Fig. 1 ist ein einzelner Reaktandenabschnitt eines Serpentin-Brennstoffzellenstapels 2 mit einem Stapelgehäuse 4 gezeigt. Eine erste Zellengruppe 6 umfasst eine Einlasssammelleitung 8, die eine Einlassströmung für jede einer Vielzahl paralleler erster Brennstoffzellen 10 vorsieht. Eine Strömung durch jede der ersten Brennstoffzellen 10 entlädt sich in eine erste kombinierte Sammelleitung 12. Die erste kombinierte Sammelleitung 12 sieht ferner eine Einlassströmung für jede einer Vielzahl paralleler zweiter Brennstoffzellen 14 einer zweiten Zellengruppe 16 vor. Eine Strömung durch jede der zweiten Brennstoffzellen 14 entlädt sich in eine zweite kombinierte Sammelleitung 18. Die zweite kombinierte Sammelleitung 18 sieht eine Einlassströmung für jede einer Vielzahl paralleler dritter Brennstoffzellen 20 einer dritten Zellengruppe 22 vor.

[0027] Eine Strömung durch die dritten Brennstoffzellen 20 entlädt sich in eine Austrittssammelleitung 24. Die Austrittssammelleitung 24 entlädt diese Reaktandenströmung von dem Stapelgehäuse 4 des Brennstoffzellenstapels 2.

[0028] Eine Anoden- oder Kathodenströmung tritt in den Brennstoffzellenstapel 2 in der unteren Strömungsrichtung A ein, wie gezeigt ist. Von der Einlasssammelleitung 8 wird die Einlassströmung über die Vielzahl der ersten Brennstoffzellen 10 aufgeteilt, wobei die Strömung in der ersten Zellengruppe 6 einer aufwärts gerichteten Strömungsrichtung B folgt, wie gezeigt ist. In der ersten kombinierten Sammelleitung 12 wird die gesamte Strömung der ersten Zellengruppe 6 in die Strömungsrichtung C umgelenkt, wie gezeigt ist. Die Strömung in den zweiten Brennstoffzel-

len 14 der zweiten Zellengruppe 16 erfolgt in einer abwärts gerichteten Strömungsrichtung D. In der zweiten kombinierten Sammelleitung 18 wird die gesamte Strömung der zweiten Zellengruppe 16 wiederum in die untere Strömungsrichtung A umgelenkt, wie gezeigt ist. Die Strömungsrichtung in den dritten Brennstoffzellen 20 der dritten Zellengruppe 22 ist ähnlich der Strömungsrichtung in der ersten Zellengruppe 6 oder erfolgt in einer aufwärts gerichteten Strömungsrichtung B, wie gezeigt ist. Die dritten Brennstoffzellen 20 entladen sich in die Austrittssammelleitung 24, und die kombinierte Strömung in der Austrittssammelleitung 24 verlässt den Stapel in der Austrittsströmungsrichtung E, wie gezeigt ist.

[0029] In Fig. 1 ist gezeigt, dass die Strömung in jeder benachbarten Zellengruppe in entgegengesetzten Richtungen verläuft. Es ist nicht möglich, den Brennstoffzellenstapel 2 derart zu orientieren, dass jede Zelle jeder Zellengruppe eine Strömung in einer schwerkraftunterstützten Richtung, d. h. in der abwärts gerichteten Strömungsrichtung D ermöglicht. Bei der beispielhaften Anordnung von Fig. 1 ist nur die Strömung in der zweiten Zellengruppe 16 in einer schwerkraftunterstützten Strömungsrichtung abwärts gerichtet. Die Strömung in jeder Zelle von sowohl der ersten Zellengruppe 6 als auch der dritten Zellengruppe 22 verläuft gegen die Schwerkraft, und daher läuft Wasser, das in diesen Zellen gebildet wird, entweder gegen die Strömung des Reaktandengases ab oder muss durch die Reaktandengasströmung durch jede Zelle gedrängt werden. Dies stellt eine weniger geeignete Anordnung für das Wassermanagement in dem Brennstoffzellenstapel 2 dar und resultiert daher in einer schwierigeren Steuerung der relativen Feuchte in dem Brennstoffzellenstapel 2.

[0030] In Fig. 2 ist ein beispielhafter Brennstoffzellenstapel gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung gezeigt. Fig. 2 sieht einen Brennstoffzellenstapel 30 mit Kaskadenkonstruktion vor, der einen kaskadenartigen Stapelkörper 32 aufweist. Der kaskadenartige Stapelkörper 32 umfasst ferner ein erstes Segment 34 und ein zweites Segment 36. Es ist eine beispielhafte Strömung für einen Anodenreaktanden gezeigt.

[0031] Das erste Segment 34 umfasst ferner eine Einlasssammelleitung 38 für das erste Segment in Fluidverbindung mit einer Vielzahl von Brennstoffzellen 40 des ersten Segmentes. Die Brennstoffzellen 40 des ersten Segmentes sind parallel zueinander angeordnet, wobei jede eine Reaktandenströmung aufweist, die von der Einlasssammelleitung 38 des ersten Segmentes eintritt und in eine Austragsammelleitung 42 des ersten Segmentes ausgetragen wird. Die Austrittssammelleitung 42 des ersten Segmentes steht in Fluidverbindung mit einem Separatorsegment 44.

[0032] Das Separatorsegment **44** verbindet sowohl mechanisch als auch fluidmäßig das erste Segment **34** mit dem zweiten Segment **36**. Ein Separatorkanal **46** sieht eine Fluidverbindung zwischen der Austrittssammelleitung **42** des ersten Segmentes und einer Einlassammelleitung **48** des zweiten Segmentes vor.

[0033] Das zweite Segment **36** umfasst ferner die Einlassammelleitung **48** des zweiten Segmentes in Fluidverbindung mit einer Vielzahl von Brennstoffzellen **50** des zweiten Segmentes. Die Brennstoffzellen **50** des zweiten Segmentes sind parallel zueinander angeordnet, wobei jede eine Reaktandenströmung aufweist, die von der Einlassammelleitung **48** des zweiten Segmentes eintritt und in eine Austrittssammelleitung **52** des zweiten Segmentes ausgetragen wird. Bei dieser Ausführungsform sammelt die Austrittssammelleitung **52** des zweiten Segmentes die gesamte Strömung von dem Brennstoffzellenstapel **30** und trägt diese aus.

[0034] Die Segmente des Brennstoffzellenstapels **30** der vorliegenden Erfindung sind in aufeinander folgenden Paaren von Segmenten angeordnet. Das erste Segment **34** wirkt als das oberstromige Segment, wobei eine Strömung den Stapel von dem ersten Segment **34** stromabwärts zu dem zweiten Segment **36** durchquert. Wenn ein drittes (oder weitere) Segment(e) verwendet wird bzw. werden, wird das zweite Segment **36** bezüglich des dritten Segmentes (nicht gezeigt) das oberstromige Segment usw.

[0035] Eine Anodenströmung (gezeigt) tritt in den kaskadenartigen Brennstoffzellenstapel **30** in der Einlassströmungsrichtung F des ersten Segmentes ein. Eine Kathodenströmung (nicht gezeigt) ist ähnlich der, die in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Von der Einlassammelleitung **38** des ersten Segmentes wird die Anodenströmung in die Brennstoffzellen **40** des ersten Segmentes in der Strömungsrichtung G des ersten Segmentes, wie gezeigt ist, umgelenkt. Die gesamte Einlassströmung zu dem Stapel durchquert die Brennstoffzellen **40** des ersten Segmentes. Der Austrag von den Brennstoffzellen **40** des ersten Segmentes tritt in die Austrittssammelleitung **42** des ersten Segmentes in der Austrittsrichtung H des ersten Segmentes ein.

[0036] Die gesamte, das erste Segment **34** verlassende Strömung tritt in den Separatorkanal **46** des Separatorsegmentes **44** ein und wird in der Umlenkströmungsrichtung J umgelenkt. Von dem Separatorkanal **46** wird die gesamte Strömung in die Einlassammelleitung **48** des zweiten Segmentes **36** umgelenkt. Von der Einlassammelleitung **48** des zweiten Segmentes wird die Strömung von der Einlassströmungsrichtung K des zweiten Segmentes in die Strömungsrichtung L des zweiten Segmentes umgelenkt. Die gesamte Strömung in dem zweiten Seg-

ment **36** strömt in die Brennstoffzellen **50** des zweiten Segmentes. Der Austrag der Brennstoffzellen **50** des zweiten Segmentes erfolgt in die Austrittssammelleitung **52** des zweiten Segmentes. Die kombinierte Strömung in der Austrittssammelleitung **52** des zweiten Segmentes verlässt den Stapel in einer Stapelauslassrichtung M.

[0037] Der kaskadenartige Brennstoffzellenstapel **30** sieht einen Vorteil darin vor, dass alle Brennstoffzellen derart angeordnet sind, damit eine Strömung als "unidirektionale" Strömung vorgesehen wird, die hier als allgemein abwärts gerichtete, schwerkraftunterstützte Strömungsrichtung definiert ist, die als die Strömungsrichtung G des ersten Segmentes bzw. als die Strömungsrichtung L des zweiten Segmentes gezeigt ist. Durch die Lieferung der unidirektionalen Strömung durch aktive Brennstoffzellen ausschließlich in der schwerkraftunterstützten Richtung wird Wasser, das durch den Reaktionsprozess erzeugt wird, sowohl durch die Strömungsgeschwindigkeit des Gases durch die Brennstoffzellen als auch durch die Schwerkraft in die Austrittssammelleitungen **42** bzw. **52** des jeweiligen Segmentes gedrängt. Durch die Anordnung des Separatorsegmentes **44** zwischen dem ersten Segment **34** und dem zweiten Segment **36**, wie gezeigt ist, erreicht das Separatorsegment **44** eine durchschnittliche Betriebstemperatur des Stapels durch Wärmeleitungsübertragung von den benachbarten Stapelsegmenten wie auch Konvektionswärmeübertragung von den Stapelreaktanden und den Kühlmittelströmungen.

[0038] Im Gebrauch ist der Brennstoffzellenstapel derart ausgebildet, dass ein oberer Abschnitt **54** des Stapels vorgesehen wird, wobei eine Stapeleinlassöffnung **56** benachbart dazu angeordnet ist. In Übereinstimmung damit ist der Brennstoffzellenstapel der vorliegenden Erfindung derart ausgebildet, dass ein unterer Abschnitt **58** des Stapels vorgesehen wird, an dem eine Stapelauslassöffnung **60** angeordnet ist. Eine Anoden- oder Kathodenströmung tritt durch eine in dem oberen Abschnitt des Stapels angeordnete Öffnung ein und tritt durch den unteren Abschnitt des Stapels aus. Eine Kühlmittelströmung ist bevorzugt ähnlich angeordnet, so dass diese durch den oberen Abschnitt des Stapels eintritt und durch den unteren Abschnitt des Stapels austritt.

[0039] Dadurch, dass das Wasser, das durch den Reaktionsprozess einer Brennstoffzelle erzeugt wird, an den unteren Abschnitt des Stapels gelenkt wird, wird das Wasser vorteilhafterweise ausgetragen. Bei der Ausführungsform von [Fig. 2](#) der vorliegenden Erfindung wird Wasser von dem Brennstoffzellenstapel durch einen Ablass (nicht gezeigt) ausgetragen, der mit einem Separatorablassbereich N eines unteren Separatorsegmentes **62** verbunden ist. Jedes Separatorsegment besitzt einen Ablassbereich ähnlich dem Ablassbereich N des unteren Separatorseg-

menten **62**. Die Anordnung des Wasserablasses in dem Separatorablassbereich N sieht einen Austrag eines überwiegenden Anteils des Wassers vor, das durch jedes Stapelsegment erzeugt wird. Die relative Feuchte wird zwischen Segmenten auf etwa 100% relative Feuchtigkeit durch Entfernung der gesamten oder des größten Teils der Flüssigkeit vor dem Eintritt in das nächste Segment gesteuert.

[0040] In [Fig. 3](#) ist eine vereinfachte Ansicht gezeigt, die zwei separate Segmente eines Brennstoffzellenstapels der vorliegenden Erfindung zeigt. Eine bevorzugte Ausführungsform mit einem größeren ersten Segment **70** von Brennstoffzellen ist benachbart einem zweiten Segment **72** mit einer kleineren Anzahl von Brennstoffzellen gezeigt. Der Einfachheit halber ist das Separatorsegment in dieser Ansicht nicht gezeigt. Das erste Segment **70** umfasst einen Kathodeneinlass **74**, einen Kühlmittelinlass **76** bzw. einen Anodeneinlass **78** an einer Einlassseite **79**. Auch ist an dem ersten Segment **70** ein Anodenauslass **80**, ein Kühlmittelauslass **82** bzw. ein Kathodenauslass **84** an einer Auslassseite **85** gezeigt.

[0041] Ähnlicherweise umfasst das zweite Segment **72** einen Kathodeneinlass **86**, einen Kühlmittelinlass **88** bzw. einen Anodeneinlass **90** an einer Einlassseite **91**. Das zweite Segment **72** umfasst auch einen Anodenauslass **92**, einen Kühlmittelauslass **94** bzw. einen Kathodenauslass **96** an einer Auslassseite **97**. Die in [Fig. 3](#) gezeigte Legende sieht in zunehmender Größe repräsentative Öffnungen für die Ströme der Anoden-, Kühlmittel- bzw. Kathodenströmungen vor.

[0042] In den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ist der in [Fig. 3](#) gezeigte Brennstoffzellenstapel mit zwei Segmenten detaillierter gezeigt. Der Strömungspfad der bevorzugten Ausführungsform für einen Reformatbrennstoff ist gezeigt. Für die Verwendung des Reformat-Brennstoffes sieht die bevorzugte Ausführungsform sowohl die Kathoden- als auch die Anodenströmungseinlässe in einem oberen Abschnitt jedes Segmentes des Brennstoffzellenstapels vor. Dies sorgt für eine Strömung der Anoden- und Kathodenreaktanden von einem oberen Bereich des Stapels zu einem unteren Bereich des Stapels, d. h. der unidirektionalen Strömung abwärts in jedem Stapelsegment.

[0043] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, tritt die Kathodenströmung in den Kathodeneinlass **74** ein und die Anodenströmung tritt in den Anodeneinlass **78** der Einlassseite **79** ein. Die Strömung für die Anoden- und Kathodenseiten des ersten Segmentes **70** ist in der unilateralen oder schwerkraftunterstützten Richtung von einem oberen Abschnitt des ersten Segmentes **70** zu einem unteren Abschnitt des ersten Segmentes **70** vorgesehen. Die Kathodenströmung tritt über den Kathodenauslass **84** aus, und die Anodenströmung

tritt über den Anodenauslass **80** an der Auslassseite **85** aus.

[0044] Die Kathoden- als auch Anodenströmungen, die das erste Segment **70** verlassen, werden durch einen Separatorkanal (nicht gezeigt) an den oberen Abschnitt des oberen Segmentes **72** geführt, um in den Kathodeneinlass **86** bzw. den Anodeneinlass **90** an der Einlassseite **91** des zweiten Segmentes **72** einzutreten. Sowohl die Anoden- als auch Kathodenströmungen durchqueren das zweite Segment **72** von dem oberen Abschnitt des Segmentes zu dem unteren Abschnitt des Segmentes. Die Anodenströmung verlässt das zweite Segment **72** über den Anodenauslass **92**, und die Kathodenströmung verlässt das zweite Segment **72** über den Kathodenauslass **96**, die beide an der Auslassseite **97** angeordnet sind. Kühlmittel durchquert beide Segmente des Brennstoffzellenstapels von [Fig. 4](#) über einen Pfad von dem Kühlmittelinlass **76** an der Einlassseite **79** zu dem Kühlmittelauslass **82** an der Auslassseite **85** des ersten Segmentes **70** und wird anschließend durch einen Separatorkanal (nicht gezeigt) an den Kühlmittelinlass **88** an der Einlassseite **91** geführt und durch den Kühlmittelauslass **94** an der Auslassseite **97** des zweiten Segmentes **72** ausgetragen.

[0045] [Fig. 4](#) zeigt die bevorzugten Strömungspfade für die Reaktanden und das Kühlmittel durch einen beispielhaften Brennstoffzellenstapel mit zwei Segmenten der vorliegenden Erfindung. Luft und ein Reformatgas werden als die Brennstoffströme verwendet. Sowohl die Anoden- als auch Kathodengase enthalten normalerweise Inertgase als einen erheblichen Anteil (d. h. größer als 20 Vol.-%) ihres Gesamtvolumens. Sowohl die Anoden- als auch Kathodenbrennstoffströme strömen bevorzugt zuerst durch ein Segment mit der größten Menge an Brennstoffzellen, wobei Wasserstoff mit Sauerstoff reagiert, um Wasser zu bilden und elektrischen Strom zu erzeugen. Das erste Segment **70** verbraucht daher den größten Prozentsatz des Brennstoffs. Das erste Segment **70** erzeugt daher die größte Spannung. Das zweite Segment **72** mit einer verringerten Menge an Brennstoffzellen reagiert sowohl die Anoden- als auch Kathodenfluide weiter, um den Großteil des verbleibenden Wasserstoffs zu entnehmen. Das zweite Segment **72** erzeugt daher bezüglich des ersten Segmentes **70** eine niedrigere Spannung. Die Gesamtdurchschnittsspannung von dem ersten Segment **70** und dem zweiten Segment **72** ist größer als bei einem Brennstoffzellenstapel, der eine parallele Strömung durch einen einzelnen Satz von Brennstoffzellen aufweist.

[0046] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, tritt das Kathodengas aus dem ersten Segment **70** durch den Kathodenauslass **84** aus, wobei mitgerissenes Wasser durch einen Wasserabscheider **98** vor einem Kathodengaseintritt in das zweite Segment **72** an dem Katho-

deneinlass **86** getrennt wird. Das Anodengas verlässt das erste Segment **70** durch den Anodenauslass **80**. Zwischen dem ersten Segment **70** und dem zweiten Segment **72** wird mitgerissenes Wasser in dem Anodenstrom gleichermaßen über einen Wasserabscheider **100** entfernt. Der Wasserabscheider **98** und der Wasserabscheider **100** sind in getrennten Separatorsegmenten (nicht gezeigt) an dem Kathodenauslass bzw. dem Anodenauslass des ersten Segmentes **70** vorgesehen.

[0047] In [Fig. 5](#) ist eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines Brennstoffzellenstapels gezeigt. Der Brennstoffzellenstapel von [Fig. 5](#) wandelt die Richtung der Reaktandenströmung in einem Strömungskanal von der in [Fig. 4](#) gezeigten Richtung ab, so dass die Reaktandenströmung in dem Strömungskanal eines Separatorsegmentes in einer "Kreuzstrom"-Gestaltung vorgesehen ist, wie nachfolgend detaillierter beschrieben ist, anstatt in einer allgemein vertikal aufwärts gerichteten Strömungsgestaltung, wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist. Eine beispielhafte Strömung von Anodengas tritt an einem oberen Abschnitt des ersten Segmentes **70** ein, wie allgemein durch einen Strömungspfeil O an dem Anodeneinlass **78** gezeigt ist. Von dem Anodeneinlass **78** tritt das Anodengas in eine Einlasssammelleitung **104** des ersten Segmentes ein. Das distale Ende der Einlasssammelleitung **104** des ersten Segmentes wird durch ein Separatorsegment **106** blockiert, wodurch die gesamte Strömung in der Einlasssammelleitung **104** des ersten Segmentes in eine Vielzahl von Zellen **108** des ersten Segmentes gedrängt wird. Die gesamte Einlassströmung durchquert abwärts die Zellen **108** des ersten Segmentes und tritt in eine Austrittssammelleitung **101** des ersten Segmentes aus. Von der Austrittssammelleitung **110** des ersten Segmentes tritt die Strömung aus dem ersten Segment **70** an einer Segmentaustrittsöffnung **112** aus und tritt in einen Separatorströmungskanal **114** des Separatorsegmentes **106** ein. Der Separatorströmungskanal **114** lenkt die Strömung aufwärts zu einer Einlasssammelleitung **116** des zweiten Segmentes **72** um. Das distale Ende der Einlasssammelleitung **116** des zweiten Segmentes wird durch entweder ein zusätzliches Separatorsegment **106** oder ein Blockierelement (nicht gezeigt) blockiert, das die gesamte Strömung in der Einlasssammelleitung **116** des zweiten Segmentes in eine Vielzahl von Zellen **118** des zweiten Segmentes drängt. Die gesamte Strömung von der Einlasssammelleitung **116** des zweiten Segmentes durchquert abwärts die Zellen **118** des zweiten Segmentes und entlädt sich in eine zweite Austrittssammelleitung **120** des zweiten Segmentes. Die Strömung verlässt das zweite Segment **72** von der Austrittssammelleitung **120** des zweiten Segmentes, wie durch den Strömungspfeil P gezeigt ist.

[0048] Wie am besten in [Fig. 5](#) gezeigt ist, sind für das beispielhafte erste Segment **70** der Anodenein-

lass **78** und eine Einlasssammelleitung **104** des ersten Segmentes bevorzugt auf einer Seite der Einlassseite **79**, die dem Kathodeneinlass **74** und seiner Kathodeneinlasssammelleitung **122** (der Deutlichkeit halber in gestrichelten Linien gezeigt) entgegengesetzt ist, positioniert. Die Anodengasströmung durch die Zellen **108** des ersten Segmentes verläuft diagonal abwärts, wie gezeigt ist. Die Kathodengasströmung (nicht gezeigt) verläuft ebenfalls diagonal abwärts von der Kathodeneinlasssammelleitung **122** zu einer Kathodenaustrittssammelleitung **124**, so dass die Kathoden- und Anodenströmung in einer "Kreuzstrom"-Anordnung bezüglich zueinander vorgesehen sind. Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform (nicht gezeigt) sind sowohl der Anodeneinlass **78** als auch der Kathodeneinlass **74** auf der gleichen Seite der Einlassseite **79** positioniert. Bei dieser Ausführungsform sind sowohl die Anodenströmung als auch die Kathodenströmung in einer "Parallelstrom"-Anordnung bezüglich zueinander vorgesehen, beispielsweise bei Betrachtung von der Einlassseite **79** von oben links nach unten rechts. Bei beiden Ausführungsformen der Anoden- bzw. Kathodenströmung, d. h. sowohl "Kreuzstrom" als auch "Parallelstrom" befinden sich sowohl die Anodenströmung als auch Kathodenströmung stets in der unidirektionalen oder allgemein abwärts gerichteten Strömungsrichtung in jeder Brennstoffzelle bezüglich des ersten Segmentes **70** und des zweiten Segmentes **72**.

[0049] Kühlmitteldurchgänge sind bevorzugt in einer Parallelstrombeziehung mit den Kathodenströmungsdurchgängen angeordnet. Unter Bezugnahme auf die Anodendurchgänge in jedem Stapelsegment können die Kühlmitteldurchgänge daher auch entweder in der Parallelstrom- oder Kreuzstromanordnung vorgesehen sein, wie oben beschrieben ist. Die Kühlmitteldurchgänge sind bevorzugt auch so angeordnet, dass sie der unidirektionalen Strömungsrichtung, d. h. einer allgemein abwärts gerichteten Strömungsrichtung bezüglich jedes Segmentes des Stapels folgen. Die Kühlmitteldurchgänge erfordern jedoch keine unteren Ablassbereiche, wie beispielsweise den Separatorablassbereich N von [Fig. 2](#). Die Kühlmitteldurchgänge können daher in einer Vielzahl von Anordnungen vorgesehen sein.

[0050] Die Menge der Brennstoffzellen in jedem Segment ist einstellbar und durch den Reaktandentyp bestimmt. Jede Reaktandenströmung gelangt durch die Zellen jedes Segmentes in der unidirektionalen oder schwerkraftunterstützten Richtung, und der Reaktand wird allmählich durch jedes Segment hindurch abgereichert. Für eine gegebene Gesamteinlass- und Auslassströmung ist die Stöchiometrie jedes Segmentes des Mehrsegmentstapels höher als bei einem Stapel mit individuellem Durchgang, bei dem alle Zellen als eine Einheit von Zellen gespeist werden. Die Gesamtstöchiometrie des kaskadenartigen Brennstoffzellenstapels der vorliegenden Erfin-

dung ist ähnlich eines nicht kaskadenartigen Stapels, wobei jedoch die Stöchiometrie in jedem Segment des kaskadenartigen Stapels der vorliegenden Erfindung höher ist. Allgemein wird angenommen, dass Brennstoffzellenkonstruktionen etwa 10% bis 11% des Wasserstoffbrennstoffes nicht verbrauchen. Somit werden, wenn 110 Einheiten an Wasserstoff in den Stapel eintreten, etwa 100 Einheiten reagiert, um elektrischen Strom zu erzeugen, und etwa 10 Einheiten verlassen den Stapel als nicht verbrauchten Wasserstoff. Die Stöchiometrie beträgt daher $110/100 = 1,1$.

[0051] Wenn der kaskadenartige Stapel unterteilt wird, so dass ein Stapel mit 100 Zellen ein erstes Segment mit 67 Zellen und ein zweites Segment mit 33 Zellen umfasst, besitzen beide Segmente andere höhere Stöchiometrien als der Stapel insgesamt. Bei einer beispielhaften Anordnung, bei der dieselbe Wasserstoffströmung wie oben gegeben ist, ist immer noch eine Gesamtstapelstöchiometrie von 1,1 vorhanden. In dem ersten Segment treten 110 Wasserstoffeinheiten ein, jedoch werden nur 67 Einheiten verbraucht, wodurch die Stöchiometrie des ersten Segmentes $110/67 = 1,64$ ist. Die verbleibenden 43 Wasserstoffeinheiten treten in das zweite Segment ein, in dem 33 Einheiten verbraucht werden, was in einer Stöchiometrie des zweiten Segmentes von $43/33 = 1,30$ resultiert. Die optimale Konstruktion sieht die gleiche Stöchiometrie pro Segment vor, was bei etwa einer Stöchiometrie von 1,4 bis 1,5 auftritt. Die Anzahl von Zellen in dem beispielhaften ersten Segment kann erhöht werden, um eine Stöchiometrie zwischen 1,4 bis 1,5 in beiden Segmenten zu erzeugen.

[0052] Unter Verwendung einer kaskadenartigen Stapelkonstruktion ist die Gesamtstapelspannung erhöht, während die Gesamtstapelstöchiometrie beibehalten wird. Beispielsweise erzeugt bei dem obigen Beispiel das erste Segment mit 67 Zellen eine höhere Spannung als das zweite Segment, da sowohl das Gesamtreaktandenvolumen das erste Segment durchquert als auch die Strömungsgeschwindigkeit im ersten Segment aufgrund der geringeren Anzahl von Zellen höher ist. Die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit und verbesserte Wasserentfernung verbessern die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Vergleich zu einer ähnlichen Gruppe von Zellen einer Stapelkonstruktion mit individuellem Durchgang. Die Spannung des zweiten oder der weiteren Stapelsegmente ist im Durchschnitt allgemein geringer, da das erste Stapelsegment das größte Volumen an verfügbarem Wasserstoff reagiert hat, wobei jedoch mit den Verbesserungen der vorliegenden Erfindung der Wirkungsgrad jedes Segmentes verbessert wird.

[0053] Bei einer bevorzugten Ausführungsform für Reformatbrennstoff treten die Anoden- und Katho-

denströmungen in den Stapel an einem oberen Abschnitt des Segmentes des ersten Stapels ein. Die Strömung durch jedes Segment verläuft unidirektional, d. h. in der schwerkraftunterstützten, allgemein abwärts gerichteten Richtung für jedes der Fluide. Wasser, das in einem der Anoden- oder Kathodenelemente erzeugt wird, sammelt sich und wird an dem unteren Bereich jedes Separatorkanals ausgelesen, wie oben beschrieben ist. Da die Separatorkanäle zwischen den Stapelsegmenten angeordnet sind, wird die Kanaltemperatur automatisch durch die Kühlmitteltemperatur gesteuert. Die Gastemperatur in jedem der Separatorkanäle wird daher auf die Kühlmitteltemperatur solange eingestellt, bis Wasserdampf in den Separatorkanälen die Taupunkttemperatur des Kanals bzw. des Kühlmittels erreicht und jegliches überschüssiges flüssiges Wasser an den Separatorablass abläuft. Ein Vorteil dieser "automatischen" Temperatursteuerung besteht darin, dass das Reaktandengas, das in jedes Segment eintritt, sich bei etwa 100% relativer Feuchte befindet.

[0054] Sowohl die Anoden- als auch Kathodengase, die den Einlass zu nachfolgenden Segmenten erreichen, befinden sich bei etwa 100% relativer Feuchte, wodurch eine gesättigte Strömung an jedes Segment geliefert wird. Dies beseitigt den Bedarf, eine zusätzliche Außentemperatursteuerung für jedes Segment vorzusehen. Wenn der Brennstoff in jedem einzelnen Segment reagiert, steigt die durchschnittliche Temperatur der Strömung von einem Segment zu dem nächsten an, und die relative Feuchte wird bei etwa 100% relativer Feuchte beibehalten, da das flüssige Wasser zwischen den Segmenten effizient durch die schwerkraftunterstützten Strömungspfade der Segmente und die Verwendung von Separatorkanälen entfernt wird.

[0055] Der Brennstoffzellenstapel der vorliegenden Erfindung sieht verschiedene Vorteile vor. Jedes Segment des Brennstoffzellenstapels der vorliegenden Erfindung sieht eine schwerkraftunterstützte Strömung vor, und ein Separatorsegment, das zwischen jedem der Segmente angeordnet ist, beseitigt effizient Wasser von dem Stapel und steuert auch die Feuchte in dem Stapel. Durch Bereitstellen der schwerkraftunterstützten Strömung in jedem Segment und durch Bereitstellen einzelner Segmente mit verschiedenen Mengen von Brennstoffzellenelementen erlaubt die vorliegende Erfindung, dass ein Brennstoffzellenstapel bei variierenden Stöchiometrien zwischen einzelnen Segmenten arbeiten und einen höheren Betriebswirkungsgrad vorsehen kann. Die durchschnittliche Spannungsabgabe eines Brennstoffzellenstapels der vorliegenden Erfindung ist gegenüber der eines Brennstoffzellenstapels mit einer Gesamtströmung durch lediglich ein Segment aus Elementen erhöht. Die Gesamtdurchschnittsstapelspannung ist ebenfalls höher als bei einem nicht kaskadenartigen Stapel.

[0056] Die Beschreibung der Erfindung ist lediglich beispielhafter Natur und somit sind Abwandlungen, die nicht von der Grundidee der Erfindung abweichen, als innerhalb des Schutzzumfangs der Erfindung anzusehen. Derartige Abwandlungen sind nicht als Abweichung vom Schutzzumfang der Erfindung anzusehen.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenstapel mit:
einer Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**), die in zumindest zwei Brennstoffzellensegmente (**34, 36; 70, 72**) unterteilt sind, von denen jedes einen Anteil der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**), die darin angeordnet sind, aufweist, und die als aufeinander folgende oberstromige und unterstromige Paare von Segmenten (**34, 36; 70, 72**) angeordnet sind;
wobei jeder der Anteile der Brennstoffzellen jedes Segmentes (**34, 36; 70, 72**) eine Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen aufweist, die mit einem gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgang (**38, 48**) und einem gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgang (**42, 52**) versehen sind;
wobei jedes Paar von Segmenten (**34, 36; 70, 72**) ein Separatorsegment (**44**) aufweist, das zwischen dem oberstromigen Segment (**34**) und dem unterstromigen Segment (**36**) angeordnet ist, wobei das Separatorsegment (**44**) in Fluidverbindung mit dem gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgang (**42**) des oberstromigen Segmentes (**34**) und dem gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgang (**48**) des unterstromigen Segmentes (**36**) desselben Segmentpaares (**34, 36; 70, 72**) steht;
wobei jeder der Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen der zumindest zwei Brennstoffzellensegmente (**34, 36; 70, 72**) in einer unidirektionalen, schwerkraftunterstützten Strömungsrichtung (G, L) angeordnet ist und die Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen eine Gruppe von Anodengasdurchgängen und eine Gruppe von Kathodengasdurchgängen umfasst; und
wobei die Menge von Brennstoffzellen in jedem Segment (**34, 36; 70, 72**) der zumindest zwei Brennstoffzellensegmente unterschiedlich ist.

2. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 1, ferner umfassend, dass:
jedes Paar der zumindest zwei Brennstoffzellensegmente (**34, 36; 70, 72**) als benachbarte Segmente angeordnet sind, die durch das Separatorsegment (**44**) getrennt sind, wobei das Separatorsegment (**44**) zwischen jedem Paar der zumindest zwei Brennstoffzellensegmente (**34, 36; 70, 72**) eine damit zusammenhängende strukturelle Verbindung bildet; und
wobei jeder Separatorkanal (**46**) einen allgemein aufwärts orientierten Strömungsdurchgang aufweist, der eine Fluidverbindung zwischen dem gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgang (**42**) des oberstromigen Segmentes (**34**) und dem gemeinsamen Ein-

lassreaktandengasdurchgang (**48**) des unterstromigen Segmentes (**36**) vorsieht.

3. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 1, ferner umfassend, dass:
die Gruppe von Anodengasdurchgängen in Fluidverbindung mit einem Stapelanodeneinlasskanal (**78, 90**) durch einen vorgewählten der gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgänge steht; und
die Gruppe von Anodengasdurchgängen in Fluidverbindung mit einem Stapelanodenauslasskanal (**80, 92**) durch einen vorgewählten der gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgänge steht.

4. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 3, ferner umfassend, dass:
die Gruppe von Kathodengasdurchgängen in Fluidverbindung mit einem Stapelkathodeneinlasskanal (**74, 86**) durch einen vorgewählten der gemeinsamen Einlassreaktandengasdurchgänge steht; und
die Gruppe von Kathodengasdurchgängen in Fluidverbindung mit einem Stapelkathodenauslasskanal (**84, 96**) durch einen vorgewählten der gemeinsamen Auslassreaktandengasdurchgänge steht.

5. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 4, wobei jeder Durchgang der Gruppe von Kathodengasdurchgängen in einer Kreuzstrombeziehung zu einem Gegendurchgang der Gruppe von Anodengasdurchgängen angeordnet ist.

6. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 4, wobei jeder Durchgang der Gruppe von Kathodengasdurchgängen in einer Parallelstrombeziehung zu einem Gegendurchgang der Gruppe von Anodengasdurchgängen angeordnet ist.

7. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 1, ferner mit einer Gruppe von Kühlmitteldurchgängen, die in Fluidverbindung mit einem Stapelkühlmitteleinlasskanal (**76, 88**) durch einen gemeinsamen Einlasskühlmitteldurchgang stehen, wobei die Gruppe von Kühlmitteldurchgängen in Fluidverbindung mit einem Stapelkühlmittelauslasskanal (**82, 94**) steht.

8. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 7, wobei jeder Durchgang der Gruppe von Kühlmitteldurchgängen benachbart und in einer Parallelstrombeziehung zu einem Gegendurchgang zumindest eines der Gruppe aus Anodengasdurchgängen und der Gruppe aus Kathodengasdurchgängen angeordnet ist.

9. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 1, wobei die Menge von Brennstoffzellen in jedem Segment (**70, 72**) zwischen jedem Segment von einem Einlassabschnitt des Stapels zu einem Auslassabschnitt des Stapels abnimmt.

10. Brennstoffzellenstapel mit:

einer Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**), von denen jede einen Anodenkatalysator auf einer ersten Seite und einen Kathodenkatalysator auf einer zweiten Seite umfasst;

einer Vielzahl von Anodengasdurchgängen, wobei jeder Durchgang benachbart einer jeweiligen der ersten Seiten der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**) angeordnet ist;

einer Vielzahl von Kathodengasdurchgängen, wobei jeder Durchgang benachbart einer jeweiligen der zweiten Seiten eines jeweiligen der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 70, 72**) angeordnet ist;

wobei die Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**) in zumindest zwei Paaren benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) von Zellen angeordnet ist, wobei die Vielzahl von Anodengasdurchgängen und Kathodengasdurchgängen der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**) in einer unidirektionalen, schwerkraftunterstützten Strömungsrichtung (G, L) in jedem benachbarten Segment (**34, 36; 70, 72**) des Stapels vorgesehen sind;

wobei jedes der zumindest zwei benachbarten Segmente zumindest ein Separatorsegment (**44; 106**) umfasst, das dazwischen angeordnet ist und einen allgemein aufwärts gerichteten Strömungsdurchgang zur Verbindung der Vielzahl der Anodengasdurchgänge und der Kathodengasdurchgänge der benachbarten Segmente (**34, 36; 70, 72**) definiert; und

wobei jedes Separatorsegment einen Separatorablassbereich (N) aufweist, an dem ein Wasserablass angeordnet ist. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 10, ferner mit:

einem Anodengasseparatorkanal, der zwischen jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) in Fluidverbindung mit den Anodengasdurchgängen in jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) angeordnet ist; und

einem Kathodengasseparatorkanal, der zwischen jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) in Fluidverbindung mit den Kathodengasdurchgängen in jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) angeordnet ist.

11. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 11, wobei ein Kühlmitteldurchgang, zwischen jeder der ersten und zweiten Seiten beliebiger zwei aufeinander folgender Brennstoffzellen der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50**) angeordnet ist.

12. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 12, wobei ein Kühlmittelseparatorkanal zwischen jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) in Fluidverbindung mit den Kühlmitteldurchgängen der Brennstoffzellen (**40, 50**) in jedem Paar benachbarter Segmente (**34, 36; 70, 72**) angeordnet ist.

13. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 10, wobei Wasser, das in jedem Segment aus Zellen gebildet wird, an zumindest dem Separatorablassbereich (N) ausgetragen wird.

14. Brennstoffzellenstapel mit:
einer Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**), von denen jeder einen Anodenkatalysator an einer ersten Seite und einen Kathodenkatalysator an einer zweiten Seite umfasst;

einer Vielzahl von Anodengasdurchgängen, wobei jeder Durchgang benachbart der ersten Seite eines jeweiligen der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) angeordnet ist;

einer Vielzahl von Kathodengasdurchgängen, wobei jeder Durchgang benachbart der zweiten Seite eines jeweiligen der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) angeordnet ist;

wobei die Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) in zumindest zwei benachbarten Segmenten von Zellen angeordnet ist, wobei zumindest einer der Anodengasdurchgänge und der Kathodengasdurchgänge in Reihe zwischen den Segmenten (**34, 36; 70, 72**) vorgesehen ist, und zumindest einer der Anodengasdurchgänge und der Kathodengasdurchgänge in einer unidirektionalen, schwerkraftunterstützten Strömungsrichtung (G, L) in jedem Segment des Stapels angeordnet ist;

wobei jeder der Anoden- und Kathodengasdurchgänge in zumindest einem vorgewählten Segment eine Geometrie aufweist, die so variiert wird, um einen Druckabfall der Anoden- und Kathodengasdurchgänge zu steuern;

wobei jedes Segmentpaar (**34, 36; 70, 72**) aus einem oberstromigen Segment (**34, 70**) und einem unterstromigen Segment (**36, 72**) besteht;

jedes Segment jedes Segmentpaares (**34, 36; 70, 72**) einen Druckabfall aufweist; und

der Druckabfall des unterstromigen Segmentes (**36, 72**) gleich oder kleiner als der Druckabfall des oberstromigen Segmentes (**34, 70**) für jedes Segmentpaar von dem Einlassabschnitt des Stapels zu dem Auslassabschnitt des Stapels ist; und

wobei der Druckabfall des unterstromigen Segmentes (**36, 72**) zumindest eines Segmentpaares dadurch verringert wird, dass eine erhöhte Brennstoffzellenbreite für jede Brennstoffzelle des unterstromigen Segmentes (**36, 72**) vorgesehen ist.

15. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 15, wobei sich eine Anzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) in jedem Segment zwischen Segmentpaaren (**34, 36; 70, 72**) von einem Eingangsabschnitt des Stapels zu einem Auslassabschnitt des Stapels verringert.

16. Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellenstapels mit einer Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**), von denen jede eine Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen aufweist, die sich dazwischen erstrecken, wobei die Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen eine Gruppe von Anodengasdurchgängen und eine Gruppe von Kathodengasdurchgängen umfasst, und mit einer kaskadenartigen Stapelkonstruktion, die einzelne Segmente (**34, 36;**

70, 72) mit unterschiedlichen Anzahlen von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) vorsieht, wobei das Verfahren die Schritte umfasst, dass:

die Segmente (**34, 36; 70, 72**) angeordnet werden, um benachbarte Paare von Segmenten zu bilden, wobei jedes eine Vielzahl von Brennstoffzellen mit einer variierenden Menge von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) in jedem Segment umfasst, um eine Stöchiometrie jedes Segmentes zu variieren;

alle Reaktandengasdurchgänge der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) in einer unidirektionalen, schwerkraftunterstützten Strömungsrichtung (G, L) in jedem Segment (**34, 36; 70, 72**) des Stapels orientiert werden;

zumindest ein Separatorkanal (**46; 114**) zwischen jedem Segmentpaar (**34, 36; 70, 72**) angeordnet wird; und

die Vielzahl von Reaktandengasdurchgängen zwischen jedem Segmentpaar (**34, 36; 70, 72**) durch den zumindest einen Separatorkanal (**46; 114**) verbunden wird, wobei die Reaktandengasdurchgänge in jedem Segment (**34, 36; 70, 72**) parallel geschaltet sind und die Reaktandengasdurchgänge jedes Segments (**34, 36; 70, 72**) in Reihe mit einem benachbarten Segment (**34, 36; 70, 72**) verbunden sind.

17. Verfahren nach Anspruch 17, ferner mit den weiteren Schritten, dass:

ein Wasservolumen von der Vielzahl von Brennstoffzellen (**40, 50; 108, 118**) wie auch jedem Separatorkanal (**46; 114**) gesammelt wird; und

das Wasservolumen an zumindest einem Stapelablass (N) ausgetragen wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

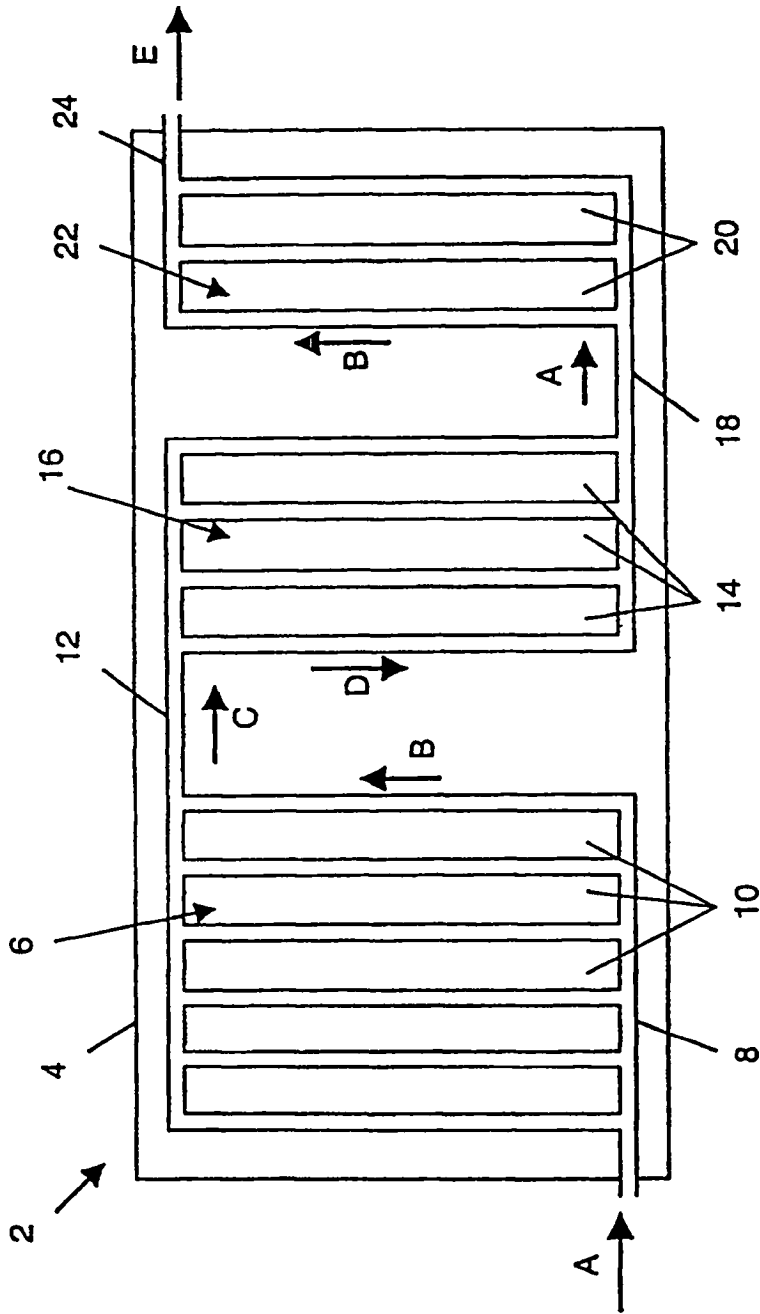


Fig. 1

STAND DER TECHNIK

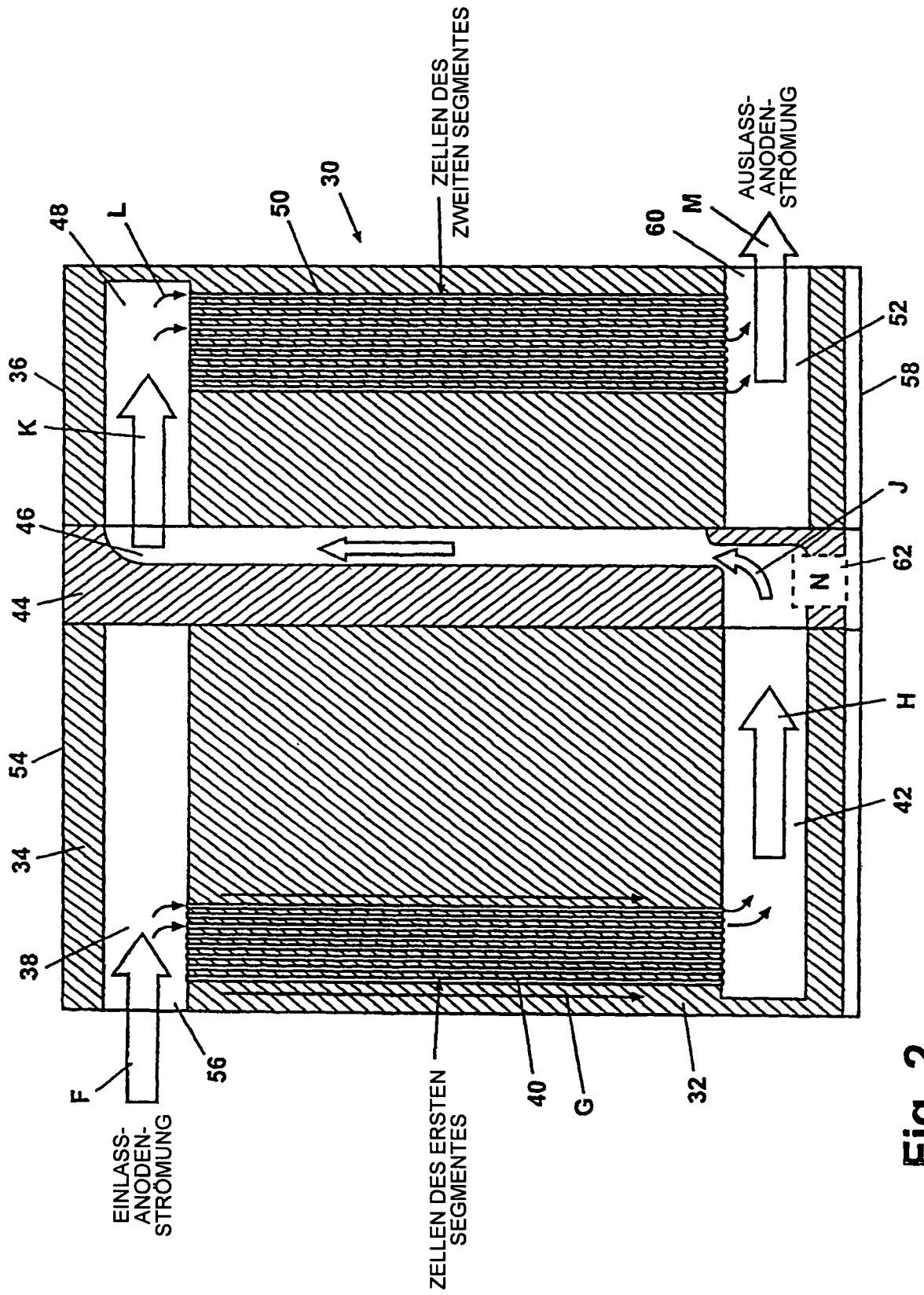
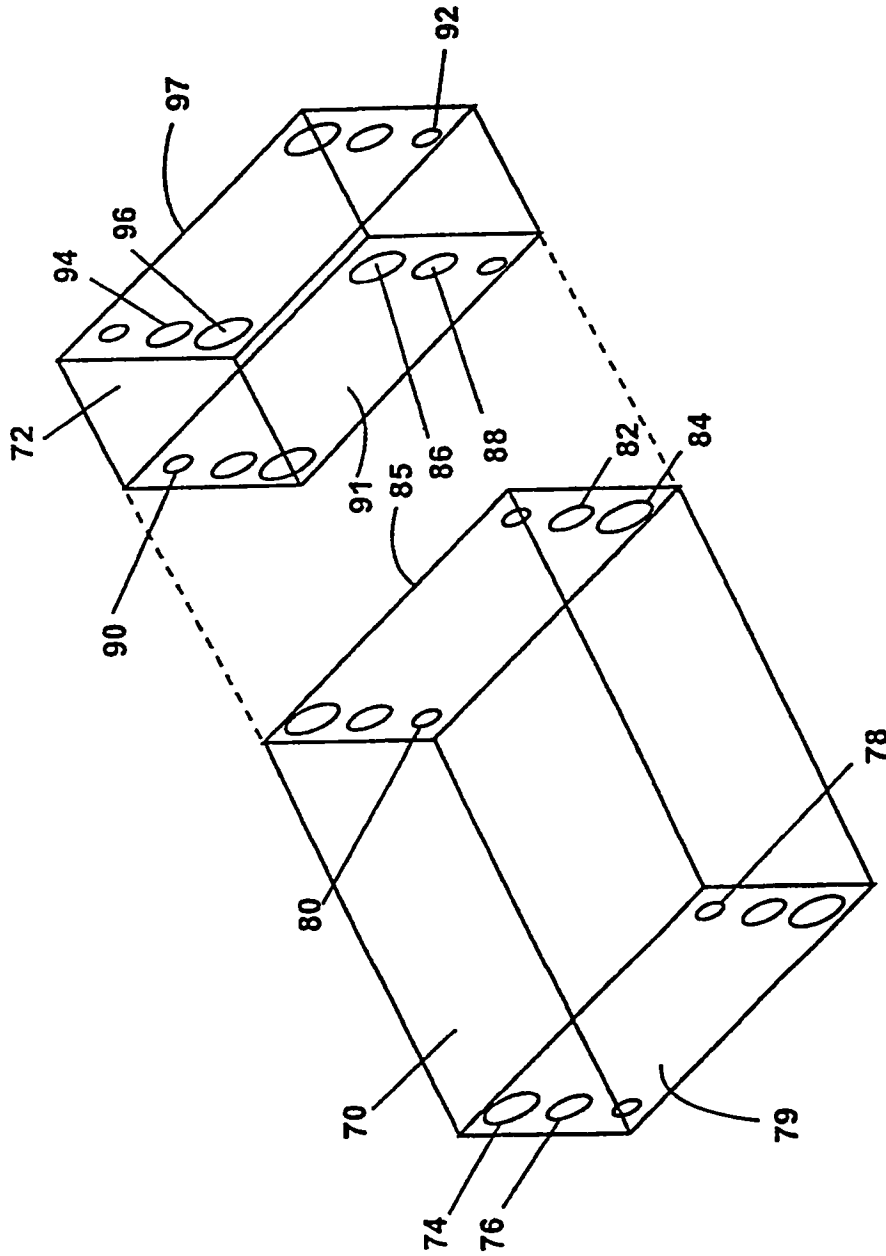


Fig. 2



- LEGENDE
- ANODE: ○
 - KÜHLMITTEL: ○
 - KATHODE: ○

Fig. 3

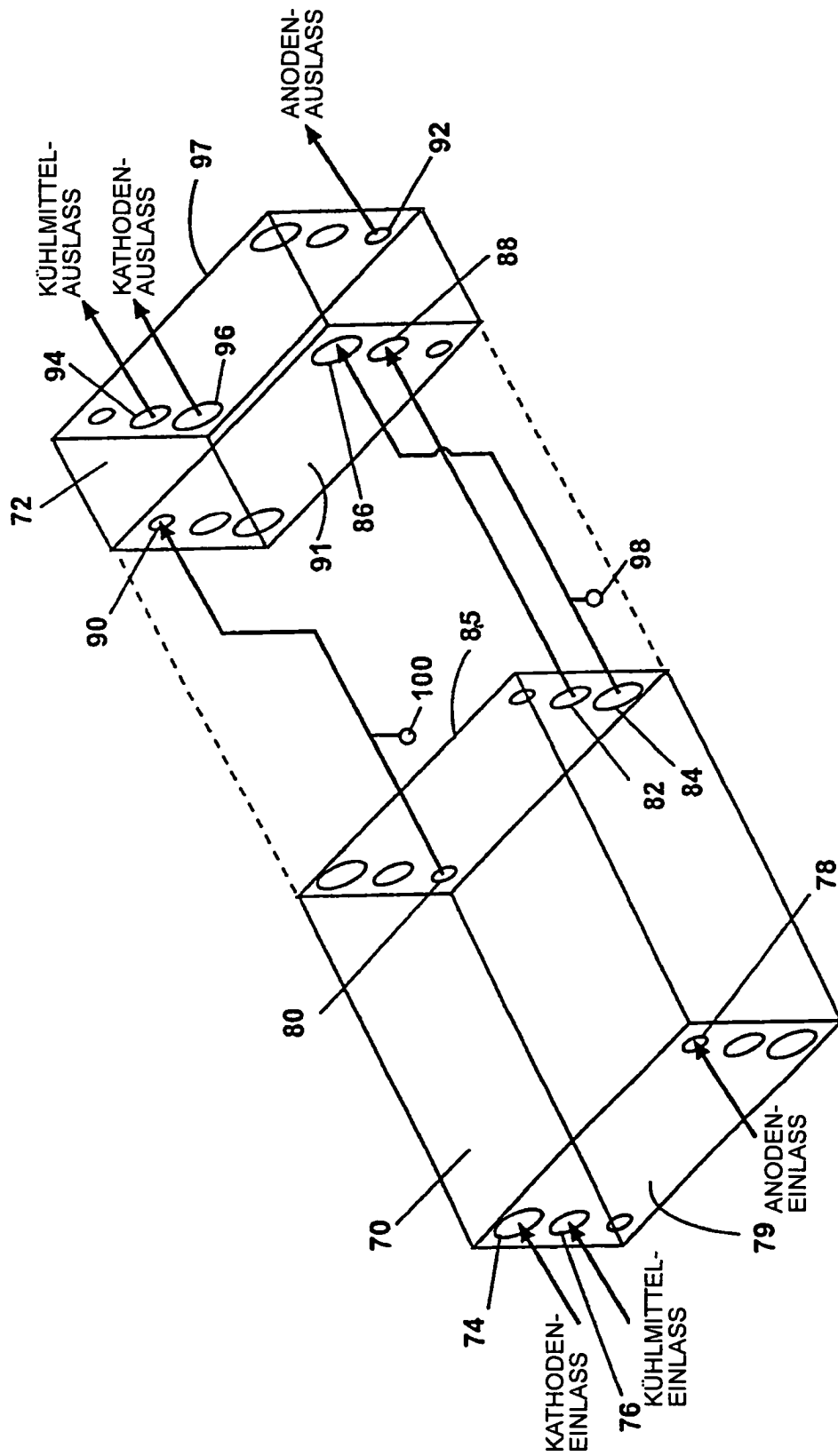


Fig. 4

LEGENDE

- ANODE: ○
- KÜHLMITTEL: ○
- KATHODE: ○

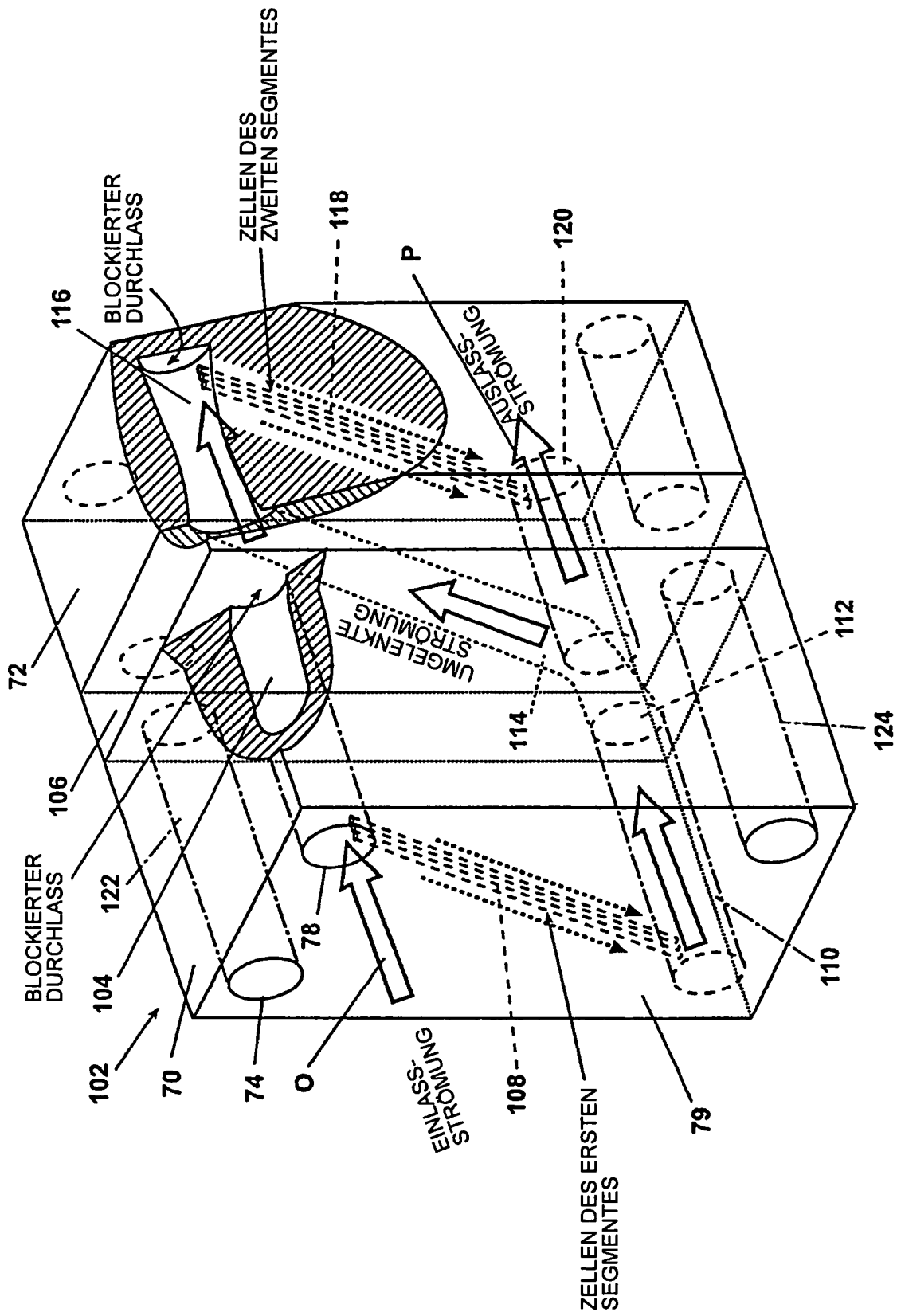


Fig. 5