



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **102 97 626.0**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/00078**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/061040**  
(86) PCT-Anmeldetag: **04.01.2002**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.07.2003**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **10.02.2005**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **18.04.2013**

(51) Int Cl.: **H01M 8/00 (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).

(73) Patentinhaber:  
**UTC Fuel Cells, LLC, South Windsor, Conn., US**

(74) Vertreter:  
**Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80796, München, DE**

(72) Erfinder:  
**Yang, Deliang, Vernon, Conn., US; Steinbugler, Margaret M., East Windsor, Conn., US; Sawyer, Richard Dr., Groveton, N.H., US; Dine, Leslie L. van, Manchester, Conn., US; Reiser, Carl A., Stonington, Conn., US**

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

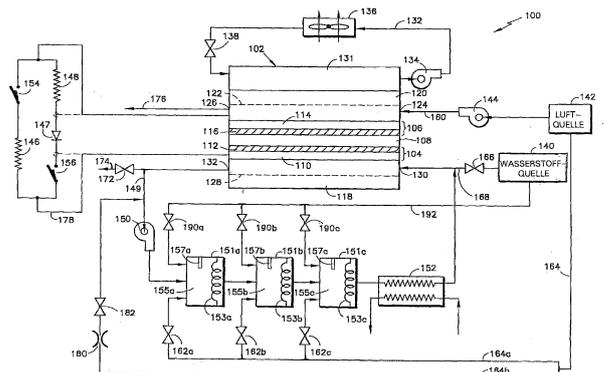
<b>US</b>	<b>5 045 414</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 503 944</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 013 617</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Anfahren eines Brennstoffzellensystems mit einem Anodenabgas-Wiederverwertungskreislauf**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Anfahren eines abgeschalteten Brennstoffzellensystems, wobei das abgeschaltete System eine Quelle für wasserstoffhaltigen Brennstoff, eine Brennstoffzelle, aufweisend ein Kathodenströmungsfeld benachbart zur Kathode der Zelle auf einer Seite des Zellelektrolyten und ein Anodenströmungsfeld benachbart zur Anode der Zelle auf der anderen Seite des Zellelektrolyten, sowie einen Anodenwiederverwertungskreislauf zum Rezirkulieren von mindestens einem Teil des Anodenströmungsfeldabgases durch das Anodenströmungsfeld aufweist, wobei sowohl das Anodenströmungsfeld als auch das Kathodenströmungsfeld mit Luft gefüllt sind und die primäre stromverbrauchende Einrichtung von dem externen Stromkreis der Brennstoffzelle getrennt ist, wobei das Anfahrverfahren die folgenden Schritte aufweist:

(A) Auslösen eines Rezirkulierens durch den Wiederverwertungskreislauf des Anodenströmungsfeldabgases, welches anfänglich 100% Luft ist, und dann Zur-Verfügungstellen einer begrenzten Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff in das rezirkulierende Anodenabgas, um eine Mischung aus Wasserstoff und Luft im Wiederverwertungskreislauf zu erzeugen;

(B) katalytisches Reagieren-lassen von Wasserstoff und Sauerstoff in der Mischung an einem Katalysator in dem Wiederverwertungskreislauf, während der Wasserstoff...



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf Brennstoffzellensysteme und insbesondere auf Verfahren zum Anfahren eines Brennstoffzellensystems.

## Stand der Technik

**[0002]** Es ist in der Brennstoffzellentechnik bekannt, dass bei Öffnen des elektrischen Kreises, wenn keine Last mehr über die Zelle anliegt, z. B. bei und während des Abschaltens der Zelle, das Vorhandensein von Luft auf der Kathode, verbunden mit verbleibendem Wasserstoffbrennstoff auf der Anode häufig unakzeptable Anoden- und Kathodenpotenziale verursacht, was zur Katalysator- und Katalysatorträgeroxidation und -korrosion und verbundenem Zellenleistungsverfall führt. Man war der Ansicht, dass es erforderlich sei, Inertgas zu verwenden, um sowohl das Anodenströmungsfeld als auch das Kathodenströmungsfeld direkt nach dem Zellenabschalten zu spülen, um die Anode und Kathode zu passivieren, um derartigen Zellenleistungsverfall zu minimieren oder zu verhindern. Außerdem verhinderte die Verwendung einer Inertgasspülung das mögliche Auftreten einer entflammaren Mischung von Wasserstoff und Luft, was einen Sicherheitsaspekt darstellt. Während die Verwendung von 100% Inertgas als Spülgas im Stand der Technik am meisten verbreitet ist, beschreiben die von der gleichen Anmelderin gehaltenen US-Patente US 5 013 617 A und US 5 045 414 A die Verwendung von 100% Stickstoff als Spülgas der Anodenseite und ein Spülgas der Kathodenseite, welches einen sehr kleinen Anteil von Sauerstoff (z. B. weniger als 1%), Rest Stickstoff, aufweist. Diese beiden Patente diskutieren auch die Option des Anschließens einer elektrischen Dummy-Last an die Zelle während des Starts der Spülung, um das Kathodenpotenzial rasch auf zwischen die akzeptablen Grenzen von 0,3 bis 0,7 V abzusinken.

**[0003]** Es ist unerwünscht, Stickstoff oder andere Inertgase als Spülgas für Abschalten oder Anfahren von Brennstoffzellen zu verwenden, wenn die Kompaktheit und die Serviceintervalle der Brennstoffzellen-Stromerzeugungsanlage von Bedeutung sind, beispielsweise für Fahrzeuganwendungen. Es ist erwünscht, die mit dem Lagern und Zuführen von Inertgas zu den Zellen verbundenen Kosten zu vermeiden. Daher werden sichere, kostengünstige Abschalt- und Anfahrverfahren benötigt, welche keinen signifikanten Leistungsverfall verursachen und nicht die Verwendung von Inertgasen, oder jeglichen anderen Gasen, welche für den normalen Brennstoffzellenbetrieb benötigt werden, erfordern.

## Beschreibung der Erfindung

**[0004]** Gemäß der vorliegenden Erfindung weist ein Verfahren zum Anfahren eines Brennstoffzellensystems, welches von seiner primären Last getrennt ist und Luft in sowohl seinem Kathoden- als auch Anodenströmungsfeld hat, auf: a) Auslösen einer Rezirkulation des Anodenströmungsfeldabgases durch einen Wiederverwertungskreislauf und Bereitstellen einer begrenzten Strömung von Brennstoff in das rezirkulierende Abgas; b) katalytisch Reagieren-lassen des Wasserstoffs und Sauerstoffs in der Brennstoff-Luft-Mischung, während sie rezirkuliert, bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf verbleibt; und dann c) Erhöhen der Brennstoffströmungsrate in das Anodenströmungsfeld auf normale Betriebsniveaus und danach Verbinden der primären Last über die Zelle. Vorzugsweise ist eine Hilfswiderstandslast über die Zelle verbunden, während der Sauerstoff verbraucht wird, um die Zellenspannung während des Verfahrens zu verringern. Die Verwendung eines Diffusionsbrenners und separaten katalytischen Brenners in dem Wiederverwertungskreislauf bzw. nur eines katalytischen Brenners ist jedenfalls vorteilhaft zum Beschleunigen der Entfernung von Sauerstoff.

**[0005]** In einem Experiment, unter Verwendung eines PEM-Brennstoffzellenstapels des allgemeinen im von der gleichen Anmelderin gehaltenen US-Patent US 5 503 944 A beschriebenen Typs, wurde die primäre Strom verbrauchende Einrichtung getrennt, und die Strömung von Brennstoff (Wasserstoff) zur Anode und die Strömung von Luft zur Kathode wurde abgeschaltet. Es wurde nicht versucht, das Anodenströmungsfeld von verbleibendem Brennstoff zu spülen oder das Kathodenströmungsfeld von Luft zu spülen, z. B. durch Verwendung einer Inertgasspülung. Zum Wiederaanfahren der Zelle wurden Brennstoff und Oxidationsmittel direkt in ihre entsprechenden Strömungsfelder strömen gelassen (das genannte Verfahren wird im Folgenden als ein "unkontrollierter" Start/Stopp-Zyklus bezeichnet. Es wurde gefunden, dass eine Zellenstapelanordnung, welche in diesem Betrieb betrieben wurde, raschen Leistungsverfall aufwies, welcher vorher nicht beobachtet wurde. Ferner wurde entdeckt, dass eine große Anzahl von Start/Stopp-Zyklen nachteiliger für die Zellenleistung waren als eine große Anzahl von normalen Betriebsstunden unter Last. Es wurde schließlich durch Versuche festgestellt, dass sowohl das Abschaltverfahren als auch das Anfahrverfahren zum raschen Leistungsverfall beitrugen, den die Zelle durchmachte; und es war bekannt, dass ein derartig rascher Verfall nicht auftrat, wenn gemäß Techniken aus dem Stand der Technik Inertgas verwendet wurde, um die Zelle bei jedem Abschalten zu passivieren. Untersuchung der verwendeten Zellen, welche nur ein paar Dutzend nicht-kontrollierter Start/Stopp-Zyklen durchliefen, zeigte, dass 25 bis 50% des Kohlenstoff-Katho-

denkatalysatorträgers mit hoher Oberfläche wegkorrodiert waren, was bisher nicht im Stand der Technik berichtet wurde.

**[0006]** Weiteres Testen und Analyse der Ergebnisse führte zu der Ansicht, dass der folgende Mechanismus den Leistungsverfall verursachte, welcher im vorangegangenen Experiment auftrat: In Bezug auf [Fig. 2](#) ist eine diagrammartige Darstellung einer PEM-Brennstoffzelle gezeigt. (Es wird angemerkt, dass der im Folgenden beschriebene Mechanismus auch Zellen betrifft, welche andere Elektrolyten verwenden, beispielsweise Phosphorsäure oder Kaliumhydroxid mit den entsprechenden Änderungen bei Ionenströmen.) In [Fig. 2](#) stellt M eine Protonenaustauschmembran (PEM) mit einer Kathodenkatalysatorschicht C auf einer Seite und einer Anodenkatalysatorschicht A auf der anderen Seite dar. Das Kathodenluftströmungsfeld, welches Luft zum Kathodenkatalysator führt, ist in Luftzonen 1 und 2 durch eine vertikale gepunktete Linie getrennt, welche die Stelle einer sich durch das Anodenströmungsfeld bewegenden Wasserstofffront darstellt, wie im Folgenden weiter beschrieben. Das Anodenströmungsfeld, welches normalerweise Wasserstoff über den Anodenkatalysator von einem Einlass I zu einem Ausgang E trägt, ist ebenfalls in zwei Zonen durch die gleiche gepunktete Linie geteilt. Die Zone zur linken Seite der gepunkteten Linie und benachbart zum Einlass I ist mit Wasserstoff gefüllt und mit dem Symbol  $H_2$  bezeichnet. Die Zone auf der rechten Seite der gepunkteten Linie und benachbart zum Ausgang E ist eine mit Luft gefüllte Zone 3.

**[0007]** Bei einem unkontrollierten Abschalten (d. h. einem Abschalten ohne das Vornehmen besonderer Schritte zur Begrenzung des Leistungsverfalls) diffundieren ein Teil des verbleibenden Wasserstoffs und ein Teil des Sauerstoffs in ihrem entsprechenden Anoden- bzw. Kathodenströmungsfeld über die PEM (jeweils zur entgegengesetzten Seite der Zelle) und reagieren auf dem Katalysator (entweder mit Sauerstoff oder Wasserstoff, je nach Fall), um Wasser zu erzeugen. Der Verbrauch von Wasserstoff an der Anode senkt den Druck im Anodenströmungsfeld auf unterhalb des Umgebungsdrucks, was dazu führt, dass Luft von außen in das Anodenströmungsfeld am Ausgang E gezogen wird, was eine Wasserstoff/Luftfront (die gepunktete Linie in [Fig. 2](#)) erzeugt, welche sich langsam durch das Anodenströmungsfeld vom Brennstoffausgang E zum Brennstoffeinlass I bewegt. Schließlich füllt sich das gesamte Anodenströmungsfeld (und das Kathodenströmungsfeld) mit Luft. Beim Anfahren der Zelle wird eine Luftströmung in und durch das Kathodenströmungsfeld geleitet und eine Wasserstoffströmung in den Anodenströmungsfeldeinlass I eingebracht. Auf der Anodenseite der Zelle wird dies zur Erzeugung einer Wasserstoff/Luftfront (welche ebenfalls durch die gepunktete Linie in [Fig. 2](#) dargestellt ist), welche sich über die An-

ode durch das Anodenströmungsfeld bewegt und die Luft davor verdrängt, welche aus der Zelle hinausgedrückt wird. In jedem Fall (d. h. bei Abschalten und Anfahren) bewegt sich eine Wasserstoff/Luftfront durch die Zelle. Auf der einen Seite der sich bewegenden Front (in der  $H_2$ -Zone in [Fig. 2](#)) ist die Anode im wesentlichen nur Brennstoff (d. h. Wasserstoff) ausgesetzt; und in der Zone 1 des Kathodenströmungsfelds, gegenüber der Zone  $H_2$ , ist die Kathode nur der Luft ausgesetzt. Dieser Bereich der Zelle wird im Folgenden als die  $H_2$ /Luftregion bezeichnet: d. h. Wasserstoff auf der Anode und Luft auf der Kathode. Auf der anderen Seite der sich bewegenden Front ist die Anode im wesentlichen nur Luft ausgesetzt; und Zone 2 des Kathodenströmungsfelds gegenüber von Zone 3 ist auch der Luft ausgesetzt. Diese Region der Zelle wird im Folgenden als die Luft/Luftregion bezeichnet: d. h. Luft auf sowohl der Anode als auch der Kathode.

**[0008]** Die Gegenwart von sowohl Wasserstoff und Luft im Anodenströmungsfeld führt zu einer kurzgeschlossenen Zelle zwischen dem Bereich der Anode, welcher Wasserstoff ausgesetzt ist und dem Bereich der Anode, welcher Luft ausgesetzt ist. Dies führt zu einer kleinen Strömung von Protonen ( $H^+$ ) in der Ebene innerhalb der Membran M und einer beträchtlicheren Strömung von Protonen durch die Ebene, durch die Membran, in Richtung des mit  $H^+$  bezeichneten Pfeils, wie auch einer Strömung von Elektronen ( $e^-$ ) in der Ebene auf jeder Seite der Zelle, wie durch die so genannten Pfeile bezeichnet. Die Elektronen gelangen durch die leitenden Katalysatorschichten und andere leitende Zellenelemente, welche die Katalysatorschichten kontaktieren könnten. Auf der Anodenseite gelangen die Elektronen vom Bereich der Anode, welcher Wasserstoff ausgesetzt ist, zum Bereich, welcher Luft ausgesetzt ist; und auf der Kathodenseite bewegen sie sich in der entgegengesetzten Richtung.

**[0009]** Die Strömung von Elektronen im Bereich der Anode, welcher Wasserstoff ausgesetzt ist, zum Bereich der Anode, welcher Luft ausgesetzt ist, führt zu einer kleinen Veränderung im Potential des Elektronenleiters. Auf der anderen Seite sind Elektrolyten in der Membran relativ schlechte Protonenleiter in der Ebene, und die Strömung von Protonen führt zu einem sehr signifikanten Abfall des Elektrolytenpotenzials zwischen den Zonen  $H_2$  und 3.

**[0010]** Es wird geschätzt, dass die Verringerung des Elektrolytenpotenzials zwischen den Zonen  $H_2$  und 3 in der Größenordnung der typischen Zellenspannung bei offenem Kreislauf von ca. 0,9 bis 1,0 V ist. Dieser Potenzialabfall führt zu einer Protonenströmung über die PEM, M, von der Kathodenseite, Zone 2, zu der Anodenseite, Zone 3, was die umgekehrte Richtung ist, welche bei normalen Zellenbetriebsbedingungen stattfindet. Es wird auch geschätzt, dass die Verrin-

gerung des Elektrolytenpotenzials im Bereich der Anode, welche Luft ausgesetzt ist (in Zone 3), zu einem Kathodenpotenzial in Zone 2 von ca. 1,5 bis 1,8 V führt, im Gegensatz zum normalen Kathodenpotenzial von 0,9 bis 1,0 V. (Diese Potenziale sind relativ zum Wasserstoffpotenzial unter gleichen Betriebsbedingungen.) Dieses erhöhte Kathodenpotenzial führt zu einer rapiden Korrosion des Kohlenstoffträgermaterials und des Kathodenkatalysators, was zu signifikantem Zellenleistungsverfall führt.

**[0011]** Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist, Korrosion von Brennstoffzellenkatalysator und Katalysatorträger zu minimieren, welche während des Anfahrens der Brennstoffzelle stattfindet, und dies zu erreichen, ohne beim Anfahren Luft mit Inertgas aus den Zellen zu spülen.

**[0012]** Das Ziel wird erreicht durch das Verfahren mit den Merkmalen, wie sie in den unabhängigen Ansprüchen angegeben sind. Ausführungsformen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

**[0013]** Gemäß einer Ausführungsform des Anfahrverfahrens der vorliegenden Erfindung wird eine Rezirkulation der Gase innerhalb des Anodenströmungsfelds, welche anfänglich 100% Luft sind, in einem Wiederverwertungskreislauf ausgelöst, und eine begrenzte Strömung von Wasserstoff, welche Brennstoff enthält, wird in den Wiederverwertungskreislauf stromaufwärts vom Einlass des Anodenströmungsfelds zugeführt, um eine rezirkulierende Mischung zu erzeugen, welche Wasserstoff und Luft aufweist. Während die Gasmischung durch den Kreislauf zirkuliert, kommen Wasserstoff und Sauerstoff innerhalb der Mischung in Kontakt mit dem Anodenkatalysator, um Wasser zu bilden, wodurch der Sauerstoff in der rezirkulierenden Strömung verbraucht wird. Wenn im wesentlichen der gesamte Sauerstoff innerhalb des Wiederverwertungskreislaufs verschwunden ist, wird die Brennstoffströmungsrate in das Anodenströmungsfeld auf das normale Betriebsniveau erhöht, und die primäre Last wird über die Zelle verbunden.

**[0014]** Da nur eine Mischung von Luft und einer begrenzten Menge von Wasserstoff in das Anodenströmungsfeld während des oben beschriebenen Anfahrverfahrens einströmt, überquert keine ausgeprägte Wasserstoff/Luftfront das Anodenströmungsfeld; und es gibt keinen Zeitpunkt, zu dem eine Region der Anode nur Wasserstoff ausgesetzt ist und die andere nur Luft ausgesetzt ist. Somit werden die hohen Kathodenpotenziale, welche zu Katalysatorkorrosion und Katalysatorträgerkorrosion führen, vermieden.

**[0015]** Außer in verschiedenen spezifischen Fällen, welche später in Bezug auf bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben wer-

den, sollte aus Sicherheitsgründen die Menge an Wasserstoff, welche in den Wiederverwertungskreislauf eingeführt wird, während Luft vorhanden ist, weniger als eine Menge sein, welche zu einer entflammaren Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff führen würde. Mehr als ca. 4 Vol.-% Sauerstoff (entspricht ca. 20% Luft) in Wasserstoff wird als über der Entflammbarkeitsgrenze angesehen; und mehr als ca. 4 Vol.-% Wasserstoff in Luft wird als über der Entflammbarkeitsgrenze angesehen. Wenn daher der Wiederverwertungskreislauf 100% Luft enthält, sollte die Rate der Wasserstoffströmung in dem Wiederverwertungskreislauf anfänglich nicht ca. 20% der gesamten Wiederverwertungskreislauf-Strömungsrate übersteigen und sollte vorzugsweise geringer als 20% sein, um einen Sicherheitsabstand zu ermöglichen. Eine Einrichtung zum Messen des Verhältnisses von Sauerstoff zu Wasserstoff in den zirkulierenden Gasen kann in dem Wiederverwertungskreislauf platziert und zur Steuerung von Ventilen oder anderen Einrichtungen verwendet werden, welche verwendet werden, um Gase in den Wiederverwertungskreislauf einzuführen.

**[0016]** Während des Anfahrens wird die rezirkulierende Gasströmung teilweise entlüftet (z. B. verlässt ein kleiner Teil der rezirkulierenden Strömung das System durch ein Entlüftungsventil), um die Strömung bei im wesentlichen Umgebungsdruck zu halten. Dies hält auch die Stickstoffkonzentration gering und verhindert jegliches Erfordernis, den Wiederverwertungskreislauf mit Wasserstoff zu spülen, bevor die primäre Last über die Zelle angeschlossen werden kann.

**[0017]** In einer weiteren Ausführungsform des Anfahrverfahrens der vorliegenden Erfindung wird die Luft, welche im Anodenströmungsfeld am Anfang des Anfahrverfahrens vorhanden ist, innerhalb eines Wiederverwertungskreislaufs rezirkuliert, welcher mindestens einen Brenner (und vorzugsweise eine Reihe von Brennern, in Reihe) mit einem katalytisch beschichteten Element darin aufweist. Eine begrenzte Menge an wasserstoffhaltigem Brennstoff wird direkt in den Brenner oder in den rezirkulierenden Gasstrom stromaufwärts von dem Brenner eingespritzt; und dieser Brennstoff reagiert katalytisch auf dem katalytischen Element mit dem Sauerstoff in der rezirkulierenden Strömung, um Wasser und Wärme zu erzeugen. (Falls eine Mehrzahl von Brennern verwendet wird, ist es bevorzugt, dass jeder Brenner mit seiner eigenen separaten Brennstoffströmung versorgt ist.) Die Menge an zu dem Brenner hinzugefügtem (oder zu jedem der Serie von Brennern zugefügtem) Wasserstoff ist reguliert, um die Menge an verbrauchtem Wasserstoff zu minimieren, die in das Anodenströmungsfeld einströmt, während Sauerstoff auch in dem Wiederverwertungskreislauf vorhanden ist, und um das Erzeugen einer entflammaren Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff, wie oben er-

wähnt, zu vermeiden. Das Abgas vom Brenner, dessen Sauerstoff beträchtlich verbraucht ist, wird durch das Anodenströmungsfeld und durch den Brenner zirkuliert, bis der Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf im wesentlichen verbraucht ist. Wie in der vorangegangenen Ausführungsform wird der Wiederverwertungskreislauf vorzugsweise mit Wasserstoff gespült, bevor die primäre Last wieder angeschlossen wird und normale Strömungsraten von Luft und Brennstoff zum Kathoden- bzw. Anodenströmungsfeld geliefert werden.

**[0018]** Vorzugsweise umfasst jeder Brenner einen Diffusionsbrenner stromaufwärtig von und in Reihe mit dem katalytischen Brennelement, vorzugsweise im selben Gehäuse integriert. Der Diffusionsbrenner umfasst einen Zünder, welcher verwendet wird, um das Diffusionsbrennen von Luft und Wasserstoff, welche in den Diffusionsbrenner strömen, auszulösen. Der Diffusionsverbrennungsprozess beschleunigt das Abschaltverfahren durch schnelleres Verbrauchen des Wasserstoffs in der Wiederverwertungsströmung (im Vergleich zu ausschließlich katalytischem Brennen); Diffusionsbrennen alleine ist jedoch nicht so effizient wie katalytisches Brennen zum Entfernen von Wasserstoff auf die für die Erfindung erforderlichen Niveaus. Die Kombination von beiden bietet die erwünschte Schnelligkeit und die im wesentlichen vollständige Entfernung von Wasserstoff. Die Entflammbarkeitsgrenzen, welche wie oben erwähnt zur Sicherheit im Brennstoffzellensystem eingehalten werden sollten, finden natürlich keine Anwendung auf den Diffusionsbrenner; die Entflammbarkeitsgrenzen sollten jedoch in Bezug auf die Gaszusammensetzung eingehalten werden, welche den Diffusionsbrennerbereich verlässt.

**[0019]** Um zu gewährleisten, dass das Kathodenpotential nicht auf Niveaus anwächst, welche schnelle Korrosionsgeschwindigkeiten des Kathodenkatalysators und Katalysatorträgers während des Anfahrens bewirken können, ist es in jeder der vorangehenden Ausführungsformen bevorzugt, die Zellenspannung auf einen vorbestimmten niedrigen Wert zu verringern und die Zellenspannung auf höchstens diesen niedrigen Wert während des gesamten Anfahrverfahrens zu begrenzen. Dies kann erreicht werden durch Anschließen und Erhalten einer kleinen Hilfswiderstandslast über die Zelle während der Zeit, während welcher Wasserstoff in den Wiederverwertungskreislauf oder in die Brenner während des Anfahrverfahrens geliefert wird. Eine mit der Hilfslast in Reihe geschaltete Diode kann verwendet werden, um die Zellenspannung auf einen vorbestimmten Wert zu begrenzen. Für optimale Ergebnisse wird die Zellenspannung auf ca. 0,2 V pro Zelle oder weniger begrenzt.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0020]** **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung eines Brennstoffzellensystems, welches gemäß dem Anfahrverfahren der vorliegenden Erfindung betrieben werden kann.

**[0021]** **Fig. 2** ist eine diagrammartige Ansicht eines Brennstoffzellenquerschnitts, welche verwendet wird, um einen Mechanismus zu erklären, welcher den Zellenleistungsverfall während des Anfahrens und Abschaltens erklären kann.

#### Beste Ausführungsformen der Erfindung

**[0022]** In **Fig. 1** ist ein Brennstoffzellensystem **100** gezeigt. Das System umfasst eine Brennstoffzelle **102**, aufweisend eine Anode **104**, eine Kathode **106** und eine zwischen der Anode und der Kathode angeordnete Elektrolytschicht **108**. Die Anode umfasst ein Anodensubstrat **110** mit einem darauf aufgebrachtten Anodenkatalysator **112** auf der Seite des Substrats, welche der Elektrolytschicht **108** gegenüberliegt. Die Kathode umfasst ein Kathodensubstrat **114** mit einer darauf aufgebrachtten Kathodenkatalysatorschicht **116**, welche auf der Seite des Substrats ist, welche der Elektrolytschicht **108** gegenüberliegt. Die Zelle umfasst ebenfalls eine Anodenströmungsfeldplatte **118** benachbart zum Anodensubstrat **110** und eine Kathodenströmungsfeldplatte **120** benachbart zum Kathodensubstrat **114**.

**[0023]** Die Kathodenströmungsfeldplatte **120** hat eine Mehrzahl von Kanälen **122**, welche sich darüber hinweg benachbart zum Kathodensubstrat erstrecken und ein Kathodenströmungsfeld zum Tragen eines Oxidationsmittels, vorzugsweise Luft, über die Kathode von einem Einlass **124** zu einem Auslass **126** bilden. Die Anodenströmungsfeldplatte **118** hat eine Mehrzahl von Kanälen **128**, welche sich darüber benachbart zu dem Anodensubstrat erstreckend ein Anodenströmungsfeld zum Tragen eines wasserstoffhaltigen Brennstoffs über die Anode von einem Einlass **130** zu einem Auslass **132** bilden. Jede Zelle umfasst auch einen Kühler **131** benachbart zur Kathodenströmungsfeldplatte **120**, zum Entfernen von Wärme von der Zelle, z. B. durch Verwendung einer Wasserpumpe **134** zur Zirkulation von Wasser durch den Kreislauf **132**, welches durch den Kühler **131**, einen Radiator **136** zur Abgabe der Wärme und ein Strömungskontrollventil bzw. eine Öffnung **138** gelangt.

**[0024]** Obwohl nur eine einzelne Zelle **120** gezeigt ist, würde ein Brennstoffzellensystem wirklich eine Mehrzahl benachbarter Zellen (d. h. einen Zellenstapel), welche elektrisch in Reihe verbunden sind, aufweisen, wobei jede einen Kühler hat, welche die Kathodenströmungsfeldplatte einer Zelle von der Anodenströmungsfeldplatte einer benachbarten

Zelle trennt. Für detailliertere Informationen bezüglich Brennstoffzellen wie der in [Fig. 1](#) dargestellt wird der Leser an die von der gleichen Anmelderin gehaltenen US-Patente US 5 503 944 A und US 4 115 627 A verwiesen. Das '944-Patent beschreibt eine Feststoffpolymerelektrolyt-Brennstoffzelle, bei welcher die Elektrolytschicht eine Protonenaustauschmembran (PEM) ist. Das '627-Patent beschreibt eine Phosphorsäureelektrolyt-Brennstoffzelle, bei welcher die Elektrolytschicht eine poröse Siliciumcarbid-Matrixschicht ist, welche den flüssigen Elektrolyten in ihren Poren enthält.

**[0025]** Es wird wiederum auf [Fig. 1](#) Bezug genommen. Das Brennstoffzellensystem umfasst eine Brennstoff enthaltende, unter Druck stehende Wasserstoffquelle **140**, ein Luftgebläse **144**, eine primäre Strom verbrauchende Einrichtung, im Folgenden als primäre Last bezeichnet, **146**, eine Diode **147**, eine Hilfswiderstandslast **148** in Reihe mit der Diode, und einen Anodenabgaswiederverwertungskreislauf **149**. Für Zwecke dieser Anmeldung und der angehängten Ansprüche wird davon ausgegangen, dass der Wiederverwertungskreislauf **149** die Anodenkatalysatorschicht **112**, das poröse Anodensubstrat **110** sowie die Kanäle **128**, welche das Anodenströmungsfeld definieren, umfasst.

**[0026]** In dem Wiederverwertungskreislauf ist ein Wiederverwertungskreislauf-Gebläse **150**, eine Mehrzahl von Brennern **151a**, **151b**, **151c** und ein Wiederverwertungskreislauf-Wärmetauscher **152** angeordnet. Jeder Brenner umfasst ein elektrisch erwärmtes, katalytisch beschichtetes Brennelement darin, mit **153a**, **153b** bzw. **153c** bezeichnet. In jedem Brenner, stromaufwärts von jedem katalytischen Element, ist eine Diffusionsverbrennungszone **155a**, **155b** bzw. **155c**. In jede dieser Zonen reicht ein Entzündler **157a**, **157b** bzw. **157c** hinein. Ein Zweig **164a** einer Leitung **164** von der Luftquelle **142** trägt Luft zu separaten Luftzuführventilen **162a**, **162b**, **162c**, welche die Strömung von Luft in jede Diffusionsbrennzonen steuern. (Falls gewünscht, können die Luftzuführventile **162a**, **162b** und **162c** fixierte Öffnungen sein, in diesem Fall würde es ein einzelnes Luftabschaltventil (nicht gezeigt) in der Leitung **164** stromaufwärts von den Luftzuführlöchern geben). Ein Zweig **164b** führt Luft in den Wiederverwertungskreislauf, vorzugsweise stromaufwärts vom Gebläse **150**. Der Zweig **164b** umfasst eine einengende Öffnung **180** und ein Luftleckkontrollventil **182** zum Kontrollieren der Strömung. Eine Leitung **192** von der Brennstoffquelle **140** leitet Brennstoff zu separaten Brennstoffzuführventilen **190a**, **190b**, **190c**, welche die Strömung von Brennstoff zu jeder der Diffusionsbrennerzonen steuern. (Falls gewünscht, können die Brennstoffzuführventile **190a**, **190b** und **190c** fixierte Öffnungen sein, in diesem Fall würde es ein einzelnes Brennstoffabschaltventil (nicht gezeigt) in der

Leitung **192** stromaufwärts von den Brennstoffzuführöffnungen geben.)

**[0027]** Obwohl nur ein einzelner Wärmetauscher **152** unmittelbar stromabwärts von den Brennern gezeigt ist, gibt es andere mögliche Stellen für den Wärmetauscher, und mehr als einer können benutzt werden. Beispielsweise kann ein Wärmetauscher direkt stromabwärts von jedem Brenner angeordnet sein; oder jeder Brenner kann einen integral darin enthaltenen Wärmetauscher haben. Der verwendete Wärmetauschertyp und dessen Anordnung werden nicht als Teil der vorliegenden Erfindung angesehen.

#### Normaler Brennstoffzellenbetrieb

**[0028]** Während des normalen Brennstoffzellenbetriebs, wenn die Zelle Strom an die primäre Last **146** liefert, ist ein primärer Lastschalter **154** geschlossen (in der Zeichnung ist er geöffnet gezeigt), und ein Hilfslastschalter **156** ist geöffnet. Das Luftgebläse **144**, das Anodenströmungsfeldabgas-Wiederverwertungsgebläse **150** und die Kühlmittelpumpe **134** sind alle eingeschaltet. Das Ventil **182** ist geschlossen. Ein Brennstoffzuführventil **166** in der Brennstoffzuführleitung **168** zum Anodenströmungsfeld ist geöffnet, wie auch ein Anodenabgas-Entlüftungsventil **172** in einer Anodenabgasleitung **174**. Das Kühlmittelkreislauf-Strömungskontrollventil **138** ist ebenfalls geöffnet. Die Luftzuführventile **162a**, **162b** und **162c** und die Brennstoffzuführventile **190a**, **190b** und **190c** sind geschlossen; und die katalytischen Brennelemente **153a**, **153b**, **153c** sind abgeschaltet.

**[0029]** Während des normalen Betriebs wird daher Luft von der Quelle **142** kontinuierlich in den Kathodenströmungsfeld-Einlass **124** über die Leitung **160** zugeführt und verlässt den Auslass **126** über eine Leitung **176**. Ein wasserstoffhaltiger Brennstoff von der unter Druck stehenden Quelle **140** wird kontinuierlich in das Anodenströmungsfeld über die Leitung **168** geliefert. Ein Teil des verbrauchten Wasserstoff enthaltenden Anodenabgas-Brennstoffs verlässt das Anodenströmungsfeld durch das Entlüftungsventil **172** über die Leitung **174**, während das Wiederverwertungsgebläse **150** den Rest des Anodenabgases durch das Anodenströmungsfeld über den Wiederverwertungskreislauf auf eine in der Technik bekannte Weise rezirkuliert. Wiederverwerten eines Teils des Anodenabgases hilft, eine ziemlich gleichförmige Gaszusammensetzung vom Einlass **130** bis zum Auslass **132** des Anodenströmungsfelds zu erhalten.

**[0030]** Wenn der Wasserstoff in den zirkulierenden Gasen durch das Anodenströmungsfeld strömt, reagiert er elektrochemisch auf der Anodenkatalysatorschicht auf eine bekannte Weise und erzeugt Protonen (Wasserstoffionen) und Elektronen. Die Elektronen fließen von der Anode **104** zur Kathode **106**

durch einen externen Stromkreis **178**, um die Last **146** anzutreiben.

#### Anfahrverfahren

**[0031]** Es wird angenommen, dass das oben beschriebene Brennstoffzellensystem abgeschaltet wurde und 100% Luft sowohl im Anoden- als auch Kathodenströmungsfeld hat. Die folgenden Verfahren können verwendet werden, um dieses System oder jegliches still liegendes Brennstoffzellensystem mit Luft in den Anoden- und Kathodenströmungsfeldern wieder zu starten.

**[0032]** In einem bevorzugten Anfahrverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung wird das Ventil **138** geöffnet und die Kühlmittelpumpe **134** angeschaltet. Vor Auslösen einer Wasserstoffströmung in das System ist die Hilfslast **148** wahlweise, dennoch bevorzugt, über die Zelle durch Schließen des Schalters **156** im externen Stromkreis verbunden. Anwendung der Hilfslast verringert die Zellenspannung und das Kathodenpotenzial während des Anfahrverfahrens, um einen Zellenleistungsverfall während des Anfahrverfahrens zu minimieren. Vorzugsweise wird die Zellenspannung bei weniger als 0,2 V pro Zelle während des gesamten Anfahrens gehalten. Daher wird die Diode **147** gewählt, damit Strom durch die Hilfslast gelangen kann, immer wenn die Zellenspannung über 0,2 V pro Zelle ansteigt. Auf diese Weise wird die Zellenspannung auf 0,2 V pro Zelle oder weniger während des Anfahrens begrenzt.

**[0033]** Wenn das Luftgebläse **144** abgeschaltet und das Anodenabgas-Entlüftungsventil **172** teilweise geöffnet ist, wird das Wiederverwertungskreislaufgebläse **150** angeschaltet, um ein Rezirkulieren eines Teils der Anodenströmungsfeldabgase durch den Wiederverwertungskreislauf auszulösen. Das primäre Brennstoffströmungsventil **166** bleibt geschlossen. Die Entzündler **157a**, **157b** und **157c** werden aktiviert; und die Brennstoffströmungsventile **190a**, **190b** und **190c** in der Leitung **192** werden geöffnet, um eine regulierte, begrenzte Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff in jede der Diffusionszonen **155a**, **155b** und **155c** der Brenner **151a**, **151b** bzw. **151c** zu ermöglichen. Die Wasserstoffzuführrate ist begrenzt, so dass die katalytischen Elemente der Brenner nicht 371 bis 427°C (700 bis 800°F) während des Betriebs überschreiten. Eine Wasserstoffzuführrate von ca. 18% der Wiederverwertungs-Gasströmungsrate ist als geeignet ermittelt worden.

**[0034]** Im ersten Brenner **151a** strömen der hinzugefügte Wasserstoff und das rezirkulierende Anodenabgas in die bevorzugte, aber optionale Diffusionszone **155a**, wo er durch den Entzündler **57a** gezündet wird. Ein Teil des nicht in der Diffusionsverbrennungszone verbrauchten Sauerstoffs im rezirkulierenden Anodenabgas reagiert katalytisch mit nicht verbrauch-

tem Wasserstoff auf dem katalytischen Brennelement und erzeugt Wasser. Das Abgas vom Brenner **151a** tritt in Serie in den nächsten Brenner ein, und Sauerstoff in dieser Strömung wird auf die gleiche Weise verbraucht, usw. bis das rezirkulierende Abgas durch alle Brenner hindurch gelangt ist und wiederum in das Anodenströmungsfeld strömt. Das Rezirkulieren des Anodenströmungsfeldabgases, wie auch das Diffusionsbrennen und katalytische Brennen werden fortgesetzt, bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf verbleibt. Als letzter Schritt des Verfahrens kann eine Wasserstoffspülung des Anodenströmungsfelds durchgeführt werden.

**[0035]** Der normale Brennstoffzellenbetrieb kann nun beginnen durch Schließen der Ventile **190a**, **190b** und **190c**; Öffnen des Schalters **156** zum Abschalten der Hilfslast; Öffnen des Entlüftungsventils **172** auf eine normale Betriebsposition; Öffnen des primären Brennstoffströmungsventils **166** und Anschalten des Luftgebläses **144**, um sowohl Luft von der Quelle **142** als auch unverbrauchten Brennstoff von der Quelle **140** in ihre jeweiligen Kathoden- bzw. Anodenströmungsfeld bei normalen Betriebsströmungsraten zu liefern; und Schließen des Schalters **154**, um die primäre Last anzuschließen.

**[0036]** Obwohl diese bevorzugte Ausführungsform Diffusionsverbrennen in Verbindung mit einem katalytischen "Verbrennen" verwendet, kann das Anfahren durch ausschließliches katalytisches Verbrennen durchgeführt werden. Der Vorteil des Diffusionsverbrennens ist die beträchtlich schnellere Geschwindigkeit des Anfahrverfahrens durch schnelleres Verbrennen des Sauerstoffs. Die kleinen Mengen an durch das Diffusionsverbrennen nicht verbrauchtem Sauerstoff werden durch die katalytische Reaktion auf den katalytischen Elementen stromabwärts von jeder Diffusionsverbrennungszone verbraucht. Auf diese Weise wird im wesentlichen der gesamte Sauerstoff entfernt.

**[0037]** Obwohl aufgrund der langen Anfahrzeit nicht empfohlen, kann das Brennstoffzellensystem auch ohne die Verwendung oder das Vorhandensein eines Brenners im Wiederverwertungskreislauf durchgeführt werden durch einfaches Reagieren-lassen des Wasserstoffs und Sauerstoffs auf dem Anodenkatalysator. In diesem Verfahren, wobei das Anodenabgasentlüftungsventil **172** zumindest teilweise geöffnet ist, wird das Gebläse **150** angeschaltet, um ein Rezirkulieren der Anodenströmungsfeldabgase (anfänglich 100% Luft) durch den Wiederverwertungskreislauf **150** zu beginnen. Wie in anderen Ausführungsformen ist die Hilfslast angeschlossen, um die Zellspannung zu begrenzen. Das Brennstoffströmungsventil **166** ist geöffnet, um einer begrenzten, kontinuierlichen Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff ein Mischen mit den rezirkulieren-

den Gasen stromaufwärts vom Anodenströmungsfeldeinlass **130** zu ermöglichen. (Die maximale Menge an Wasserstoff, welche hinzugefügt werden kann, ist durch die Entflammargrenzen bestimmt, wie oben diskutiert, und kann durch einen Sensor im Wiederverwertungskreislauf überwacht werden.) Während die Mischung durch den Wiederverwertungskreislauf zirkuliert, reagieren Wasserstoff und Sauerstoff in den zirkulierenden Gasen katalytisch in der Zelle auf der Anode in Gegenwart des Anodenkatalysators, um Wasser zu erzeugen. Dies wird fortgesetzt, bis im wesentlichen kein Sauerstoff in den zirkulierenden Gasen verbleibt, zu welchem Zeitpunkt die Hilfslast getrennt, die primäre Last angeschlossen wird und das Brennstoffzellensystem normalen Betrieb, wie oben beschrieben, wieder aufnehmen kann.

**[0038]** In den vorangehenden Ausführungsformen wird die Hilfslast über die gesamte Zeit, während welcher Wasserstoff in den Wiederverwertungskreislauf während des Anfahrens geliefert wird, angelegt. Es wird angemerkt, dass Vorteile erhalten werden, falls die Hilfslast von jeglichem Zeitpunkt nach dem ersten Zuführen von Wasserstoff angelegt wird bis zu jeglichem Zeitpunkt, bevor im wesentlichen der gesamte Sauerstoff entfernt wurde.

**[0039]** Obwohl die Erfindung in Bezug auf die beispielhaften Ausführungsformen beschrieben und dargestellt wurde, versteht der Fachmann, dass die vorangehenden und verschiedene andere Änderungen, Auslassungen und Hinzufügungen gemacht werden können, ohne vom Gedanken und Umfang der Erfindung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Anfahren eines abgeschalteten Brennstoffzellensystems, wobei das abgeschaltete System eine Quelle für wasserstoffhaltigen Brennstoff, eine Brennstoffzelle, aufweisend ein Kathodenströmungsfeld benachbart zur Kathode der Zelle auf einer Seite des Zellelektrolyten und ein Anodenströmungsfeld benachbart zur Anode der Zelle auf der anderen Seite des Zellelektrolyten, sowie einen Anodenwiederverwertungskreislauf zum Rezirkulieren von mindestens einem Teil des Anodenströmungsfeldabgases durch das Anodenströmungsfeld aufweist, wobei sowohl das Anodenströmungsfeld als auch das Kathodenströmungsfeld mit Luft gefüllt sind und die primäre stromverbrauchende Einrichtung von dem externen Stromkreis der Brennstoffzelle getrennt ist, wobei das Anfahrverfahren die folgenden Schritte aufweist:

(A) Auslösen eines Rezirkulierens durch den Wiederverwertungskreislauf des Anodenströmungsfeldabgases, welches anfänglich 100% Luft ist, und dann Zur-Verfügung-stellen einer begrenzten Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff in das re-

zirkulierende Anodenabgas, um eine Mischung aus Wasserstoff und Luft im Wiederverwertungskreislauf zu erzeugen;

(B) katalytisches Reagieren-lassen von Wasserstoff und Sauerstoff in der Mischung an einem Katalysator in dem Wiederverwertungskreislauf, während der Wasserstoff und Sauerstoff in Kontakt mit einem Katalysator durch den Wiederverwertungskreislauf zirkuliert, zur Erzeugung von Wasser, und weiteres Hinzufügen von wasserstoffhaltigem Brennstoff bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf verbleibt;

(C) nachdem im wesentlichen kein Sauerstoff in dem Wiederverwertungskreislauf verbleibt, (i) Erhöhen der Strömungsrate von Brennstoff in das Anodenströmungsfeld auf eine normale Betriebsströmungsrate, (ii) Zur-Verfügung-stellen eines Oxidationsmittels im Kathodenströmungsfeld mit einer normalen Betriebsströmungsrate, und (iii) Verbinden der primären stromverbrauchenden Einrichtung mit dem externen Stromkreis.

2. Anfahrverfahren nach Anspruch 1, wobei während des Rezirkulierens der Wiederverwertungskreislauf teilweise entlüftet wird und das Entlüften so lange fortgeführt wird, bis im Wesentlichen kein Sauerstoff in dem Wiederverwertungskreislauf verbleibt.

3. Anfahrverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei im Schritt (B) katalytisches Reagieren-lassen von Wasserstoff und Sauerstoff ein Strömen-lassen des rezirkulierenden Anodenabgases und wasserstoffhaltigen Brennstoffs in einen Brenner aufweist, welcher in dem Wiederverwertungskreislauf angeordnet ist, wobei der Brenner ein katalytisches Element darin enthält, und katalytisches Reagieren-lassen von Wasserstoff und Sauerstoff auf dem katalytischen Element.

4. Anfahrverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei beim gesamten Schritt (B) der in den Wiederverwertungskreislauf eingeführte wasserstoffhaltige Brennstoff mit dem rezirkulierenden Anodenströmungsfeldabgas gemischt wird und diese Mischung in das Anodenströmungsfeld eingebracht wird, woraufhin Sauerstoff katalytisch an der Zellanode in der Gegenwart von Wasserstoff verbraucht wird.

5. Anfahrverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei nach dem Schritt des Zur-Verfügung-stellens einer Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff im Schritt (A) eine Hilfswiderstandslast über die Zelle angeschlossen wird, um die Zellenspannung auf einen vorher bestimmten Wert herabzusenken und die Zellenspannung bei oder unterhalb des vorbestimmten Werts zu halten, bis mindestens im wesentlichen kein Sauerstoff in dem Wiederverwertungskreislauf verbleibt.

6. Anfahrverfahren nach Anspruch 5, wobei die Hilfswiderstandslast die Zellenspannung auf 0,2 V pro Zelle oder weniger verringert, und die Zellenspannung bei 0,2 V pro Zelle oder weniger gehalten wird, bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf verbleibt.

7. Anfahrverfahren nach Anspruch 6, wobei eine Diode mit der Hilfslast in Reihe geschaltet ist und die Zellenspannung auf 0,2 V pro Zelle oder weniger begrenzt.

8. Anfahrverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei während Schritt (B) keine Luftströmung zum Kathodenströmungsfeld geführt wird, während die Hilfslast angeschlossen ist.

9. Anfahrverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Menge an wasserstoffhaltigem Brennstoff, welcher im Schritt (B) hinzugefügt wird, reguliert ist, um die Menge an Wasserstoff und Sauerstoff, welche in den Einlass des Anodenströmungsfelds einströmen, unterhalb der Entflammbarkeitsgrenze zu halten.

10. Anfahrverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei bei Schritt (B) die kontrollierte, in das rezirkulierende Anodenabgas hinzugefügte Menge an Wasserstoff mit Sauerstoff in dem Abgas in einer Diffusionsverbrennungszone stromaufwärts von dem katalytischen Element verbrannt wird und das Abgas von dieser Zone direkt über das katalytische Element geleitet wird, wobei in dem Diffusionsverbrennungszoneabgas verbleibender Sauerstoff und Wasserstoff katalytisch reagieren und Wasser bilden.

11. Anfahrverfahren nach Anspruch 10, wobei die Wasserstoff-zu-Sauerstoff-Mischung des Diffusionsverbrennungszoneabgases unterhalb der Entflammbarkeitsgrenze liegt.

12. Verfahren zum Anfahren eines Brennstoffzellensystems, welches abgeschaltet ist, wobei das abgeschaltete System eine Quelle für wasserstoffhaltigen Brennstoff, eine Brennstoffzelle, aufweisend ein mit Luft gefülltes Kathodenbrennstofffeld benachbart zur Kathode der Zelle auf einer Seite des Zellelektrolyten, und ein mit Luft gefülltes Anodenströmungsfeld benachbart zur Anode der Zelle auf der anderen Seite des Zellelektrolyten, und einen Anodenwiederverwertungskreislauf zum Rezirkulieren von Anodenströmungsfeldabgas durch das Anodenströmungsfeld aufweist, wobei der Wiederverwertungskreislauf einen oder mehrere Brenner aufweist, wobei, während das Brennstoffzellensystem abgeschaltet ist, die primäre stromverbrauchende Einrichtung von dem externen Stromkreis der Brennstoffzelle getrennt ist, wobei das Anfahrverfahren die folgenden Schritte aufweist:

(A) Auslösen einer Rezirkulation von Anodenströmungsfeldabgas durch den Wiederverwertungskreislauf, einschließlich durch die Brenner;

(B) Zur-Verfügung-stellen einer kontrollierten Strömung von wasserstoffhaltigem Brennstoff zu den Brennern, und Verbrauchen in jedem Brenner (i) von mindestens einem Teil des Sauerstoffs im Anodenabgas und (ii) von mindestens einem Teil des den Brennern zugeführten Brennstoffs;

(C) Verbinden einer Hilfswiderstandslast über die Zelle; und

(D) Fortsetzen der kontrollierten Strömung von Brennstoff zu den Brennern und der Rezirkulation des Anodenströmungsfeldabgases durch die Brenner bis mindestens im wesentlichen kein Sauerstoff im Anodenabgas verbleibt und danach (i) Zurverfügungstellen einer Brennstoffströmung zum Anodenströmungsfeld und Luftströmung zum Kathodenströmungsfeld bei normalen Betriebsströmungsraten, und (ii) Verbinden der primären stromverbrauchenden Einrichtung mit dem externen Stromkreis, wobei die Hilfslast verbunden bleibt mindestens bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Anodenabgas verbleibt, um die Zellenspannung während des Anfahrverfahrens zu begrenzen.

13. Anfahrverfahren nach Anspruch 12, wobei die Brenner jeweils katalytische Elemente darin haben und Wasserstoff und Sauerstoff katalytisch zu Wasser auf den Elementen konvertiert werden.

14. Anfahrverfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Hilfswiderstandslast die Zellenspannung auf 0,2 V pro Zelle oder weniger verringert und die Zellenspannung bei 0,2 V pro Zelle oder weniger gehalten wird, bis im wesentlichen kein Sauerstoff im Wiederverwertungskreislauf verbleibt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

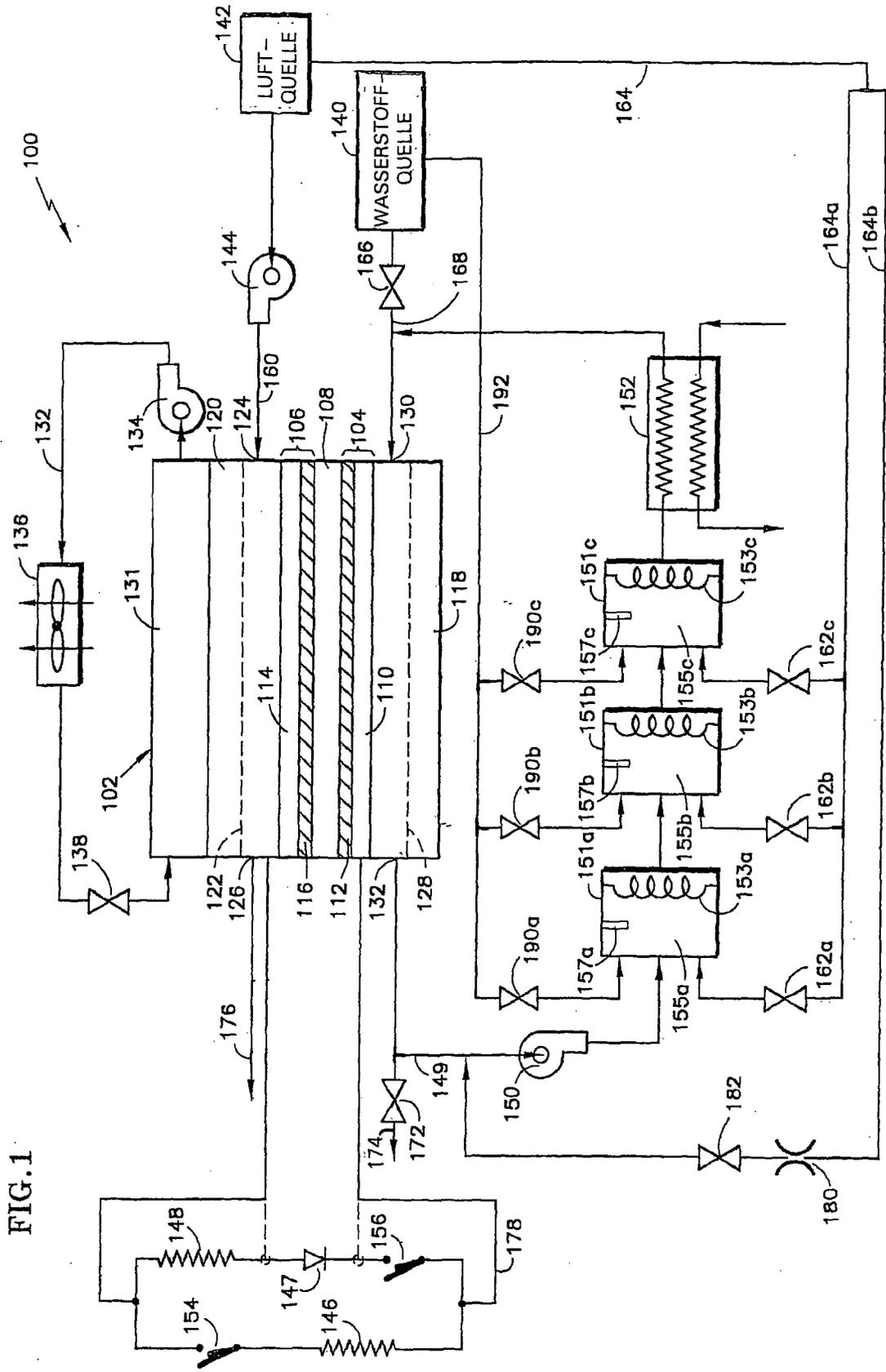


FIG. 1

FIG.2

