



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 102 01 893 B4 2008.03.06

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 102 01 893.6

(51) Int Cl.⁸: H01M 8/02 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 18.01.2002

(43) Offenlegungstag: 19.09.2002

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 06.03.2008

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. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

01-010519 18.01.2001 JP

(73) Patentinhaber:

Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Toyota, Aichi,
JP

(74) Vertreter:

WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising

(72) Erfinder:

Nonobe, Yasuhiro, Toyota, Aichi, JP; Kurita, Kenji,
Toyota, Aichi, JP

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

DE 200 08 547 U1

DE 698 00 711 T2

DE 693 02 902 T2

US 53 46 778 A

US 33 21 334 A

WO 00/63 993 A1

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug und Verfahren zum Steuern desselben**

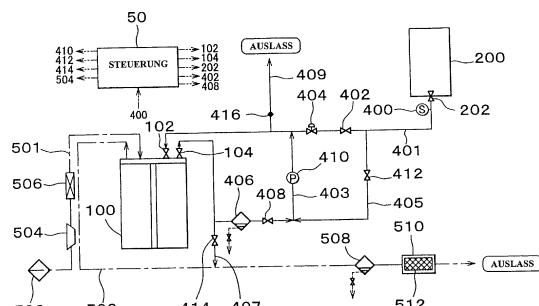
(57) Hauptanspruch: Brennstoffzellensystem zum Einbau
in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200), die eine
Wasserstoffgas absorbierende Legierung aufweist, die in
der Lage ist, Wasserstoffgas zu absorbieren oder abzu-
geben, und die

eine Brennstoffzelle (100) mit dem von der Wasserstoffgas-
versorgungsvorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoff-
gas versorgt, um elektrische Leistung zu erzeugen, wobei
die Brennstoffzelle einen Wasserstoffgasrest abgibt,
eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasser-
stoffgasversorgungsvorrichtung (200) mit einem Einlass
der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen
des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200)
abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoff-
zelle ermöglicht,

eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brenn-
stoffzelle (100) mit einer ersten Stelle in der ersten Leitung
(401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brenn-
stoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströ-
men zur ersten Leitung (401) ermöglicht,

eine in der zweiten Leitung (403) angeordnete Pumpe
(410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der
zweiten Leitung zur ersten Stelle in der ersten Leitung...



Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf ein Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, wie z. B. ein Automobil, sowie auf ein Verfahren zum Steuern eines derartigen Brennstoffzellensystems.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Es ist bekannt, dass Brennstoffzellen unter Verwendung von Wasserstoffgas, welches aus einem Hochdruckwasserstoffgasbehälter oder einem Behälter mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung zugeführt wird, elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugen. Brennstoffzellen, die einen hohen energetischen Wirkungsgrad haben, sind zur Verwendung als Energiequelle für Elektrofahrzeuge und dergleichen gedacht.

[0003] Wird eine derartige Brennstoffzelle als Energiequelle für ein Fahrzeug verwendet, muß am Fahrzeug ein Brennstoffzellensystem eingerichtet sein, welches nicht nur die Brennstoffzelle sondern auch eine Wasserstoffgasversorgung, wie z. B. einen Hochdruckwasserstoffgasbehälter oder einen Behälter mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, und eine Wasserstoffgasleitung aufweist, durch die das Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgung der Brennstoffzelle zugeführt wird.

[0004] Die WO 00/63993 A1 offenbart eine netzabhängige portable Stromversorgung mit einer Brennstoffzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Brennstoffzelle wird vorzugsweise mit Wasserstoff aus einer Metallhydridkartusche versorgt.

[0005] Die US 5,346,778 A beschreibt ein Belastungsmanagementsystem für Brennstoffzellen zum Antrieb von Fahrzeugen. Bei geringer bis mittlerer Last wird die Brennstoffzelle auf der Kathodenseite mit Luft betrieben, während bei Spitzenlast zusätzlich Sauerstoff beigemischt wird.

[0006] Die DE 693 02 902 T2 zeigt eine Brennstoffzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7. In einer weiteren Ausführungsform zeigt die DE 693 02 902 T2 eine Brennstoffzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

[0007] Die DE 698 00 711 T2 schließlich zeigt einen tragbaren Brennstoffzellenapparat, der einen Wasserstoffspeichertank enthält. Nach dieser Druckschrift wird die von der Brennstoffzelle erzeugte Abwärme effizient auf den Speichertank übertragen, um diesen aufzuheizen, wodurch Wasserstoff stabil aus

dem Tank zugeführt werden kann.

[0008] Für den Einbau im Fahrzeug ist das Brennstoffzellensystem daher in der Größe vorzugsweise so kompakt wie möglich und im Gewicht vorzugsweise so leicht wie möglich ausgeführt. Des Weiteren ist erforderlich, dass das Brennstoffzellensystem, welches mit einem höchst brenn- oder entflammbaren Wasserstoffgas arbeitet, einen hohen Grad an Sicherheit gewährleistet.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Brennstoffzellensystem zur Verfügung zu stellen, welches zum Einbau in ein Fahrzeug ein geringes Gewicht aufweist und in der Größe kompakt ist, und welches einen hohen Grad an Sicherheit gewährleistet.

[0010] Zur Lösung der vorstehenden und/oder weiterer Aufgaben ist gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ein für den Einbau in ein Kraftfahrzeug geeignetes Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1 vorgesehen. Wenn der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als ein Referenzdruck, öffnet die Steuerung das erste und zweite Ventil und schließt das dritte Ventil, so dass das von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebene Wasserstoffgas durch die erste Leitung der Brennstoffzelle zugeführt und das von der Brennstoffzelle abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung zur ersten Leitung zurückströmt, wobei die Pumpe das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt. Ist der Druck des von der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases andererseits niedriger als der Referenzdruck, schließt die Steuerung das erste und zweite Ventil und öffnet das dritte Ventil und lässt die Pumpe Wasserstoffgas aus der Wasserstoffgasspeichervorrichtung saugen und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführen, so dass der Brennstoffzelle Wasserstoffgas von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.

[0011] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Steuern eines gemäß vorstehender Beschreibung ausgelegten Brennstoffzellensystems nach Anspruch 15 vorgesehen.

[0012] In dem vorstehend beschriebenen Brennstoffzellensystem bzw. nach dem vorstehend beschriebenen Steuerungsverfahren wird eine einzige Pumpe dazu verwendet, während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems, in dem der Wasserstoffgasdruck größer ist als der Referenzdruckpegel, Wasserstoffgas zirkulieren zu lassen und, wenn der Wasserstoffgasdruck niedriger ist als der Referenzdruckpegel, wie z. B. bei der Inbe-

triebnahme des Brennstoffzellensystems bei einer niedrigen Temperatur, zudem Wasserstoffgas anzu-saugen. Somit wird für die beiden Zwecke, d. h. die Zirkulation des Wasserstoffgases und das Ansaugen des Gases aus der Speichervorrichtung, dieselbe Pumpe verwendet mit dem Ergebnis, dass für den Einbau des Brennstoffzellensystems in das Fahrzeug weniger Volumen benötigt wird und verglichen mit dem Fall, in dem für die beiden vorstehenden Zwecke unabhängige Pumpen oder andere Vorrichtungen vorgesehen sind, das Gewicht des Systems reduziert ist.

[0013] Durch die Zirkulation von Wasserstoffgas mittels der Pumpe während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems wird der scheinbare Durchsatz (d. h. die Menge und die Strömungsgeschwindigkeit) des der Brennstoffzelle zugeführten Wasserstoffgases vergrößert, was im Hinblick auf die Wasserstoffversorgung der Brennstoffzelle von Vorteil ist und zu einer erhöhten Ausgangsspannung der Brennstoffzelle führt. Des Weiteren werden selbst für den Fall, dass Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, in das Wasserstoffgas in der Brennstoffzelle eindringen, die Verunreinigungen über die gesamte Länge des Wasserstoffgasströmungssystems, welches die erste und zweite Leitung umfasst, mit dem im Strömungssystem zirkulierenden Wasserstoffgas gleichmäßig verteilt. Somit wird verhindert, dass in der Brennstoffzelle Verunreinigungen zurückbleiben und zu einem Problem im Hinblick auf den Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle führen.

[0014] Obwohl es wenig wahrscheinlich ist, dass bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems bei einer niedrigen Temperatur Wasserstoffgas von der Wasserstoffgas absorzierenden Legierung in der Wasserstoffgasspeichervorrichtung abgegeben wird, ist die Pumpe in der Lage, Wasserstoffgas aus der Speichervorrichtung zu saugen, so dass die Brennstoffzelle innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums ihren Betrieb in einem stationären Zustand aufnehmen kann.

[0015] Die vorstehend genannten ersten und zweiten Ventile könnten beispielsweise in einem Strömungswegschaltventil integriert sein.

[0016] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung ist ein für den Einbau in ein Kraftfahrzeug geeignetes Brennstoffzellensystem nach Anspruch 10 vorgesehen.

[0017] Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren nach Anspruch 17 zum Steuern des gemäß der vorstehenden Beschreibung ausgelegten Brennstoffzellensystems vorgesehen.

[0018] Bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzel-

lensystems können Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle enthalten sein. Wird lediglich zugelassen, dass Wasserstoffgas durch die Wasserstoffgaskanäle strömt, dauert es lange, bis die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle den gewünschten Spannungspegel erreicht. Bei dem vorstehend beschriebenen On-board-Brennstoffzellensystem oder Steuerungsverfahren wird bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems daher Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung geliefert und gleichzeitig die Pumpe angetrieben, um eine verstärkte Wasserstoffgasströmung durch geeignete Wasserstoffgaskanäle zu induzieren oder zu erzeugen und um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch zu erhalten.

[0019] Durch gleichmäßiges Mischen zurückgebliebener Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas, wie vorstehend beschrieben, wird die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle unmittelbar auf den gewünschten Pegel angehoben, so dass die an die Brennstoffzelle angeschlossene Last mit der gewünschten Energie versorgt werden kann.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Vorstehende und/oder weitere Gegenstände, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in denen zur Darstellung baugleicher Komponenten dieselben Bezugszeichen verwendet wurden und in denen:

[0021] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung ist, die den Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0022] [Fig. 2](#) ein Querschnitt eines Beispiels für einen Gas-Flüssigkeit-Separator zur Verwendung im Brennstoffzellensystem von [Fig. 1](#) ist;

[0023] [Fig. 3](#) ein Ablaufschema ist, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die durch eine Steuerung ausgeführt wird, wenn das Brennstoffzellensystem von [Fig. 1](#) in Betrieb genommen wird;

[0024] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung ist, die den Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zeigt; und

[0025] [Fig. 5](#) ein Ablaufschema ist, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine zeigt, die durch eine Steuerung ausgeführt wird, wenn das Brennstoffzellensystem von [Fig. 4](#) in Betrieb genommen wird.

AUSFÜHLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0026] Unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen werden einige beispielhafte bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ausführlich beschrieben.

Erste Ausführungsform

[0027] [Fig. 1](#) zeigt schematisch den Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform ist in einem Kraftfahrzeug, z. B. einem Automobil, eingebaut. Das Brennstoffzellensystem umfasst primär eine Brennstoffzelle **100**, die unter Verwendung von zugeführtem Wasserstoffgas elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugt, und einen Behälter **200** mit einer Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, aus welchem die Brennstoffzelle **100** mit Wasserstoffgas versorgt wird.

[0028] Die Brennstoffzelle **100** wird mit einem Oxidationsgas (beispielsweise Luft), welches Sauerstoff enthält, sowie dem Wasserstoffgas, welches Wasserstoff enthält, versorgt. Das so zugeführte Wasserstoff- und Oxidationsgas werden an einer Wasserstoff- bzw. Sauerstoffelektrode elektrochemischen Reaktionen unterzogen, die nachstehend durch die Formeln (1) und (2) ausgedrückt sind, so dass die Brennstoffzelle **100** elektrische Leistung bzw. elektrische Energie erzeugt.

[0029] Im Besonderen erfolgt an der Seite der Wasserstoffelektrode die durch die nachstehende Formel (1) ausgedrückte Reaktion, wenn die Wasserstoffelektrode mit Wasserstoffgas versorgt wird, und an der Seite der Sauerstoffelektrode die durch die nachstehende Formel (2) ausgedrückte Reaktion, wenn die Sauerstoffelektrode mit Oxidationsgas versorgt wird. Die Brennstoffzelle **100** führt somit insgesamt die durch die nachstehende Formel (3) ausgedrückte elektrochemische Reaktion durch.



[0030] In dem Fahrzeug, in das das Brennstoffzellensystem **100** als eine Energiequelle eingebaut ist, wird durch die elektrische Energie, die das Brennstoffzellensystem **100** erzeugt, ein (nicht gezeigter)

Elektromotor angetrieben. Das daraus resultierende Drehmoment des Elektromotors wird anschließend auf eine (nicht gezeigte) Achswelle übertragen, wodurch die Antriebskraft des Fahrzeugs erzeugt wird.

[0031] Die Brennstoffzelle **100** weist einen Stack-Aufbau auf, welcher durch Stapeln oder Schichten einer Vielzahl von Einzelzellen erhalten wird. Jede Einzelzelle weist eine (nicht gezeigte) Elektrolytschicht, ein Paar (nicht gezeigter) Diffusionselektroden in Form der Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode und zwei Separatoren auf. Die Wasserstoff- und Sauerstoffelektroden sind an entgegengesetzten Hauptoberflächen der Elektrolytschicht angeordnet; die Separatoren sind an den Aufläufen der Wasserstoff- und Sauerstoffelektroden angeordnet. An den entgegengesetzt liegenden Oberflächen der Separatoren sind jeweils Nuten oder Aussparungen in der Weise ausgebildet, dass zwischen den Separatoren und der Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode, welche dazwischen liegen, Einzelzellengaskanäle ausgebildet sind. Im Betrieb strömt der Brennstoffzelle **100** zugeführtes Wasserstoffgas durch die zwischen den Separatoren und den Wasserstoffelektroden ausgebildeten Einzelzellengaskanäle und der Brennstoffzelle **100** zugeführtes Oxidationsgas durch die zwischen den Separatoren und den Sauerstoffelektroden ausgebildeten Einzelzellengaskanäle.

[0032] Der Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthält die (nicht gezeigte) Wasserstoffgas absorbierende Legierung. Im Allgemeinen wird die Wasserstoffgas absorbierende Legierung bei einer Erhitzung einer endothermen Reaktion unterzogen, wodurch Wasserstoff abgegeben wird, und bei einer Kühlung einer exothermen Reaktion, wodurch Wasserstoff absorbiert wird. Um der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoff zu entziehen, wird die im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung daher durch einen (nicht gezeigten) geeigneten Wärmetauscher erhitzt.

[0033] Die Wasserstoffgas absorbierende Legierung kann einen Qualitätsverlust erleiden, wenn sie mit Verunreinigungen reagiert. Daher ist im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung hochreiner Wasserstoff gespeichert.

[0034] Das Brennstoffzellensystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung weist ferner ein Wasserstoffgasströmungssystem, das eine Wasserstoffgasströmung durch das System ermöglicht, ein Oxidationsgasströmungssystem, das eine Strömung von Oxidationsgas durch das System ermöglicht, und eine Steuerung **50** auf.

[0035] Das Wasserstoffgasströmungssystem um-

fasst eine Hauptstromleitung **401**, die sich von einem Auslass des Behälters **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung zu einem Einlass der Brennstoffzelle **100** erstreckt, eine Zirkulationsleitung **403**, durch welche Wasserstoffgas aus einem Auslass der Brennstoffzelle **100** durch eine nachstehend beschriebene Pumpe **410** zur Hauptstromleitung **401** zurückströmt, und eine Überbrückungsleitung **405**, die von der Hauptstromleitung **401** abzweigt und mit der Zirkulationsleitung **403** in Verbindung steht. Das Wasserstoffgasströmungssystem umfasst des weiteren eine Ablaufleitung **407** zum Abgeben von Verunreinigungen, die in dem durch das Wasserstoffgasströmungssystem zirkulierenden Wasserstoffgas enthalten sind, und eine Entlastungsleitung **409** zum Abgeben einer bestimmten Menge von Wasserstoff bei einem übermäßig hohen Wasserstoffgasdruck im Strömungssystem.

[0036] In der Hauptstromleitung **401** ist am Auslass des Behälters **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung ein Absperrventil **202** angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Leitung **401** sind ein Drucksensor **400**, ein Absperrventil **402** und ein Druckreduzierventil **404** angeordnet. In der Zirkulationsleitung **403** ist am Einlass der Brennstoffzelle **100** ein Absperrventil **104** angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Leitung **403** sind ein Gas-Flüssigkeit-Separator **406**, ein Absperrventil **408** und die Pumpe **410** angeordnet. Des weiteren ist in der Überbrückungsleitung **405** ein Absperrventil **412** und in der Ablaufleitung **407** ist ein Absperrventil **414** angeordnet, während in der Entlastungsleitung **409** ein Entlastungsventil **416** angeordnet ist.

[0037] Das Oxidationsgasströmungssystem umfasst anderseits eine Oxidationsgaszuführleitung **501**, durch welche der Brennstoffzelle **100** Oxidationsgas zugeführt wird, und eine Sauerstoffabgasablaufleitung **503**, durch welche Sauerstoffabgas von der Brennstoffzelle **100** abgegeben wird.

[0038] Im Oxidationsgasströmungssystem sind an ausgewählten Stellen in der Oxidationsgaszuführleitung **501** ein Luftreiniger **502**, ein Kompressor **504** und ein Befeuchter **506** angeordnet. Des weiteren sind in der Sauerstoffabgasablaufleitung **503** an ausgewählten Stellen ein Gas-Flüssigkeit-Separator **508** und ein Brenner **510** angeordnet.

[0039] Die Steuerung **50** erhält ein Signal vom Drucksensor **400** zum Erfassen des Drucks in der Hauptstromleitung **401** und steuert den Betrieb jedes der Ventile **102**, **104**, **202**, **402**, **408**, **412**, **414**, der Pumpe **410** und des Kompressors **504**. In [Fig. 1](#) sind Steuerleitungen, die die Verbindung zwischen der Steuerung **50** und den vorstehenden Komponenten anzeigen, aus Gründen der Vereinfachung nicht angegeben.

[0040] Zunächst wird die Oxidationsgasströmung im Oxidationsgasströmungssystem kurz beschrieben. Der Kompressor **504** wird durch die Steuerung **50** in der Weise angetrieben, dass er eine geeignete Menge Luft aus der Atmosphäre in die Oxidationsgaszuführleitung **501** zur Verwendung als Oxidationsgas in der Brennstoffzelle **100** einleitet. Die so eingeleitete Luft wird durch den Luftreiniger **502** gereinigt, durch den Befeuchter **506** geleitet und anschließend durch die Oxidationsgaszuführleitung **501** der Brennstoffzelle **100** zugeführt. Das der Brennstoffzelle **100** zugeführte Oxidationsgas wird für die vorstehend beschriebene elektrochemische Reaktion verwendet und anschliessend als Sauerstoffabgas von der Brennstoffzelle **100** abgegeben. Das von der Brennstoffzelle **100** abgegebene Sauerstoffabgas strömt durch die Sauerstoffabgasablaufleitung **503**, wobei es durch den (nachstehend ausführlich beschriebenen) Gas-Flüssigkeit-Separator **508** und den Brenner **510** strömt. Anschliessend wird das Sauerstoffabgas endgültig an die Atmosphäre abgegeben oder freigesetzt.

[0041] Als nächstes wird die Wasserstoffgasströmung im Wasserstoffgasströmungssystem ausführlich beschrieben. Die Steuerung **50** steuert den Betrieb des im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angeordneten Absperrventils **202** und der in der Brennstoffzelle **100** angeordneten Absperrventile **102**, **104** in der Weise, dass die Ventile **202**, **102**, **104** während des Betriebs des Brennstoffzellensystems grundsätzlich geöffnet sind und bei Beendigung des Betriebs des Brennstoffzellensystems geschlossen werden.

[0042] Befindet sich das Brennstoffzellensystem in einem normalen Betriebszustand, steuert die Steuerung **50** die Absperrventile in der Weise, dass das Absperrventil **402** der Hauptstromleitung **401** und das Absperrventil **408** der Zirkulationsleitung **403** sowie die vorstehend beschriebenen Absperrventile **202**, **102**, **104** geöffnet, das Absperrventil **412** der Überbrückungsleitung **405** und das Absperrventil **414** der Ablaufleitung **407** jedoch geschlossen sind. Das Entlastungsventil **416** ist während des Steuerungsgetriebs der Steuerung **50** grundsätzlich geschlossen, es sei denn, der Wasserstoffgasdruck in der Leitung **401** wird übermäßig hoch, wie es nachstehend beschrieben wird. Der Drucksensor **400** erfasst den Druck des aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebenen Wasserstoffgases.

[0043] Im normalen Betriebszustand des Brennstoffzellensystems wird die im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung durch ein geeignetes Wärmetauschersystem erhitzt, um Wasserstoffgas abzugeben. Das abgegebene Wasserstoffgas wird dann durch die Hauptstromleitung

401 der Brennstoffzelle **100** zugeführt. Das der Brennstoffzelle **100** zugeführte Wasserstoffgas wird bei der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle **100** verbraucht und anschliessend als Wasserstoffabgas von der Brennstoffzelle **100** abgegeben. Das abgegebene Wasserstoffabgas strömt durch die Zirkulationsleitung **403** zur Hauptstromleitung **401** zurück, so dass das Abgas der Brennstoffzelle **100** zur Wiederverwendung erneut zugeführt wird. Dabei wird die in der Zirkulationsleitung **403** angeordnete Pumpe **410** angetrieben, um die Strömung des durch die Zirkulationsleitung **403** strömenden Wasserstoffabgases zur Zufuhr zur Hauptstromleitung **401** zu erzwingen oder zu induzieren. Auf diese Weise zirkuliert in einem normalen Betriebszustand des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas durch die Hauptstromleitung **401** und die Zirkulationsleitung **403**.

[0044] Da aufgrund der Zirkulation Wasserstoffabgas in die Hauptstromleitung **401** zurückströmt, werden die scheinbare Menge und Strömungsgeschwindigkeit des der Brennstoffzelle **100** zugeführten Wasserstoffgases erhöht, wenngleich in der Brennstoffzelle **100** dieselbe Wasserstoffmenge verwendet oder verbraucht wird. Diese Ausgestaltung ist im Hinblick auf die Wasserstoffversorgung der Brennstoffzelle **100** von Vorteil und führt zu einer Erhöhung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle **100**.

[0045] In der Brennstoffzelle **100** können Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, welche im Oxidationsgas enthalten sind, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode sickern. Für den Fall, dass im Brennstoffzellensystem kein Wasserstoffgas zirkuliert, besteht demnach durchaus die Möglichkeit, dass sich an den Wasserstoffelektroden in einem stromabwärts gelegenen Teil der Brennstoffzelle **100** Verunreinigungen ansammeln. Die Ansammlungszone der Verunreinigungen an den Wasserstoffelektroden expandiert mit der Zeit, was zu einem Problem mit dem Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle **100** führen und schliesslich in einer Verminde rung der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle **100** resultieren kann. In dieser Ausführungsform, in der das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben zirkuliert, lassen sich die Verunreinigungen andererseits über die gesamte Länge der Wasserstoffgasleitung gleichmässig verteilen, wodurch das Brennstoffzellensystem nicht unter dem vorstehend beschriebenen, auf die Ansammlung von Verunreinigungen zurückzuführenden Problem leidet.

[0046] Die Steuerung **50** steuert den Betrieb der Pumpe **410** so, dass der Durchsatz oder die Geschwindigkeit des Wasserstoffgases durch die Zirkulationsleitung **403** in Abhängigkeit von der Verbrauchsmenge der durch die Brennstoffzelle **100** erzeugten elektrischen Energie variiert.

[0047] Das vom Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebene Wasserstoffgas hat einen sehr hohen Druck, der nicht grösser ist als 1 MPa. Wenn das abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle **100** direkt zugeführt wird, kann die Brennstoffzelle **100** aufgrund des hohen Drucks des Wasserstoffgases beeinträchtigt werden. In Anbetracht dieses Problems wird das in der Hauptstromleitung **401** angeordnete Druckreduzierventil **404** betätigt, um den Wasserstoffgasdruck von 1 MPa auf einen der Brennstoffzelle **100** zuzuführenden geeigneten Pegel, d. h. auf einen Pegel im Bereich zwischen 0,2 MPa bis etwa 0,3 MPa, zu reduzieren. So mit wird der Brennstoffzelle **100** Wasserstoffgas mit einem geeignet reduzierten Druck zugeführt.

[0048] In der Brennstoffzelle **100** wird an der Sauerstoffelektrodenseite gemäß der durch die vorstehend angegebene Formel (2) ausgedrückten Reaktion Wasser (H_2O) produziert. Wasser strömt in Form von Dampf von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Aus diesem Grund ist das von der Brennstoffzelle **100** abgegebene Wasserstoffabgas nass und enthält einen beträchtlich hohen Anteil an Feuchtigkeit. Wenn Wasserstoffabgas über die Pumpe **410** direkt zur Hauptstromleitung **401** zurückströmt, verdampft die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit bzw. das im Wasserstoffabgas enthaltene Wasser nicht ausreichend. Im Ergebnis wird der Brennstoffzelle **100** ein Gemisch aus Wasserstoffgas und Feuchtigkeit, d.h. ein Gas-Flüssigkeit-Gemisch, zugeführt. Die der Brennstoffzelle **100** zugeführte Feuchtigkeit kann sich an Wänden in den Einzelzellen des Brennstoffzellenstacks niederschlagen, was möglicherweise dazu führt, dass die Wasserstoffgas kanäle in der Brennstoffzelle **100** zumachen. Wenn die Wasserstoffgaskanäle aufgrund der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit verstopfen oder schliessen und eine Wasserstoffgasströmung durch die Kanäle behindert oder unterbrochen wird, reduziert sich die Ausgangsspannung der Einzelzellen der Brennstoffzelle **100**, was eine Abnahme der durch die Brennstoffzelle **100** erzeugten elektrischen Energie insgesamt zur Folge hat.

[0049] In Anbetracht dieses Problems hat der in der Zirkulationsleitung **403** angeordnete Gas-Flüssigkeit-Separator **406** die Funktion, die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zu trennen. Der Separator **406** entfernt dann die flüssige Komponente des Wasserstoffabgases und führt nur die gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zusammen mit anderen Gasen der Pumpe **410** zu. Durch den so vorgesehenen Gas-Flüssigkeit-Separator **406** wird der Brennstoffzelle **100** anstelle eines Gas-Flüssigkeit-Gemisches nur die gasförmige Komponente der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit zugeführt. Die Bereit-

stellung des Separators **406** schliesst somit die Möglichkeit einer Beeinträchtigung des Energieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle **100** aufgrund einer der Brennstoffzelle **100** zugeführten Feuchtigkeit aus.

[0050] [Fig. 2](#) zeigt im Querschnitt ein Beispiel für einen Gas-Flüssigkeit-Separator, der im Brennstoffzellensystem von [Fig. 1](#) verwendet werden könnte. Wasserstoffabgas, das einen hohen Feuchtigkeitsanteil enthält, wird durch einen Einlass **602** des Gas-Flüssigkeit-Separators in einen Zylinder **604** eingeleitet. Das durch den Einlass **602** eingeleitete Wasserstoffabgas fällt oder sinkt im Zuge einer wendelförmigen Drehbewegung entlang einer Innenwand des Zylinders **604** ab. Bei diesem Vorgang konzentriert sich die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit. Die flüssige Komponente der Feuchtigkeit schlägt sich im Besonderen in Form von Tröpfchen an der Innenwand des Zylinders **604** nieder; die Tröpfchen fallen entlang der Innenwand des Zylinders **604** ab und werden in einem Flüssigkeitsspeicher **608** gesammelt. Die gasförmige Komponente der Feuchtigkeit (d. h. der Wasserdampf) wird andererseits durch eine Gasleitung **610** zusammen mit anderen gasförmigen Komponenten im Wasserstoffabgas aus einem Auslass **606** abgegeben. Auf diese Weise kann die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit wie vorstehend beschrieben in die flüssige Komponente und die gasförmige Komponente getrennt werden.

[0051] Der Menge oder der Pegel des im Flüssigkeitsspeicher **608** gesammelten Wassers lässt sich durch einen (nicht gezeigten) Pegelsensor oder der gleichen erfassen. Wenn der Pegelsensor eine bestimmte Wassermenge, die sich im Flüssigkeitsspeicher **608** angesammelt hat, erfasst, wird ein (nicht gezeigter) Ablaufmechanismus zum automatischen Öffnen eines Absperrorgans **612** betätigt, um dadurch das gesammelte Wasser über das Absperrorgan **612** abzugeben.

[0052] Wie vorstehend diskutiert zirkuliert im Wasserstoffgasströmungssystem Wasserstoffgas, so dass sich die im Wasserstoffgas enthaltenen Verunreinigungen über die gesamte Länge des Zirkulationswegs gleichmäßig verteilen. Selbst mit dem auf diese Weise homogenisierten Wasserstoffgas erfährt die Brennstoffzelle **100** aber eine ständige Leckage von Verunreinigungen von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode, so dass die Konzentration von Verunreinigungen im Wasserstoffgas über einen langen Anwendungszeitraum betrachtet nach und nach zunimmt. Im Ergebniss nimmt die Wasserstoffkonzentration im Wasserstoffgas mit der Zeit nach und nach ab, was sich für den Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle **100** nachteilig auswirken könnte.

[0053] In Anbetracht dieses Problems ist in der Ablaufleitung **407**, die von der Zirkulationsleitung **403** abzweigt, das Absperrventil **414** vorgesehen. Das Absperrventil **414** wird regelmäßig geöffnet, um zirkulierendes Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, abzugeben. Das abgegebene Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, wird durch reines Wasserstoffgas ersetzt, das aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung neu zugeführt wird. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, die Konzentration der Verunreinigungen im zirkulierenden Wasserstoffgas zu senken und zugleich die Konzentration des Wasserstoffs im Wasserstoffgas zu erhöhen, wodurch die Brennstoffzelle **100** ihren Energieerzeugungsbetrieb angemessen ausführen kann.

[0054] Wie vorstehend beschrieben erfährt die Brennstoffzelle **100** auch eine Leckage von Wasserdampf von der Seite der Sauerstoffelektroden durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Der Wasserdampf kann sich je nach Betriebstemperatur der Brennstoffzelle **100** konzentrieren und an den Wänden der Einzelzellen niederschlagen; die sich daraus ergebende Feuchtigkeit oder das sich daraus ergebende Wasser kann die Wasserstoffgasströmung durch die Einzelzellen behindern oder unterbrechen. Wenn das Absperrventil **414** geöffnet wird, um in dieser Situation Wasserstoffgas abzugeben, findet aufgrund der Differenz zwischen dem Druck im Wasserstoffgasströmungssystem und dem Atmosphärendruck eine rasche Wasserstoffgasströmung statt, wodurch sich die an den Einzelzellen niedergeschlagene Feuchtigkeit unter Ausnutzung des Wasserstoffgasstroms ausblasen lässt.

[0055] Das Öffnen des Absperrventils **414** während des Energieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle **100** verursacht zwar einen vorübergehenden oder momentanen Abfall der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle **100**, führt jedoch nicht zu einer signifikanten Verminderung der Ausgangsspannung. Das Absperrventil **414** wird vorzugsweise für eine Sekunde oder kürzer, insbesondere für etwa 500 ms, offen gehalten.

[0056] Das vom Absperrventil **414** abgegebene Wasserstoffgas wird über die Ablaufleitung **407** der Sauerstoffgasablaufleitung **503** zugeführt und anschließend mit dem durch die Sauerstoffgasablaufleitung **503** strömenden Sauerstoffabgas gemischt. Das Gemisch aus dem abgegebenen Wasserstoffgas und dem Sauerstoffabgas wird durch den Gas-Flüssigkeit-Separator **508** dem Brenner **510** zugeführt. Der Brenner **510** enthält einen Platinkatalysator **512**. Im Brenner **510** wird durch Verbrennung eine Reaktion des im Mischgas enthaltenen Wasserstoffs und Sauerstoffs herbeigeführt, so dass der Wasserstoffanteil im Mischgas weiter reduziert wird. Das vom Brenner **510** abgegebene Mischgas wird

anschließend an die Atmosphäre abgegeben oder freigesetzt.

[0057] Während vorstehend die Wasserstoffgasströmung während eines normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun die Wasserstoffgasströmung während eines Niedertemperaturinbetriebnahmzustands des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0058] Im Allgemeinen steigt der Druck, bei dem die Wasserstoffgas absorbierende Legierung Wasserstoff abgibt, mit einer Zunahme der Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung an und nimmt mit einer Abnahme der Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung ab. Mit einer Abnahme der Temperatur des Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung wird es somit weniger wahrscheinlich, dass Wasserstoff abgegeben wird. Um eine Abgabe von Wasserstoff aus dem Behälter mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung während eines Niedertemperaturinbetriebnahmzustands der Brennstoffzelle **100** zu erleichtern bzw. zu ermöglichen, ist es daher erforderlich, dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung durch einen Erhitzer oder der gleichen rasch Wärme zuzuführen. Die Verwendung des Erhitzers zum Erhitzen des Behälters mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung erfordert jedoch viel elektrische Energie und ist daher nicht erwünscht oder nicht angebracht, wenn das Brennstoffzellensystem in ein Kraftfahrzeug einzubauen ist.

[0059] Vor diesem Hintergrund zieht das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform die Pumpe **410** dazu heran, Wasserstoff aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung anzusaugen, anstatt dem Behälter mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung durch einen Erhitzer Wärme zuzuführen.

[0060] [Fig. 3](#) zeigt ein Ablaufschema, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die die Steuerung **50** bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems von [Fig. 1](#) ausführt.

[0061] Bei der Inbetriebsnahme des Brennstoffzellensystems führt die Steuerung **50** den in [Fig. 3](#) gezeigten Schritt S102 aus, um das Absperrventil **202** des Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung und die Absperrventile **102** und **104** der Brennstoffzelle **100** zu öffnen. Dann führt die Steuerung den Schritt S104 aus, um den durch den Drucksensor **400** erfassten Druckpegel des Wasserstoffgases zu lesen. Anschließend führt die Steuerung **50** den Schritt S106 aus, um zu bestimmen, ob der erfasste Druckpegel des Wasserstoffgases einen bestimmten Referenzdruck überschreitet.

[0062] Wenn die Umgebungstemperatur genügend

hoch ist und der Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoff bei einem genügend hohen Druck abgibt, der größer ist als der vorgegebene Referenzdruck, fährt die Steuerung mit dem Schritt S114 fort, um das Brennstoffzellensystem wie vorstehend beschrieben in den normalen Betriebszustand zu schalten. Im Schritt S114 werden das in der Hauptstromleitung **401** angeordnete Absperrventil **402** und das in der Zirkulationsleitung **403** angeordnete Absperrventil **408** geöffnet, während das in der Überbrückungsleitung **405** angeordnete Absperrventil **412** und das in der Ablaufleitung **407** angeordnete Absperrventil **414** geschlossen werden. Die Steuerung **50** fährt dann mit dem Schritt S116 fort, um die Pumpe **410** bei normaler Geschwindigkeit anzutreiben, wodurch wie vorstehend beschrieben eine Zirkulation von Wasserstoffgas herbeigeführt wird.

[0063] Ist die Umgebungstemperatur andererseits vergleichsweise niedrig, ist es wenig wahrscheinlich, dass der Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoff abgibt; der Druck des abgegebenen Wasserstoffs ist damit niedriger als der vorgegebene Referenzdruck. In diesem Fall fährt die Steuerung mit dem Schritt S108 fort, um das Brennstoffzellensystem in den Niedertemperaturinbetriebnahmzbetriebszustand zu schalten. Im Schritt S108 werden das in der Hauptstromleitung **401** angeordnete Absperrventil **402**, das in der Zirkulationsleitung **403** angeordnete Absperrventil **408** und das in der Ablaufleitung **407** angeordnete Absperrventil **414** geschlossen, während das in der Überbrückungsleitung **405** angeordnete Absperrventil **412** geöffnet wird. Die Steuerung **50** fährt dann mit dem Schritt S110 fort, um die Pumpe **410** mit hoher Geschwindigkeit anzutreiben, so dass selbst in dem Fall, in dem die Temperatur des Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung relativ niedrig ist und das Wasserstoffgas mit einem relativ niedrigen Druck abgegeben wird, eine ausreichende Menge des in der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung absorbierten Wasserstoffgases aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angesaugt werden kann. Das aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angesaugte Wasserstoffgas wird zunächst in die Hauptstromleitung **401** eingeleitet; anschließend strömt es durch die Überbrückungsleitung **405** und die Zirkulationsleitung **403** in dieser Reihenfolge. Das Wasserstoffgas strömt dann zurück in die Hauptstromleitung **401** und wird schließlich der Brennstoffzelle **100** zugeführt. Das der Brennstoffzelle **100** zugeführte Wasserstoffgas wird der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle **100** unterzogen. Das daraus resultierende Wasserstoffabgas wird anschließend in die Zirkulationsleitung **403** abgegeben. Da die Konzentration von Verunreinigungen im Wasserstoffabgas mit der Zeit zunimmt, wird das Absperrventil **414** regelmäßig geöffnet, um Wasserstoffabgas

durch die Ablaufleitung 407 abzugeben.

[0064] Die Steuerung 50 hält das Brennstoffzellensystem solange in dem vorstehend beschriebenen Niedertemperaturinbetriebnahmebetriebszustand, bis im Schritt S112 bestimmt wird, dass der Druck des vom Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung abgegebene Wasserstoffgas über dem vorgegebenen Referenzdruck liegt. Nach allem arbeitet der (nicht gezeigte) Wärmetauscher im Anschluss an die Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems schließlich zufriedenstellend, so dass der im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltenen Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wärme zugeführt wird. Im Ergebnis steigt die Temperatur der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung an und der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung wird in die Lage versetzt, Wasserstoffgas mit einer ausreichend hohen Temperatur abzugeben. Folglich überschreitet der Wasserstoffgasdruck den Referenzdruckpegel, und die Steuerung 50 fährt mit der Schritt S114 fort, um das Brennstoffzellensystem in den normalen Betriebszustand zu schalten. Im Schritt S114 werden das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402 und das der Zirkulationsleitung 103 angeordnete Absperrventil 408 geöffnet und das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 und das in der Ablaufleitung 407 angeordnete Absperrventil 414 geschlossen. Anschließend fährt die Steuerung 50 mit dem Schritt S116 fort, um die Pumpe 410 mit normaler Geschwindigkeit anzureiben.

[0065] Im Niedertemperaturinbetriebnahmebetriebszustand nutzt das Brennstoffzellensystem die Pumpe 410 zum Ansaugen des im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung gespeicherten Wasserstoffs, ohne dabei viel elektrische Energie zu benötigen.

[0066] Im Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform wird die Pumpe 410 während eines normalen Betriebszustands zum Zweck der Zirkulation des Wasserstoffgases und während eines Niedertemperaturinbetriebnahmebetriebszustands zum Zweck der Ansaugung von Wasserstoffgas aus dem Wasserstoffgas absorbierenden Legierungsbhäler 200 verwendet. Der gemeinsame Einsatz der Pumpe 410 resultiert somit in einem reduzierten Einbauvolumen und einem reduzierten Systemgewicht.

[0067] In der vorliegenden Ausführungsform kann die Pumpe 410 je nachdem, ob sie zum Zweck der Zirkulation des Wasserstoffgases oder zum Zweck der Ansaugung von Wasserstoffgas aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung in Betrieb geht, ihre Drehzahl ändern, um den Wasserstoffgasdurchsatz zu verändern. Die Pumpe 410 benötigt nämlich relativ wenig Energie für

die Zirkulation des Wasserstoffgases im Wasserstoffgasströmungssystem, da das Kompressionsverhältnis der Pumpe 410 (d. h. das Verhältnis des Abgabedrucks zum Saugdruck der Pumpe 410) relativ niedrig ist. Andererseits benötigt die Pumpe 410 relativ viel Energie zum Ansaugen des Wasserstoffgases aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung, da das Kompressionsverhältnis der Pumpe 410 relativ hoch ist.

[0068] Während vorstehend die Wasserstoffgasströmung während eines Niedertemperaturinbetriebnahmebetriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun der Stillstand des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0069] In der Brennstoffzelle 100 sickern wie vorstehend beschrieben Verunreinigungen, wie z. B. Wasserdampf und Stickstoff, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht zur Seite der Wasserstoffelektrode. Dementsprechend enthält das während eines normalen Betriebszustands zirkulierende Wasserstoffgas eine bestimmte Menge an Verunreinigungen. Wird der Betrieb des Brennstoffzellensystems anschließend beendet, wird dementsprechend der Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angehalten, so dass die Temperatur im Behälter 200 sinkt. In diesem Zustand kann der Druck im Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung in Abhängigkeit von der Temperatur des Behälters 200 auch auf einen negativen Pegel abnehmen. In diesem Fall strömt Wasserstoffgas aus der Hauptstromleitung 401 oder der Überbrückungsleitung 405 in die entgegengesetzte Richtung zum Auslass des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung. Wenn normale Absperrventile für das in der Hauptstromleitung 401 angeordnete Absperrventil 402 und das in der Überbrückungsleitung 405 angeordnete Absperrventil 412 verwendet werden, kann eine derartige entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung in Richtung zum Auslass des Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung nicht vollständig verhindert werden. Im Ergebnis erfolgt eine Leckage von Wasserstoffgas, das in den Bereichen des Wasserstoffgasströmungssystems zurückgeblieben ist, die näher an der Brennstoffzelle 100 liegen als an den Absperrventilen 402, 412, durch die Absperrventile 402, 412 in den Abschnitt des Wasserstoffgasströmungssystems, der näher am Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung liegt, wobei das durchsickernde Wasserstoffgas anschließend in den Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung strömt. Da das in den Behälter 200 strömende Wasserstoffgas Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff und Wasserdampf, enthält, werden die Verunreinigungen ebenfalls in den Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung eingeführt. In diesem Fall beeinträchtigen die Verunreinigungen möglicherweise die im Behälter

200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung enthaltene Wasserstoffgas absorbierende Legierung.

[0070] In Anbetracht dieses Problems haben die in dieser Ausführungsform verwendeten Absperrventile **402, 412** die Funktion, eine entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung zu verhindern oder zu blockieren. Unter Verwendung der Absperrventile, welche die Funktion haben, eine entgegengesetzte Strömung zu verhindern, wird selbst dann, wenn bei einer Beendigung des Betriebs des Brennstoffzellensystems eine entgegengesetzte Wasserstoffgasströmung in Richtung zum Behälter **200** stattfindet, verhindert oder unterbunden, dass Wasserstoffgas, das Verunreinigungen enthält, durch die Absperrventile **402, 412** in die Wasserstoffgasleitung auf Seiten des Behälters **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung sickert. Somit kann die Wasserstoffgas absorbierende Legierung im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung geschützt werden.

[0071] Während vorstehend der Zustand des Brennstoffzellensystems bei einer Beendigung des Betriebs des Systems beschrieben wurde, wird nachstehend der Betrieb des Brennstoffzellensystems beschrieben, wenn es sich in einem nicht normalen Zustand befindet.

[0072] Im Falle einer Abnormalität, wie z. B. im Fall eines Defekts im Druckreduzierventil **404**, im Brennstoffzellensystem steigt der Druck des der Brennstoffzelle **100** zugeführten Wasserstoffgases auf einen übermäßig hohen Pegel an, was der Brennstoffzelle **100** ein Problem bereiten könnte. In Anbetracht dieses Problems ist die vorliegende Ausführungsform mit dem Entlastungsventil **416** versehen, das in der Entlastungsleitung **409** angeordnet ist, die von der Hauptstromleitung **401** abzweigt. Das Entlastungsventil **416** wird geöffnet, um eine bestimmte Menge Wasserstoffgas an die Atmosphäre ausserhalb des Fahrzeugs abzugeben, wenn der Wasserstoffgasdruck, der in dem zwischen dem Druckreduzierventil **404** und der Brennstoffzelle **100** liegenden Abschnitt der Hauptstromleitung **401** gemessen wird, derart ansteigt, dass er gleich oder größer ist als ein vorgegebener Pegel. Ein Auslass des Entlastungsventils **416** ist vorzugsweise an einer Stelle vorgesehen, die ermöglicht, dass das Wasserstoffgas in Richtung zur Fahrbahn abgegeben wird, so dass das auf diese Weise abgegebene Wasserstoffgas nicht an einer bestimmten Stelle verbleibt. Mit dem so angeordneten Entlastungsventil **416** ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass sich der abgegebene Wasserstoff in der Atmosphäre ausbreitet.

[0073] Bei einer Kollision des Fahrzeugs mit einem anderen Fahrzeug oder Gegenstand oder einer Fehlfunktion eines Steuerungssystems kann das Brenn-

stoffzellensystem im schlimmsten Fall eine Leckage von Wasserstoffgas erleiden. Im Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform geht die Steuerung **50** für den Fall, dass beispielsweise durch eine Kollision des Fahrzeugs oder eine Fehlfunktion des Steuerungssystems hervorgerufene Vibrationen erfasst werden, in Betrieb, um das im Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung angeordnete Absperrventil **202** und die in der Brennstoffzelle **100** angeordneten Absperrventile **102, 104** automatisch zu schließen. In diesem Zustand ist die Wasserstoffgasversorgung unterbrochen, wodurch eine Leckage von Wasserstoffgas aus dem Brennstoffzellensystem verhindert wird.

Zweite Ausführungsform

[0074] [Fig. 4](#) zeigt schematisch den Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Während im Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform der Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung als Wasserstoffgasversorgung zum Einsatz kommt, findet im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ein Hochdruckwasserstoffgasbehälter **300** Verwendung als Wasserstoffgasversorgung.

[0075] Der Hochdruckwasserstoffgasbehälter **300** ist mit einem Hochdruckwasserstoffgas gefüllt; am Boden des Behälters **300** ist ein Absperrventil **302** angebracht. Das Absperrventil **302** wird geöffnet, um Wasserstoffgas mit einem Druck von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa abzugeben.

[0076] Die Brennstoffzelle **100** des Brennstoffzellensystems der zweiten Ausführungsform ist in der Ausgestaltung identisch mit der Brennstoffzelle **100** der ersten Ausführungsform; daher erfolgt keine Erläuterung der Brennstoffzelle **100**.

[0077] Wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist, weist das Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform eine Wasserstoffgasleitung, eine Sauerstoffgasleitung und die Steuerung **50** auf. Da die Sauerstoffgasleitung identisch ist mit der Sauerstoffgasleitung des Brennstoffzellensystems gemäß der ersten Ausführungsform, erfolgt keine redundante Beschreibung der Sauerstoffgasleitung.

[0078] Das Wasserstoffgasströmungssystem des Brennstoffzellensystems der zweiten Ausführungsform umfasst eine Hauptstromleitung **401**, die sich von einem Auslass des Hochdruckwasserstoffgasbehälters **300** zum Einlass der Brennstoffzelle **100** erstreckt, eine Zirkulationsleitung **403**, durch welche Wasserstoffgas vom Auslass der Brennstoffzelle **100** über eine Pumpe **410** zur Hauptstromleitung **401** zurückströmt, eine Ablaufleitung **407** zum Abgeben von Verunreinigungen, die im zirkulierenden Wasserstoff-

gas enthalten sind, und eine Entlastungsleitung 409 zum Abgeben von Wasserstoffgas, wenn der Wasserstoffgasdruck im Brennstoffzellensystem übermäßig hoch ist. In dieser Ausführungsform, in der der Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 als Wasserstoffgasversorgung verwendet wird, kann vom Behälter 300 ungeachtet seiner Betriebstemperatur ein Hochdruckwasserstoffgas abgegeben werden. Da es somit nicht notwendig ist, bei einer Niedertemperaturinbetriebnahme des Systems wie im Fall des Behälters 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung Wasserstoffgas anzusaugen, weist das Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform keine Überbrückungsleitung 405 auf, wie sie in der ersten Ausführungsform vorgesehen ist.

[0079] Wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist, ist am Auslass des Hochdruckwasserstoffgasbehälters 300 ein Absperrventil 302 angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Hauptstromleitung 401 sind ein Druckreduzierventil 418, ein Wärmetauscher 420, ein Druckreduzierventil 422 und ein Gas-Flüssigkeit-Separator 424 angeordnet. Des weiteren ist am Einlass der Brennstoffzelle 100 ein Absperrventil 102 angeordnet. Außerdem ist am Auslass der Brennstoffzelle 100 ein Absperrventil 104 angeordnet; an ausgewählten Stellen in der Zirkulationsleitung 403 sind ein Gas-Flüssigkeit-Separator 406, eine Pumpe 410 und ein Rückschlagventil 426 angeordnet. Wie in der ersten Ausführungsform ist in der Ablaufleitung 407 ein Absperrventil 414 und in der Entlastungsleitung 409 ein Entlastungsventil 416 angeordnet.

[0080] Die Steuerung 50 erhält von einem Drucksensor 400 ein (den Wasserstoffgasdruck in der Hauptstromleitung 401 repräsentierendes) Signal und steuert den Betrieb der Ventile 102, 104, 302, 414, der Pumpe 410 und eines in einer Oxidationsgasversorgungsleitung 501 angeordneten Kompressors 504. [Fig. 4](#) zeigt nicht die Steuerleitungen oder dergleichen, welche die Verbindung zwischen der Steuerung 50 und den jeweiligen Komponenten des Brennstoffzellensystems angeben.

[0081] Zunächst wird die Wasserstoffgasströmung ausführlich beschrieben. Da die Oxidationsgasströmung identisch ist mit derjenigen in der ersten Ausführungsform, erfolgt keine Erläuterung der Oxidationsgasströmung.

[0082] Im Rahmen des Steuerungsbetriebs der Steuerung 50 sind während des Betriebs des Brennstoffzellensystems das Absperrventil 302 für den Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 und die Absperrventile 102, 104, für die Brennstoffzelle 100 grundsätzlich geöffnet, sie werden geschlossen, wenn der Betrieb des Brennstoffzellensystems beendet wird.

[0083] Wenn sich das Brennstoffzellensystem in ei-

nem normalen Betriebszustand befindet, ist das Absperrventil 414 der Ablaufleitung 407 geschlossen, während die Absperrventile 302, 102, 104 geöffnet sind. Wie im Fall der ersten Ausführungsform wird das Entlastungsventil 416 normalerweise in der geschlossenen Stellung gehalten, es sei denn, der Wasserstoffgasdruck wird übermäßig hoch.

[0084] Während eines normalen Betriebs des Brennstoffzellensystems hält die Steuerung 50 das Absperrventil 302 wie vorstehend beschrieben in der offenen Stellung, so dass Wasserstoffgas vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 abgegeben wird. Das abgegebene Wasserstoffgas wird durch die Hauptstromleitung 401 der Brennstoffzelle 100 zugeführt. Das der Brennstoffzelle 100 so zugeführte Wasserstoffgas wird der vorstehend angegebenen elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle 100 unterzogen; das daraus entstehende Wasserstoffabgas wird anschließend von der Brennstoffzelle 100 abgegeben. Das abgegebene Wasserstoffabgas strömt durch die Zirkulationsleitung 403 zur Hauptstromleitung 401 zurück und wird der Brennstoffzelle 100 erneut zugeführt. Wie in der ersten Ausführungsform wird die in der Zirkulationsleitung 403 angeordnete Pumpe 410 angetrieben oder betätigt, um Wasserstoffabgas zur Hauptstromleitung 401 unter Zwang zuzuführen. Wenn sich das Brennstoffzellensystem im normalen Betriebszustand befindet, zirkuliert im Besonderen Wasserstoffgas durch die Hauptstromleitung 401 und Zirkulationsleitung 403. In einem zwischen der Pumpe 410 und der Verbindungsstelle der Zirkulationsleitung 403 und der Hauptstromleitung 401 liegenden Abschnitt der Zirkulationsleitung 403 ist ein Rückschlagventil 426 angeordnet, das die Funktion hat, eine entgegengesetzte Strömung des zirkulierenden Wasserstoffgases zu verhindern.

[0085] Das vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter 300 abgegebene Wasserstoffgas hat wie vorstehend beschrieben einen Druck im Bereich von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa. Dieser Druckpegel ist weitaus höher als der des aus dem Behälter 200 mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung in der ersten Ausführungsform abgegebenen Wasserstoffgases. Wenn das abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle 100 direkt zugeführt wird, wird die Brennstoffzelle 100 aufgrund des hohen Drucks des Wasserstoffgases dementsprechend beschädigt. In der zweiten Ausführungsform sind daher an ausgewählten Stellen in der Hauptstromleitung 401 zwei Druckreduzierventile, d. h. ein erstes Druckreduzierventil 418 und ein zweites Druckreduzierventil 422, angeordnet. In der vorliegenden Ausführungform wird der Druck des Hochdruckwasserstoffgases an den beiden Druckreduzierventilen 418, 422 nämlich in zwei Stufen reduziert, während in der ersten Ausführungsform der Wasserstoffgasdruck nur einmal reduziert wird. Das erste Druckreduzierventil 418 re-

duziert den Druck des abgegebenen Wasserstoffgases im Besonderen von einem Pegel im Bereich von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa auf einen Pegel im Bereich von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa. Anschließend reduziert das zweite Druckreduzierventil 422 den Druck des abgegebenen Wasserstoffgases von einem Pegel im Bereich von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa auf einen Pegel im Bereich von etwa 0,2 MPa bis etwa 0,3 MPa.

[0086] Wenn der Druck des Hochdruckwasserstoffgases durch das erste Druckreduzierventil 418 von einem Pegel von etwa 20 MPa bis etwa 35 MPa auf den Pegel von etwa 0,8 MPa bis etwa 1 MPa reduziert wird, dehnt sich das Wasserstoffgas rasch auf etwa das 50-fache aus (d. h. das Volumen des Wasserstoffgases nimmt rasch zu), wobei die Temperatur des Wasserstoffgases rasch abnimmt. Wenn das Wasserstoffgas mit der niedrigeren Temperatur der Brennstoffzelle 100 direkt zugeführt wird, sinkt auch die Temperatur innerhalb der Brennstoffzelle 100, was in einer ungenügenden katalytischen Aktivität resultiert. In diesem Zustand ist die elektrochemische Reaktion in der Brennstoffzelle 100 ineffizient, was eine Beeinträchtigung des Energieerzeugungsbetriebs der Brennstoffzelle 100 zur Folge hat. In Anbetracht dieses Problems ist zwischen dem ersten und zweiten Druckreduzierventil 418, 422 ein Wärmetauscher 420 angeordnet. Der Wärmetauscher 420 hat die Funktion, Wasserstoffgas, dessen Temperatur aufgrund einer Ausdehnung rasch abgenommen hat, zu erhitzen, um dadurch die Brennstoffzelle 100 mit Wasserstoffgas mit einer ausreichend hohen Temperatur zu versorgen. Der Wärmetauscher 420 wird mit Kühlwasser, welches durch die Brennstoffzelle 100 erheizt wird, versorgt, was aus [Fig. 4](#) nicht ersichtlich ist, so dass zwischen dem erwärmten Kühlwasser und dem abgekühlten Wasserstoffgas im Wärmetauscher 420 ein Wärmeaustausch stattfindet. Wasserstoffgas, dessen Temperatur abgesenkt wurde, passt auf diese Weise den Wärmetauscher 420, so dass der Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas zugeführt werden kann, dessen Temperatur auf einen ausreichend hohen Pegel angehoben wurde. Die Temperatur in der Brennstoffzelle 100 wird folglich auf einen Pegel angehoben, der ausreichend hoch ist, um die vorstehend erwähnte elektrochemische Reaktionen zu fördern, wodurch ein angemessener Energieerzeugungsbetrieb des Brennstoffzellensystems ermöglicht wird.

[0087] Wie aus der vorstehenden Beschreibung hervorgeht, hat das durch die Hauptstromleitung 401 strömende Wasserstoffgas eine relativ niedrige Temperatur. Wenn das Wasserstoffgas mit der relativ niedrigen Temperatur mit dem durch die Zirkulationsleitung 403 zur Hauptstromleitung 401 zurückströmenden Wasserstoffabgas gemischt wird, ist es wahrscheinlich, dass die im Wasserstoffabgas enthaltene Feuchtigkeit kondensiert, was zu der Mög-

lichkeit führt, dass der Brennstoffzelle 100 Wasserstoffgas in Form eines Gas-Flüssigkeit-Gemisches zugeführt wird. Um diese Möglichkeit auszuschließen, ist die vorliegende Ausführungsform mit einem Gas-Flüssigkeit-Separator 424 versehen, der in einem zwischen dem Einlass der Brennstoffzelle 100 und der Verbindungsstelle der Hauptstromleitung 401 mit der Zirkulationsleitung 403 liegenden Abschnitt der Hauptstromleitung 401 angeordnet ist. Der Gas-Flüssigkeit-Separator 424 hat die Funktion, die im gemischten Wasserstoffgas enthaltene Feuchtigkeit in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zu trennen. Der Gas-Flüssigkeit-Separator 424 entfernt die flüssige Komponente der Feuchtigkeit und führt der Brennstoffzelle 100 nur die gasförmige Komponente (d. h. Wasserdampf) zusammen mit anderen Gaskomponenten im Wasserstoffgas zu. Mit dieser Ausgestaltung ist die Möglichkeit eines Ausfalls oder Problems im Energieerzeugungsbetrieb der Brennstoffzelle 100 aufgrund der flüssigen Komponente der im Wasserstoffgas enthaltenen Feuchtigkeit nicht gegeben.

[0088] Während vorstehend die Strömung des Wasserstoffgases während des normalen Betriebszustands des Brennstoffzellensystems beschrieben wurde, wird nun die Wasserstoffgasströmung während eines Inbetriebnahmezustands des Brennstoffzellensystems beschrieben.

[0089] Wenn der Betrieb des Brennstoffzellensystems beendet wird, dringen Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, von der Seite der Sauerstoffelektrode durch die Elektrolytschicht innerhalb der Brennstoffzelle 100 zur Seite der Wasserstoffelektrode durch und breiten sich an der Seite der Wasserstoffelektrode der Brennstoffzelle 100 aus. Folglich sind die Verunreinigungen, wie z. B. Stickstoff, nicht nur in den Oxidationsgaskanälen sondern auch in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle 100 enthalten. Bei der Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems ist es daher notwendig, die Brennstoffzelle 100 dadurch, dass die Verunreinigungen aus den Wasserstoffgaskanälen entfernt und diese Kanäle mit Wasserstoffgas gefüllt werden, in die Lage zu versetzen, innerhalb eines kurzen Zeitraums einen angemessenen Energieerzeugungsbetrieb auszuführen.

[0090] Die in den Wasserstoffgaskanälen existierenden Verunreinigungen lassen sich bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems durch beispielsweise Einströmenlassen eines Spülgases, z. B. eines Inertgases, in die Wasserstoffgaskanäle entfernen, wodurch die Verunreinigungen aus den Kanälen verdrängt werden. Jedoch erfordert dieses Verfahren zur Beseitigung der Verunreinigungen den Einbau eines Inertgasbehälters am Fahrzeug zum Bereitstellen des Spülgases, was in einer unerwünschten Zunahme des erforderlichen Raums und des Gewichts

des Brennstoffzellensystems resultiert.

[0091] In Anbetracht dieses Problems kann auch auch in Erwägung gezogen werden, Wasserstoffgas direkt in die Wasserstoffgaskanäle einzuleiten, um die Verunreinigungen aus den Kanälen zu verdrängen. Bei diesem Verfahren dauert es jedoch lange, bis das Wasserstoffgas die Verunreinigungen aus den Wasserstoffgaskanälen verdängt hat und die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle einen gewünschten Pegel erreicht. Wenn das aus der Brennstoffzelle abgegebene Wasserstoffgas für einen derart langen Zeitraum zur Beseitigung der Verunreinigungen abgesondert oder an die Atmosphäre abgegeben wird, kann das an die Atmosphäre abgegebene Gas eine hohe Konzentration von Wasserstoff enthalten, was zu einem umweltechnischen Problem führen kann.

[0092] In Anbetracht der vorstehend beschriebenen Situation wird bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben in die Wasserstoffgaskanäle eingeleitet und die Pumpe **410** zum Zweck einer Zirkulation des Wasserstoffgases angetrieben oder betätigt, um eine erzwungene Wasserstoffgasströmung im Wasserstoffgasströmungssystem zu bewirken. Somit werden die in den Wasserstoffgaskanälen in der Brennstoffzelle **100** vorhandenen Verunreinigungen mit dem in die Kanäle strömenden Wasserstoffgas gleichmäßig gemischt.

[0093] [Fig. 5](#) zeigt das Ablaufschema, das ein Beispiel für eine Steuerungsroutine veranschaulicht, die die Steuerung **50** bei Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform ausführt.

[0094] Bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems führt die Steuerung **50** den in [Fig. 5](#) gezeigten Schritt S202 aus, um das Absperrventil **302** des Hochdruckwasserstoffgasbehälters **300** und die Absperrventile **102** und **104** des Brennstoffzellensystems **100** zu öffnen, wobei die Ventile **302**, **102**, **104** geschlossen waren. In diesem Zustand wird vom Hochdruckwasserstoffgasbehälter Wasserstoffgas freigegeben. Das abgegebene Wasserstoffgas wird daraufhin der Hauptstromleitung **401** zugeführt. Anschließend fährt die Steuerung **50** mit dem Schritt S204 fort, um die Pumpe **410** mit ihrer normalen Geschwindigkeit anzutreiben, um dadurch eine erzwungene Wasserstoffgasströmung durch die Zirkulationsleitung **403** zu bewirken. Diese erzwungene Wasserstoffgasströmung dient dazu, die in den Wasserstoffgaskanälen der Brennstoffzelle **100** vorhandenen Verunreinigungen in Bewegung zu setzen, und die Verunreinigungen und das Wasserstoffgas zirkulieren zu lassen, um sie innerhalb einer kurzen Zeitspanne homogen miteinander zu vermischen.

[0095] Wenn die in den Wasserstoffgaskanälen vorhandenen Verunreinigungen beispielsweise Atmosphärendruck (0,1 MPa) aufweisen, wird Wasserstoffgas, dessen Druck auf 2 atm (0,2 MPa) reduziert wurde, dazu veranlasst, durch die Wasserstoffgaskanäle zu strömen. Bei den auf diese Weise gesteuerten Drücken enthält das aus der Brennstoffzelle **100** abgegebene resultierende Gas etwa 50% Verunreinigungen und etwa 50% Wasserstoffgas. Das somit abgegebene Gas zirkuliert durch das Wasserstoffgasströmungssystem, wobei es aufgewirbelt wird, so dass die Verunreinigungen gleichmäßig im Wasserstoffgas verteilt werden.

[0096] Mit den Verunreinigungen und dem Wasserstoffgas, die in der vorstehend beschriebenen Art und Weise homogenisiert wurden, wird den Wasserstoffelektroden in der Brennstoffzelle **100** jeweils die gleiche Menge Wasserstoff zugeführt, wodurch sich die Spannung zwischen Anschlüssen der Brennstoffzelle **100** unmittelbar auf einen vorgegebenen Pegel anheben lässt. Die Steuerung **50** fährt dann mit dem Schritt S206 fort, um den Anstieg der Spannung zwischen den Anschlüssen der Brennstoffzelle **100** basierend auf einem Ausgangssignal, das von einem (nicht gezeigten) Spannungssensor erhalten wird, zu erfassen. Wenn die Steuerung **50** den Anstieg der Spannung zwischen den Anschlüssen erfasst, wird bestimmt, dass die Brennstoffzelle **100** zur Energieerzeugung bereit ist, und im Schritt S208 wird eine (nicht gezeigte) Last an die Brennstoffzelle **100** angelegt. Anschließend fährt die Steuerung **50** mit dem Schritt S210 fort, um das Absperrventil **414** zu öffnen, um dadurch das zirkulierende Wasserstoffgas (d.h. das homogene Gemisch aus Verunreinigungen und Wasserstoffgas) nach und nach abzugeben. Da das Wasserstoffgas aus dem Hochdruckwasserstoffgasbehälter **300** der Hauptstromleitung **401** kontinuierlich zugeführt wird, nimmt die Wasserstoffkonzentration des zirkulierenden Wasserstoffgases nach und nach zu.

[0097] Wenn die Steuerung **50** im Schritt S212 bestimmt, dass eine vorgegebene Zeit nach dem Öffnen des Absperrventil **414** vergangen ist, wird das Absperrventil **414** im Schritt S214 in der Annahme, dass die in den Wasserstoffgaskanälen vorhandenen Verunreinigungen bis zu einem gewissen Grad beseitigt wurden und die Wasserstoffkonzentration des zirkulierenden Wasserstoffgases auf einen ausreichend hohen Pegel angestiegen ist, geschlossen. Anschließend wird das Brennstoffzellensystem in den normalen Betriebszustand geschaltet.

[0098] Bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems der vorliegenden Ausführungsform wird Wasserstoffgas in die Wasserstoffgaskanäle der Brennstoffzelle **100** eingeleitet und die Pumpe **410** angetrieben, um das Wasserstoffgas wie vorstehend beschrieben in Zwangszirkulation zu versetzen, wo-

durch ermöglicht wird, dass die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle innerhalb eines kurzen Zeitraums auf den gewünschten Pegel angehoben wird. Das Brennstoffzellensystem dieser Ausführungsform erfordert des weiteren kein Spülgas, wodurch auch kein Bedarf nach einem Gasbehälter zum Bereitstellen von Spülgas besteht, was in einer Verminderung des erforderlichen Volumens und Gewichts des Brennstoffzellensystems resultiert. Das Brennstoffzellensystem der vorliegenden Ausführungsform gibt ferner kein Wasserstoffgas mit einer hohen Wasserstoffgas-Konzentration frei, womit ein hoher Grad an Sicherheit gewährleistet ist.

[0099] Das in der Ablaufleitung **407** angeordnete Absperrventil **414** und das in der Entlastungsleitung **409** angeordnete Entlastungsventil **416** sind identisch mit jenen in der ersten Ausführungsform, so dass eine Erläuterung dieser Ventile unterbleibt.

Abgewandelte Beispiele

[0100] Es wird darauf hingewiesen, dass die Erfindung nicht auf die Einzelheiten der dargestellten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern unter verschiedenen Änderungen, Abwandlungen oder Verbesserungen in anderer Art ausgeführt werden kann, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

[0101] In der veranschaulichten ersten und zweiten Ausführungsform ist der Gas-Flüssigkeits-Separator **406** in der Zirkulationsleitung **403** angeordnet. Diese Anordnung kann auf ein Brennstoffzellensystem angewandt werden, das anstelle des Behälters **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung oder des Hochdruckwasserstoffgasbehälters **300** als Wasserstoffgasversorgung einen Reformer zum Umwandeln eines Rohbrennstoffs verwendet, um Wasserstoffgas zu erzeugen.

[0102] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ist der Gas-Flüssigkeits-Separator **424** in der Hauptstromleitung **401** angeordnet. Diese Anordnung ist geichermaßen anwendbar für das Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform und für das Brennstoffzellensystem, das als Wasserstoffgasversorgung einen Reformer aufweist.

[0103] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Ausführungsform ist zwischen den Druckreduzierventilen **418, 422** der Wärmetauscher **420** angeordnet. Der Wärmetauscher **420** kann stromabwärts des Druckreduzierventils **422** angeordnet werden. Da das Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform das Druckreduzierventil **404** verwendet, kann bei Bedarf ein geeigneter Wärmetauscher stromabwärts des Druckreduzierventils **404** angeordnet werden.

[0104] Im Brennstoffzellensystem der zweiten Aus-

führungsform wird der Betrieb des Brennstoffzellensystems bei dessen Inbetriebnahme nach der in **Fig. 5** gezeigten Steuerungsroutine gesteuert. Dieselbe Steuerungsroutine kann zur Steuerung des Brennstoffzellensystems der ersten Ausführungsform und des Brennstoffzellensystems, in dem als Wasserstoffgasversorgung ein Reformer verwendet wird, angewendet werden. In dem Fall, in dem die Steuerung nach der Routine von **Fig. 5** am Brennstoffzellensystem der ersten Ausführungsform ausgeführt wird, während sich das System in einem Niedertemperaturinbetriebnahmestand befindet, wird zunächst die Pumpe **410** angetrieben, um das Wasserstoffgas aus dem Behälter **200** mit der Wasserstoffgas absorbierenden Legierung anzusaugen. Anschließend werden die geöffneten/geschlossenen Stellungen der Absperrventile **402, 408, 412** geschaltet oder umgeschaltet, und die Pumpe **410** wird angetrieben, um die in den Wasserstoffgaskanälen verbliebenen Verunreinigungen zusammen mit dem aus dem Behälter **200** angesaugten Wasserstoffgas in Zirkulation zu versetzen, so dass sich die Verunreinigungen im Wasserstoffgas homogen ausbreiten oder verteilen.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:
eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (**200**), die eine Wasserstoffgas absorbierende Legierung aufweist, die in der Lage ist, Wasserstoffgas zu absorbieren oder abzugeben, und die
eine Brennstoffzelle (**100**) mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (**200**) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt, um elektrische Leistung zu erzeugen, wobei die Brennstoffzelle einen Wasserstoffgasrest abgibt,
eine erste Leitung (**401**), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (**200**) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (**100**) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (**200**) abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, eine zweite Leitung (**403**), die einen Auslass der Brennstoffzelle (**100**) mit einer ersten Stelle in der ersten Leitung (**401**) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung (**401**) ermöglicht,
eine in der zweiten Leitung (**403**) angeordnete Pumpe (**410**) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zur ersten Stelle in der ersten Leitung (**401**), gekennzeichnet durch
eine dritte Leitung (**405**), die eine in der ersten Leitung (**401**) zwischen einem Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (**200**) und der ersten Stelle liegende zweite Stelle mit einer in der zweiten Leitung (**403**) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle (**100**) und der Pumpe (**410**) liegenden dritten

Stelle verbindet und ein Durchströmen eines von der ersten Leitung (401) abgeleiteten Wasserstoffgases zur Zufuhr zur zweiten Leitung (403) ermöglicht, ein in der ersten Leitung (401) zwischen der zweiten Stelle und der ersten Stelle angeordnetes erstes Ventil (402), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, ein in der zweiten Leitung (403) zwischen dem Auslass der Brennstoffzelle und der dritten Stelle angeordnetes zweites Ventil (408), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, ein in der dritten Leitung (405) angeordnetes drittes Ventil (412), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, und eine Steuerung (50), die die Pumpe (410) und das erste, zweite und dritte Ventil (402, 408, 412) ansteuert, wobei: wenn der Druck des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als der Referenzdruck, die Steuerung (50) das erste und zweite Ventil (402, 408) öffnet und das dritte Ventil (412) schließt, so dass das von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle (100) durch die erste Leitung (401) zugeführt wird und das von der Brennstoffzelle (100) abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung (403) zur ersten Leitung (401) zurückströmt, wobei die Pumpe (410) das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt, und wenn der Druck des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases niedriger ist als der Referenzdruck, die Steuerung (50) das erste und zweite Ventil (402, 408) schließt und das dritte Ventil (412) öffnet und die Pumpe (410) das Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) ansaugt lässt und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführen lässt, so dass das Wasserstoffgas der Brennstoffzelle von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.

2. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, wobei wenigstens ein Ventil des ersten und zweiten Ventils (402, 408) ein Rückschlagventil aufweist, das verhindert, dass Wasserstoffgas von der Brennstoffzelle zur Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung strömt.

3. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, das des weiteren ein zwischen dem Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) und der ersten Stelle in der ersten Leitung (401) angeordnetes Druckreduzierventil (404) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases aufweist.

4. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 3, das des weiteren aufweist: eine vierte Leitung (409), die sich von einer Stelle in der ersten Leitung (401) zwischen dem Druckreduzierventil (404) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) in Richtung Außenumgebung des Fahrzeugs erstreckt, und ein in der vierten Leitung (409) angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, wobei wenn der Wasserstoffgasdruck in einem Abschnitt der ersten Leitung (401) zwischen dem Druckreduzierventil (404) und der Brennstoffzelle (100) größer ist als ein Referenzdruck, das Entlastungsventil (416) geöffnet wird, so dass Wasserstoffgas von der ersten Leitung (401) durch die vierte Leitung (409) zur Außenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.

5. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, das des weiteren einen in der zweiten Leitung (403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle (100) abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beiseitigen nur der flüssigen Komponente aufweist.

6. Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist: eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200, 300), zum Abgeben eines mit einem vorbestimmten Druck gespeicherten Wasserstoffgases, die eine Brennstoffzelle (100) mit den von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200, 300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt, um elektrische Leistung zu erzeugen, eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, wenigstens ein in der ersten Leitung (401) angeordnetes Druckreduzierventil (404, 418, 422) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases, eine zweite Leitung (409), die sich von einer in der ersten Leitung (401) zwischen dem wenigstens einen Druckreduzierventil (404, 418, 422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) zur Außenumgebung des Fahrzeugs liegenden Stelle weg erstreckt, ein in der zweiten Leitung angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen ein Durchströmen von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, wobei, wenn der Druck des Wasserstoffgases, das in einer Leitung vorhanden ist, die näher an der Stelle liegt als das Entlastungsventil, größer ist als ein Referenz-

druck, das Entlastungsventil (416) geöffnet wird, so dass das Wasserstoffgas von der ersten Leitung (401) durch die zweite Leitung (409) zur Außenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.

7. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 6, wobei ein Auslass der zweiten Leitung (409) so angeordnet ist, dass das von der zweiten Leitung abgegebene Wasserstoffgas zur Fahrbahn hin orientiert ist.

8. Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die

eine Brennstoffzelle (100) mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt, um elektrische Leistung zu erzeugen, wobei die Brennstoffzelle einen Wasserstoffgasrest abgibt,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht,

eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, und

einen Gas-Flüssigkeit-Separator (424) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente,

wobei der Gas-Flüssigkeit-Separator (424) in der ersten Leitung (401) angeordnet ist.

9. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 8, das weiterhin umfasst:

einen in der zweiten Leitung (403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente.

10. Brennstoffzellensystem zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, das aufweist:

eine Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die Wasserstoffgas liefert,

eine Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt, wobei die Brennstoffzelle eine Vielzahl von Wasserstoffgaskanälen aufweist, durch welche Wasserstoffgas strömt,

eine erste Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle (100) verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, eine zweite Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur ersten Leitung ermöglicht, eine in der zweiten Leitung angeordnete Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung zu der Stelle in der ersten Leitung, und

eine Steuerung (50), wobei die Steuerung die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) und die Pumpe (410) ansteuert, wobei bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems, die Steuerung (50) die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung Wasserstoffgas liefern lässt und die Pumpe antreibt, um eine Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt der ersten und zweiten Leitung und die Kanäle der Brennstoffzelle zu induzieren, um dadurch Verunreinigungen, die in den Kanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch bereitzustellen.

11. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 10, das des weiteren einen in der ersten oder zweiten Leitung (401, 403) angeordneten Gas-Flüssigkeit-Separator (406, 424) zum Trennen der Feuchtigkeit, die in dem von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgas enthalten ist, in eine flüssige Komponente und eine gasförmige Komponente und zum Beseitigen nur der flüssigen Komponente aufweist.

12. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 10 oder 11, das des weiteren wenigstens ein zwischen dem Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) und der Stelle in der ersten Leitung (401) angeordnetes Druckreduzierventil (418, 422) zum Reduzieren des Drucks des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases aufweist.

13. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 12, das des weiteren aufweist:

eine dritte Leitung (409), die sich von einer Stelle in der ersten Leitung (401) zwischen dem wenigstens einen Druckreduzierventil (418, 422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) zur Außenumgebung des Fahrzeugs erstreckt, und

ein in der dritten Leitung (409) angeordnetes Entlastungsventil (416), das in der Lage ist, durch Öffnen und Schließen eine Durchströmung von Gas zu ermöglichen oder zu verhindern, wobei wenn ein Druck des Wasserstoffgases in einem Ab-

schnitt der ersten Leitung zwischen dem Druckreduzierventil und der Brennstoffzelle größer ist als ein Referenzdruck, das Entlastungsventil geöffnet wird, so dass Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung zur Außenumgebung des Fahrzeugs abgegeben wird.

14. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 12 oder 13, das des weiteren eine in der ersten Leitung (401) zwischen dem wenigstens einen Druckreduzierventil (422) und dem Einlass der Brennstoffzelle (100) angeordnete Temperaturerhöhungsvorrichtung (420) zum Anheben der Temperatur des durch die erste Leitung strömenden Wasserstoffgases aufweist.

15. Verfahren zum Steuern eines Brennstoffzellensystems nach Anspruch 1, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Bestimmen, ob der Druck des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebenen Wasserstoffgases größer ist als ein Referenzdruck, wenn der Druck des Wasserstoffgases größer ist als der Referenzdruck, Öffnen des ersten und zweiten Ventils (402, 408) und Schließen des dritten Ventils (412), so dass das von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) abgegebene Wasserstoffgas der Brennstoffzelle durch die erste Leitung (401) zugeführt wird und das von der Brennstoffzelle (100) abgegebene Wasserstoffgas durch die zweite Leitung (403) zur ersten Leitung (401) zurückströmt, wobei die Pumpe (410) das Wasserstoffgas in Zirkulation versetzt, und

wenn der Druck des Wasserstoffgases niedriger ist als der Referenzdruck, Schließen des ersten und zweiten Ventils (402, 408) und Öffnen des dritten Ventils (412), und Veranlassen, dass die Pumpe (410) Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) ansaugt und das Wasserstoffgas von der ersten Leitung durch die dritte Leitung der zweiten Leitung zuführt, so dass das Wasserstoffgas der Brennstoffzelle von der zweiten Leitung durch die erste Leitung zugeführt wird.

16. Verfahren zum Steuern eines Brennstoffzellensystems nach Anspruch 15, wobei die Pumpe (410) mit einer ersten Geschwindigkeit angetrieben wird, um das Wasserstoffgas in Zirkulation zu versetzen, und mit einer im Vergleich zur ersten Geschwindigkeit größeren zweiten Geschwindigkeit, um Wasserstoffgas von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (200) anzusaugen.

17. Verfahren zum Steuern eines Brennstoffzellensystems zum Einbau in ein Kraftfahrzeug, mit einer Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300), die Wasserstoffgas liefert, und einer Brennstoffzelle (100), die mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) abgegebenen Wasserstoffgas versorgt wird, um elektrische Leistung zu erzeu-

gen, und einen Wasserstoffgasrest abgibt, wobei die Brennstoffzelle eine Vielzahl von Wasserstoffgaskanälen aufweist, durch welche Wasserstoffgas strömt, und des weiteren: (a) einer ersten Leitung (401), die einen Auslass der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) mit einem Einlass der Brennstoffzelle verbindet und ein Durchströmen des von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung abgegebenen Wasserstoffgases zur Zufuhr zur Brennstoffzelle ermöglicht, (b) einer zweiten Leitung (403), die einen Auslass der Brennstoffzelle (100) mit einer Stelle in der ersten Leitung (401) verbindet und ein Durchströmen des von der Brennstoffzelle abgegebenen Wasserstoffgases zum Zurückströmen zur ersten Leitung ermöglicht, und (c) einer in der zweiten Leitung (403) angeordneten Pumpe (410) zum Erzwingen einer Wasserstoffgasströmung in der zweiten Leitung (403) zu der Stelle in der ersten Leitung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Veranlassen, dass die Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung (300) bei einer Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas liefert, und Antreiben der Pumpe (410) zum Induzieren einer Wasserstoffgasströmung durch wenigstens einen Abschnitt sowohl der ersten als auch der zweiten Leitung (401, 403) und die Wasserstoffkanäle der Brennstoffzelle, um dadurch Verunreinigungen, die in den Wasserstoffkanälen vorhanden sind, mit dem von der Wasserstoffgasversorgungsvorrichtung gelieferten Wasserstoffgas zu mischen, um ein homogenes Gemisch bereitzustellen.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei das Brennstoffzellensystem des weiteren ein Auslassventil (414) aufweist, das in einer dritten Leitung (407) angeordnet ist, die von der zweiten Leitung (403) abzweigt und zu einer Außenumgebung des Fahrzeugs führt, wobei das Verfahren des weiteren die folgenden Schritte aufweist:

Bestimmen, ob eine Spannung zwischen Anschlüssen der Brennstoffzelle (100) bis auf einen bestimmten Pegel angestiegen ist, Anlegen einer Last an die Brennstoffzelle, wenn die offene Spannung der Brennstoffzelle (100) gleich oder größer ist als der bestimmte Pegel, und Öffnen des Auslassventils (414) für eine vorgegebene Zeitdauer, um das Gemisch aus Verunreinigungen und Wasserstoffgas abzugeben.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

丁
高
上

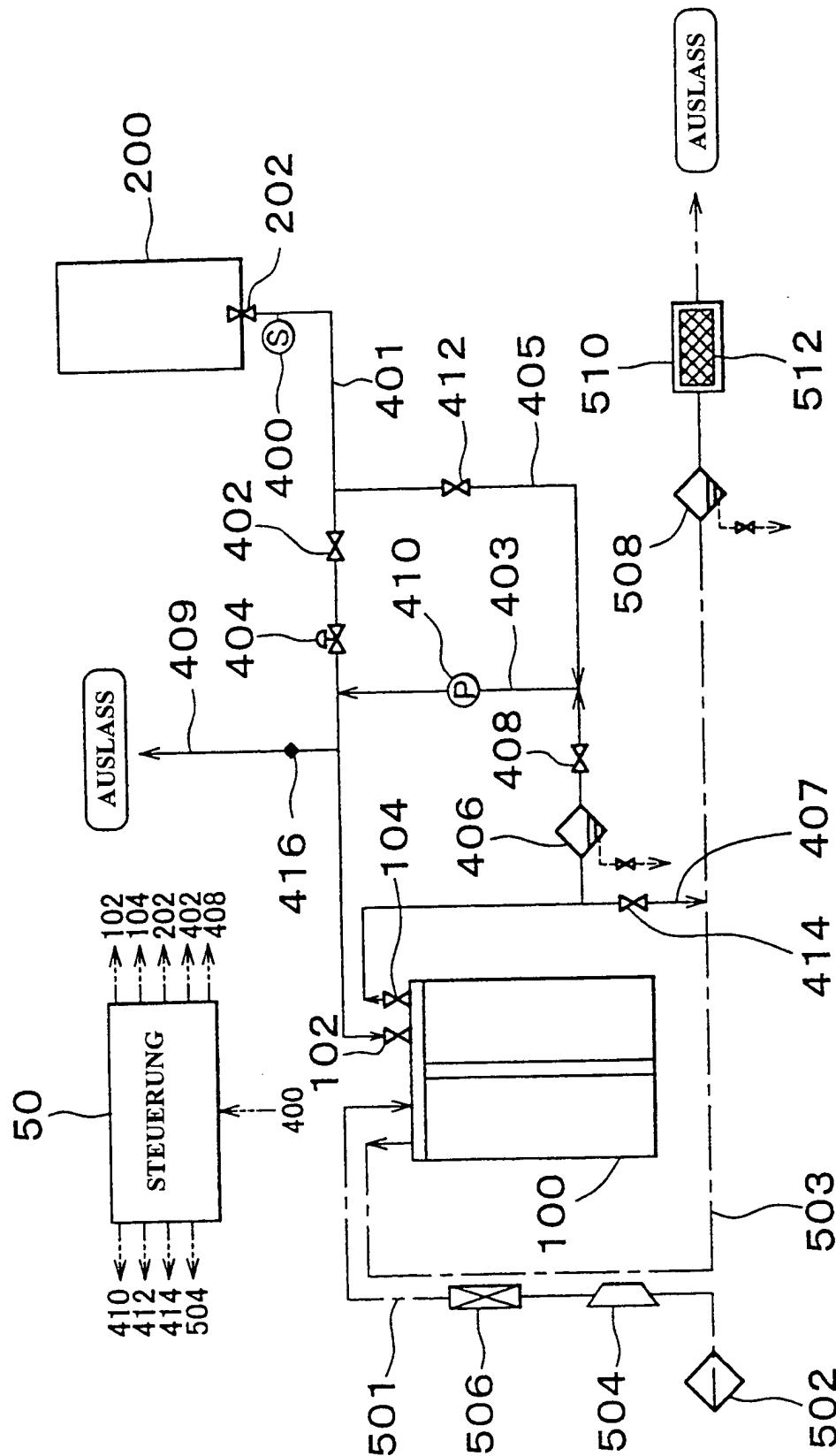


FIG. 2

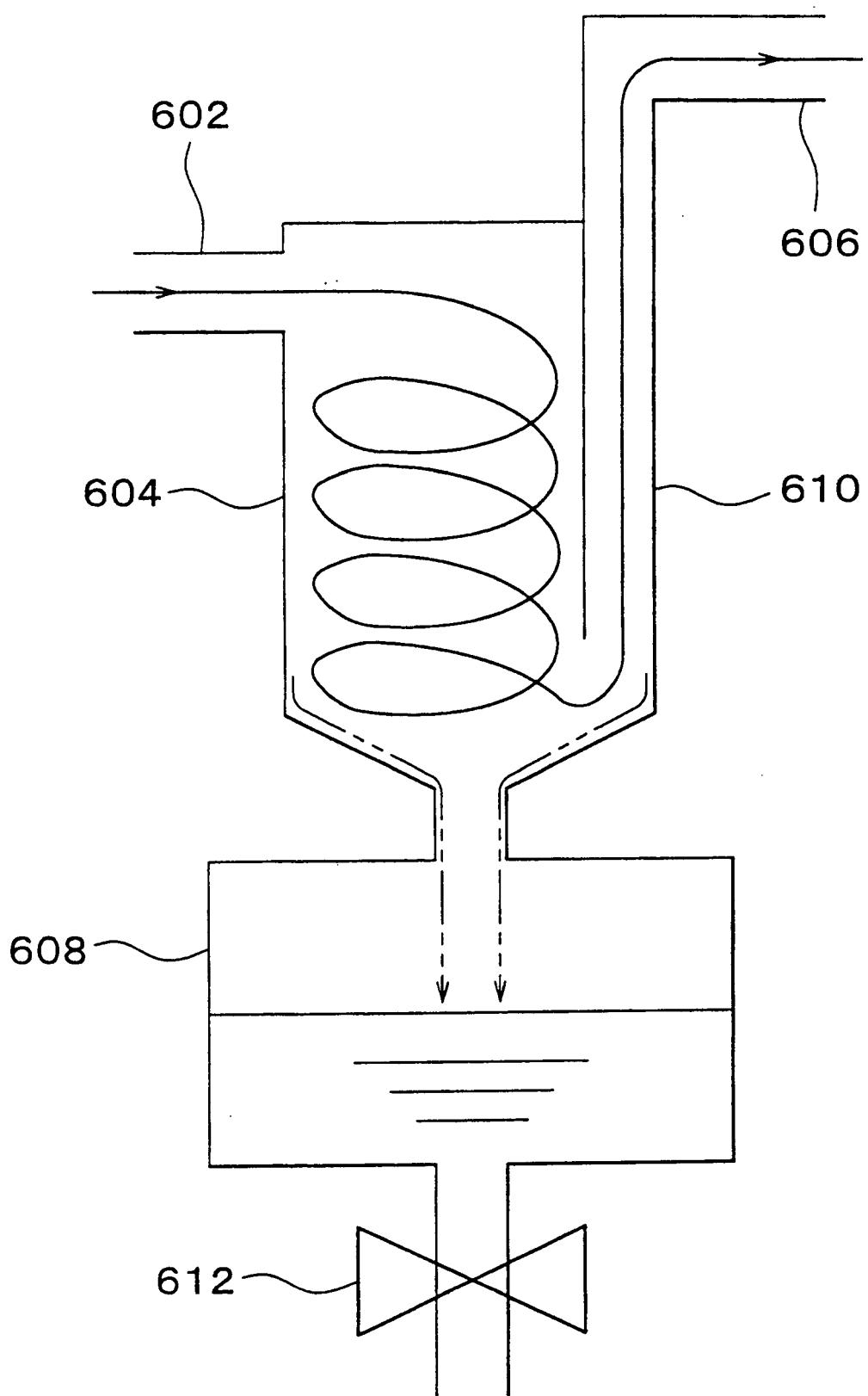


FIG. 3

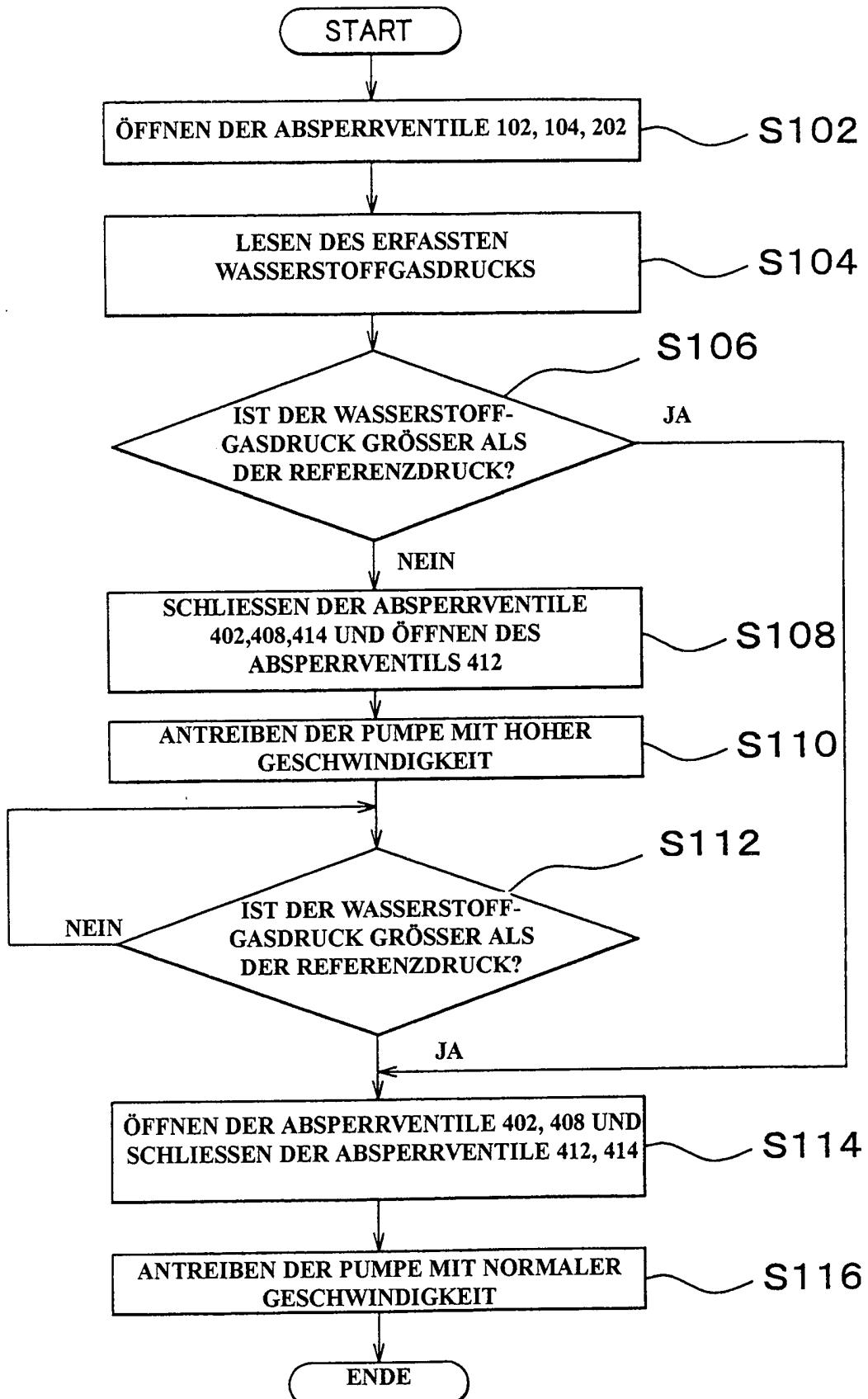


FIG. 4

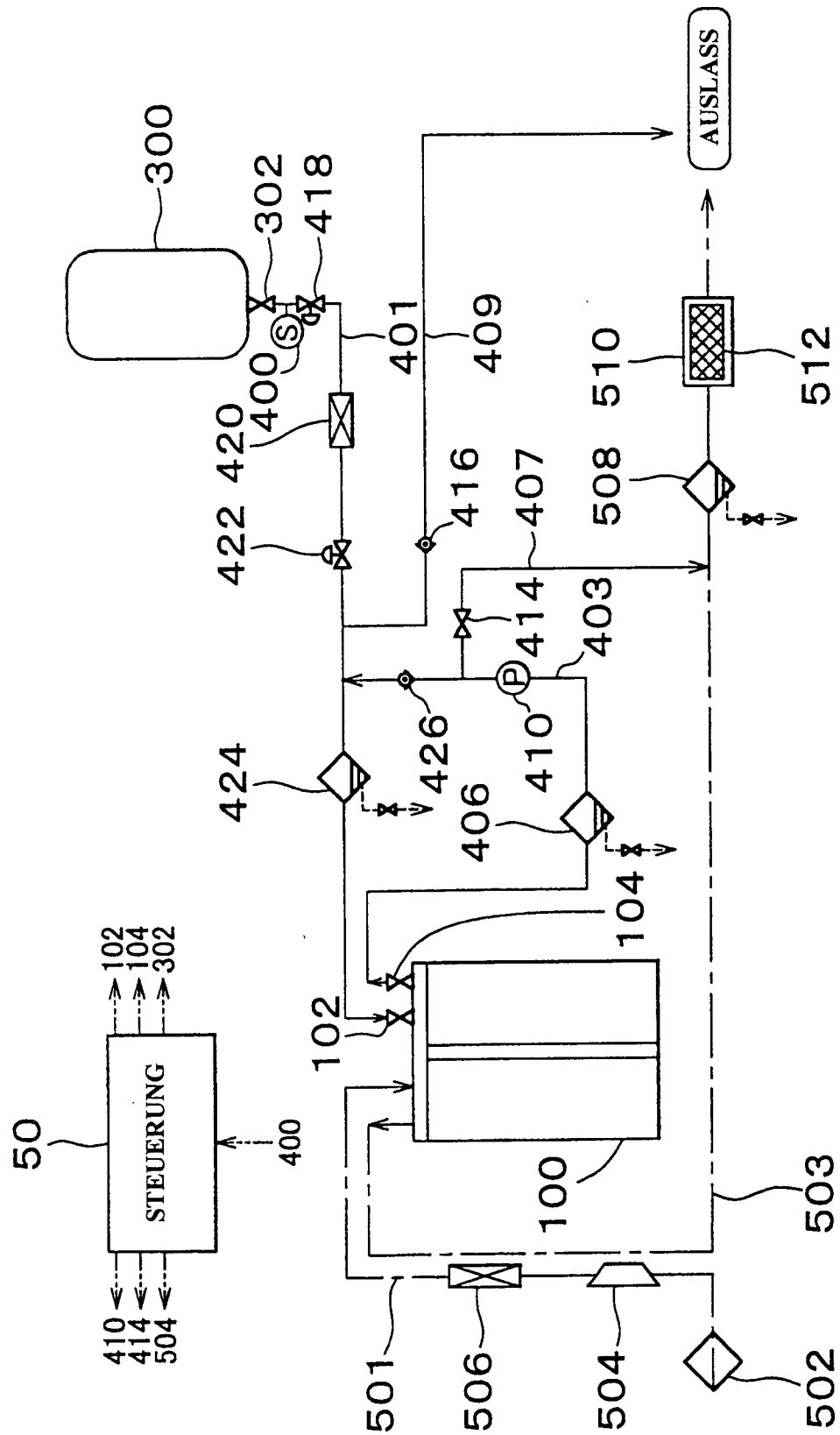


FIG. 5

