



(10) **DE 11 2007 002 395 B4** 2019.11.21

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 002 395.3**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2007/070508**  
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2008/047932**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **16.10.2007**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.04.2008**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **13.08.2009**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **21.11.2019**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04228 (2016.01)**  
**H01M 8/04 (2016.01)**  
**H01M 8/04223 (2016.01)**

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

(30) Unionspriorität:  
**2006-284163**      **18.10.2006**      **JP**

(72) Erfinder:  
**Kajiwara, Shigeto, Toyota, Aichi, JP**

(73) Patentinhaber:  
**TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA, Toyota-shi, Aichi-ken, JP**

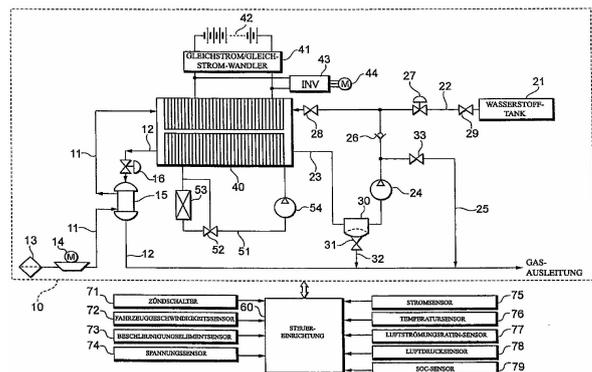
(56) Ermittelte Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>103 14 820</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2005 049 846</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2006 / 0 105 206</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 400 548</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>2003- 297 399</b>	<b>A</b>

(74) Vertreter:  
**KUHNEN & WACKER Patent- und  
 Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,  
 DE**

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem**

(57) Zusammenfassung: Ein Brennstoffzellensystem (10) weist auf: einen Brennstoffzellenstapel (40), der ein geliefertes Reaktionsgas empfängt, um Leistung zu erzeugen; einen Luftkompressor (14), um während einer Unterbrechung der Leistungserzeugung verbliebene Feuchtigkeit im Brennstoffzellenstapel (40) zu entfernen; eine Sekundärzelle (42), um dem Luftkompressor (14) eine Betriebsleistung zuzuführen; und eine Steuereinrichtung (60), um die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel (40) strömt, so zu steuern, dass eine Zeit, die der Luftkompressor (14) braucht, um die im Brennstoffzellenstapel verbliebene Feuchtigkeit zu entfernen, im Wesentlichen konstant ist.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem für die Zufuhr eines Abgases zu einem Brennstoffzellenstapel während der Unterbrechung einer Leistungserzeugung, um Feuchtigkeit aus dem Brennstoffzellenstapel abzuleiten.

## Technischer Hintergrund

**[0002]** In den letzten Jahren wurde im Rahmen von Strategien zur Lösung von Umweltproblemen die Entwicklung von schadstoffarmen Fahrzeugen vorangetrieben, und eines dieser Fahrzeuge ist ein Brennstoffzellen-Fahrzeug, das ein Brennstoffzellensystem als Onboard-Leistungsquelle aufweist. Das Brennstoffzellensystem ist ein Energieumwandlungssystem für die Zufuhr eines Reaktionsgases zu einer Membran/Elektroden-Anordnung, um eine elektrochemische Reaktion zu bewirken, wodurch chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird. In jeder Baugruppe ist ein Anodenpol an einer Fläche eines Elektrolytfilms angeordnet und ein Kathodenpol ist an dessen anderer Fläche angeordnet. Vor allem ein Brennstoffzellensystem, das als Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzellensystem ausgebildet ist und in dem ein fester Polymerfilm als Elektrolyt verwendet wird, kann auf einfache Weise kompakt und kostengünstig hergestellt werden, und außerdem weist es eine hohe Ausgangsleistungsdichte auf. Infolgedessen ist die Verwendung des Systems als Onboard-Leistungsquelle zu erwarten.

**[0003]** In einem Gaskanal eines Brennstoffzellenstapels bleiben Wasser, das durch die elektrochemische Reaktion des Reaktionsgases gebildet wird, Befeuchtungswasser für die Befeuchtung des Reaktionsgases und dergleichen zurück. Wenn die Leistungserzeugung unterbrochen wird, während dieser Wasserrückstand zurückgelassen wird, gefriert das verbliebene Wasser in einer Niedertemperaturumgebung, die Diffusion des Reaktionsgases zur Membran/Elektroden-Anordnung wird verhindert und das Kaltstartverhalten wird schlechter.

**[0004]** Angesichts dieses Problems wird bisher bei einer Unterbrechung der Leistungserzeugung eine Abfuhrbehandlung durchgeführt, um einen Luftkompressor durch die Leistung einer Batterieeinrichtung anzutreiben und dadurch Feuchtigkeit, die im Gaskanal des Brennstoffzellenstapels zurückgeblieben ist, auszuleiten. In der japanischen Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift JP 2003- 297 399 A wird ein Verfahren vorgeschlagen, das die im Brennstoffzellenstapel verbliebene Wassermenge schätzt, um die Abfuhrzeit zu verlängern, wenn die zurückgebliebene Wassermenge groß ist.

**[0005]** [Patentdokument 1] japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift JP 2003-297 399 A

**[0006]** Die EP 1 400 548 A1 offenbart einen polymerbasierten Feststoffelektrolyten und eine protonenleitfähige Membran. Die DE 103 14 820 A1 beschreibt ein Verfahren zum Verhindern der Einfrierung von Wasser im Anodenkreislauf eines Brennstoffzellensystems. Die US 2006 / 0 105 206 A1 beschreibt eine Leistungszufuhr aus einer Brennstoffzelle, deren Systemumgebung einen Kompressor umfasst.

**[0007]** Insbesondere offenbart die DE 10 2005 049 846 A1 den Betrieb eines Niederdruckkompressors für ein Brennstoffzellenenergiesystem.

## Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Jedoch variiert die Wassermenge, die in einem Brennstoffzellenstapel zurückbleibt, erheblich, je nach der gefahrenen Leistung, der Temperatur, der Feuchtigkeit oder dergleichen. Anhand eines in der japanischen Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift JP 2003- 297 399 A offenbarten Verfahrens muss daher eine nötige Abfuhrzeit jedes Mal gemäß der verbliebenen Wassermenge reguliert werden, und dadurch wird die Abfuhrsteuerung kompliziert.

**[0009]** Infolgedessen schlägt die vorliegende Erfindung für die Lösung des genannten Problems ein Brennstoffzellensystem vor, das in der Lage ist, die Abfuhrsteuerung zu vereinfachen.

**[0010]** Um dies zu erreichen, weist ein Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung Folgendes auf: einen Brennstoffzellenstapel, der ein geliefertes Reaktionsgas empfängt, um Leistung zu erzeugen; eine Abfuhrereinrichtung, die Feuchtigkeit entfernt, die während einer Unterbrechung der Leistungserzeugung im Brennstoffzellenstapel zurückbleibt; eine Batterieeinrichtung, die der Abfuhrereinrichtung Triebkraft zuführt; und eine Wasserbilanz-Steuerereinrichtung, die die Wassermenge, die in den und aus dem Brennstoffzellenstapel strömt, so steuert, dass eine Zeit, die die Abfuhrereinrichtung braucht, um die im Brennstoffzellenstapel verbliebene Feuchtigkeit zu entfernen, im Wesentlichen konstant bleibt.

**[0011]** Die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel strömt (die Bilanzberechnung der gebildeten Wassermenge, der Menge des mitgerissenen Wassers und der Menge des Befeuchtungswassers) wird so gesteuert, dass die Zeit, die die Abfuhrereinrichtung benötigt, um die im Brennstoffzellenstapel verbliebene Feuchtigkeit zu entfernen, im Wesentlichen konstant bleibt, wodurch die Abfuhrsteuerung vereinfacht werden kann.

## Figurenliste

**Fig. 1** skizziert einen Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß der vorliegenden Ausführungsform;

**Fig. 2** ist ein Ablaufschema, das die Wasserbilanzsteuerung für die Regulierung einer Zeit zeigt, die für die Abfuhrbehandlung nötig ist, um eine im Wesentlichen konstante Zeit zu erreichen;

**Fig. 3** erläutert einen Prozess zur Berechnung einer angestrebten Wechselstromimpedanz; und

**Fig. 4** erläutert ein Wasserbilanz-Steuerverfahren.

Beste Weise für die Ausführung der Erfindung

**[0012]** **Fig. 1** zeigt einen Systemaufbau eines Brennstoffzellensystems **10** gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

**[0013]** Das Brennstoffzellensystem **10** dient als Onboard-Leistungserzeugungssystem, das in einem Brennstoffzellen-Fahrzeug eingebaut ist, und weist einen Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzellenstapel **40** mit einer Stapelstruktur auf, worin eine Vielzahl von Zellen gestapelt sind. Jede Zelle weist auf: eine Membran/Elektroden-Anordnung, in der ein Anodenpol an einer Fläche eines Elektrolytfilms angeordnet ist, während ein Kathodenpol an der anderen Fläche angeordnet ist, und einen Separator mit Gaskanälen (einem Anodengaskanal, einem Kathodengaskanal), die das Strömen von Reaktionsgasen (einem Brenngas, einem Oxidierungsgas) durch die Membran/Elektroden-Anordnung ermöglichen, und mit einer Kühlmittleitung, die das Strömen eines Kühlmittels durch die Baugruppe ermöglicht. Im Brennstoffzellenstapel **40** empfängt der Anodenpol ein geliefertes Wasserstoffgas (das Brenngas) und der Kathodenpol empfängt ein geliefertes Sauerstoffgas (das Oxidierungsgas), um Leistung zu erzeugen.

**[0014]** Im Brennstoffzellenstapel **40** findet im Anodenpol eine Oxidierungsreaktion gemäß der Formel (1) statt, und eine Reduzierungsreaktion gemäß der Formel (2) findet im Kathodenpol statt. Im gesamten Brennstoffzellenstapel **40** läuft eine elektromotorische Reaktion gemäß der Formel (3) ab.



**[0015]** Ein Sauerstoffgas-Zufuhrsystem des Brennstoffzellensystems **10** ist mit einem Sauerstoffgas-

Zuleitungsweg **11** für die Zufuhr des Sauerstoffgases zum Brennstoffzellenstapel **40** und mit einem Sauerstoffabgas-Ausleitungsweg **12** für die Ausleitung eines Sauerstoffabgases aus dem Brennstoffzellenstapel **40** ausgestattet. Der Sauerstoffgas-Zuleitungsweg **11** ist mit einem Filter **13** für die Entfernung von z.B. Pulverstaub, der im Sauerstoffgas aus der Atmosphäre enthalten ist, und einem Befeuchtungsmodul **15** für die angemessene Befeuchtung des vom Luftkompressor **14** verdichteten Sauerstoffgases ausgestattet.

**[0016]** Das Befeuchtungsmodul **15** führt einen Feuchtigkeitsaustausch zwischen dem nur wenig feuchten Sauerstoffgas (einem trockenen Gas), das aus der Atmosphäre geholt wird, und dem stark feuchten Sauerstoffabgas (einem nassen Gas), das aus dem Kathodenpol des Brennstoffzellenstapels **40** ausgeleitet wird, durch. Wie in Formel (2) gezeigt, wird die Feuchtigkeit im Kathodenpol gebildet, und daher weist das Sauerstoffabgas, das aus dem Kathodenpol ausgeleitet wird, einen hohen Feuchtigkeitsgehalt auf. Das vom Befeuchtungsmodul **15** befeuchtete Sauerstoffgas wird dem Brennstoffzellenstapel **40** über den Sauerstoffgas-Zuleitungsweg **11** zugeführt und wird für die Leistungserzeugung des Brennstoffzellenstapels **40** verwendet. Der Sauerstoffgas-Ausleitungsweg **12** ist ein Rohr, das in einem Sauerstoffgas-Ausleitungssystem vorgesehen ist, und zwischen dem Befeuchtungsmodul **15** und dem Brennstoffzellenstapel **40** ist ein Druckregelventil **16** angeordnet, das einen Sauerstoffgasdruck im Brennstoffzellenstapel **40** regelt. Das Sauerstoffabgas, das durch den Sauerstoffabgas-Ausleitungsweg **12** strömt, strömt durch das Druckregelventil **16**, wird für den Feuchtigkeitsaustausch im Befeuchtungsmodul **15** verwendet und wird als Abgas aus dem System in die Atmosphäre ausgeleitet.

**[0017]** Ein Wasserstoffgas-Zufuhrsystem des Brennstoffzellensystems **10** weist auf: einen Wasserstofftank **21** als Wasserstoff-Zufuhrquelle, in dem das unter hohem Druck stehende Wasserstoffgas aufgenommen wird; einen Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **22** für die Lieferung des Wasserstoffgases, mit dem der Wasserstofftank **21** gefüllt ist, zum Brennstoffzellenstapel **40**; ein Sperrventil **29**, das die Lieferung / die Unterbrechung der Lieferung des Wasserstoffgases vom Wasserstofftank **21** zum Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **22** steuert; ein Sperrventil **28**, das die Lieferung / die Unterbrechung der Lieferung des Wasserstoffgases vom Wasserstoff-Zuleitungsweg **22** zum Brennstoffzellenstapel **40** steuert; einen Umwälzweg **23** für die Rückführung eines Wasserstoffabgases (eines nicht-umgesetzten Wasserstoffgases), das aus dem Brennstoffzellenstapel **40** ausgeleitet wird, in den Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **22**; eine Wasserstoffpumpe **24**, die das Wasserstoffabgas, das im Umwälzweg **23** strömt, unter Druck in den Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **23**

speist; und ein Ausleitungsweg **25**, der vom Umwälzweg **23** abzweigt, um sich mit dem Sauerstoffabgas-Ausleitungsweg **12** zu vereinigen.

**[0018]** Auf der stromaufwärtigen Seite des Wasserstoffgas-Zuleitungswegs **22** ist ein Regler **27** zwischengeschaltet, der den Druck des hochverdichteten Wasserstoffgases, das aus dem Wasserstofftank **21** ausgeleitet wird, regelt. Der Umwälzweg **23** mündet stromabwärts vom Regler **27**. Das Wasserstoffgas, das aus dem Wasserstofftank **21** in den Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **22** strömt, vereinigt sich mit dem auf dem Umwälzweg zurückströmenden Wasserstoffabgas an einer Verbindungsstelle zwischen dem Wasserstoffgas-Zuleitungsweg **22** und dem Umwälzweg **23**, und die Gase werden dem Brennstoffzellenstapel **40** als Gasmischung zugeführt. Stromabwärts von der Wasserstoffpumpe **24** des Umwälzweges **23** ist ein Rückschlagventil **26** zwischengeschaltet, um den Gegenstrom des Wasserstoffabgases, das zum Brennstoffzellenstapel **40** zurückströmt, zu unterdrücken.

**[0019]** Stromaufwärts von der Wasserstoffpumpe **24** ist ein Gas/Flüssigkeit-Separator **30** für die Trennung der Feuchtigkeit vom Wasserstoffabgas, das durch den Umwälzweg **23** strömt, zwischengeschaltet. Ein Fluid, das durch den Umwälzweg **23** strömt, schließt das Wasserstoffabgas, das aus dem Brennstoffzellenstapel **40** ausgeleitet wird, und Wasser ein, das durch eine elektrochemische Reaktion im Brennstoffzellenstapel **40** gebildet wird. Der Gas/Flüssigkeit-Separator **30** trennt dieses gebildete Wasser vom Wasserstoffabgas. Das Wasserstoffabgas, von dem die Feuchtigkeit abgetrennt wurde, wird durch die Wasserstoffpumpe **24** zum Brennstoffzellenstapel **40** zurückgeführt, während die Feuchtigkeit, die vom Gas/Flüssigkeit-Separator **30** gesammelt wird, aus einem Fluidrohr **32** über ein Ablaufventil **31** in den Sauerstoffgas-Ausleitungsweg **12** ausgeleitet wird.

**[0020]** Das stromaufwärtsseitige Ende des Fluidrohrs **32** ist mit dem Ablaufventil **31** des Gas/Flüssigkeit-Separators **30** verbunden, und sein stromabwärtsseitiges Ende ist mit dem Sauerstoffgas-Ausleitungsweg **12** verbunden, wodurch die Feuchtigkeit, die vom Gas/Flüssigkeit-Separator **30** abgetrennt wird, in den Sauerstoffgas-Ausleitungsweg strömen kann. Der Ausleitungsweg **25** ist mit einem Ablassventil **33** versehen, das als Sperrventil zum Öffnen/Schließen dieses Weges dient. Wenn das Ablassventil **33** auf geeignete Weise geöffnet/geschlossen wird, können im Wasserstoffabgas enthaltene Verunreinigungen zusammen mit dem Wasserstoffabgas über den Ausleitungsweg **25** in den Sauerstoffgas-Ausleitungsweg **12** ausgeleitet werden. Wenn die im Wasserstoffgas enthaltenen Verunreinigungen aus dem Ausleitungsweg **25** ausgeleitet werden, kann die Konzentration der Verunreinigungen im Wasserstoffabgas gesenkt werden, und die Wasserstoffkon-

zentration im Wasserstoffabgas, das umgewälzt und dem Brennstoffzellenstapel **40** zugeführt werden soll, kann erhöht werden.

**[0021]** Ein Leistungssystem des Brennstoffzellensystems **10** weist auf: eine Sekundärzelle **42** als Akkulatoreinrichtung zum Akkulieren der vom Brennstoffzellenstapel **40** erzeugten Leistung oder einer regenerativen Energie während des Bremsens des Fahrzeugs; einen Gleichstrom/Gleichstrom-Wandler **41**, der die Ausgangsspannung des Brennstoffzellenstapels **40** reguliert, um die Verteilung der Leistung zu steuern, die dem Brennstoffzellenstapel **40** und der Sekundärzelle **42** zugeführt werden soll; und einen Traktionswechselrichter **43**, der die Gleichstromleistung, die vom Brennstoffzellenstapel **40** oder von der Sekundärzelle **42** geliefert wird, in die Wechselstromleistung umwandelt, einem Zugmotor (einem das Fahrzeug antreibenden Motor) **44** geliefert wird.

**[0022]** Die Sekundärzelle **42** ist die Akkulatoreinrichtung, die in der Lage ist, die Leistung zu akkulieren und auszugeben, und dient als Speicherquelle für regenerative Energie während eines regenerativen Bremsens und als Energiezwischenspeicher zu Zeiten, wo einhergehend mit der Beschleunigung oder Verlangsamung des Brennstoffzellen-Fahrzeugs eine Leistung schwankt. Als Sekundärzelle **42** wird beispielsweise eine Nickel/Cadmium-Akkumulationsbatterie, eine Nickel/Wasserstoff-Akkumulationsbatterie, eine sekundäre Lithiumzelle oder dergleichen bevorzugt. Anstelle der Sekundärzelle **42** kann eine Akkulatoreinrichtung wie ein Kondensator eingebaut werden.

**[0023]** Ein Kühlsystem des Brennstoffzellensystems **10** weist auf: eine Kühlmittelleitung **51**, durch die ein Kühlmittel im Brennstoffzellenstapel **40** zirkulieren kann; eine Kühlmittelpumpe **54**, die das Kühlmittel unter Druck durch die Kühlmittelleitung **51** speist; einen Kühlkörper **53**, der das Kühlmittel kühlt; und ein Umgehungsventil **52**, mit dem das Kühlmittel den Kühlkörper **53** umgehen und in der Kühlmittelleitung **51** strömen kann. Durch Einstellen der Menge des Kühlmittels, die den Kühlkörper **53** umgeht, kann eine Kühlmitteltemperatur reguliert werden.

**[0024]** Ein Steuersystem des Brennstoffzellensystems **10** ist mit einer Steuerung **60** für die Steuerung des gesamten Brennstoffzellensystems **10** versehen. Die Steuereinrichtung **60** ist eine Steuereinheit (ECU), die eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU), eine Speichereinrichtung (einen ROM, einen RAM), eine Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle und dergleichen aufweist. Die Steuereinrichtung **60** überwacht einen Betriebszustand auf der Basis von Sensorausgaben verschiedener Sensoren, um das Brennstoffzellensystem **10** zu steuern.

**[0025]** Die Sensoren schließen ein: einen Zündschalter **71**, der ein Start/Stoppsignal ausgibt; einen Fahrzeuggeschwindigkeits-Sensor **72**, der eine Fahrzeuggeschwindigkeit erfasst; einen Beschleunigungselement-Sensor **73**, der einen Öffnungsgrad eines Beschleunigungselements erfasst; einen Spannungs-Sensor **74**, der die Ausgangsspannung jeder Zelle, die Bestandteil des Brennstoffzellenstapels **40** ist, erfasst; einen Stromsensor **75**, der den Ausgangsstrom (den BZ-Strom) des Brennstoffzellenstapels **40** erfasst; einen Temperatur-Sensor **76**, der die Temperatur (die BZ-Temperatur) des Brennstoffzellenstapels **40** erfasst; einen Luftströmungsraten-Sensor **77**, der die Strömungsrate der aus einem Kathodenauslass des Brennstoffzellenstapels **40** strömenden Luft erfasst; einen Luftdruck-Sensor **78**, der den Druck der Luft erfasst, die aus dem Kathodenauslass des Brennstoffzellenstapels **40** strömt; einen Ladezustands- (SOC-) Sensor **79**, der den SOC der Sekundärzelle **42** erfasst, und dergleichen.

**[0026]** Sobald er beispielsweise das Startsignal erfasst, das vom Zündschalter **71** ausgegeben wird, startet die Steuereinrichtung **60** den Betrieb des Brennstoffzellensystems **10** und ermittelt die geforderte Leistung des gesamten Systems auf der Basis eines Beschleunigungselement-Öffnungsgradsignals, das vom Beschleunigungselement-Sensor **73** ausgegeben wird, eines Fahrzeuggeschwindigkeits-Signals, das vom Fahrzeuggeschwindigkeits-Sensor **72** ausgegeben wird, und dergleichen. Die geforderte Leistung des gesamten Systems ist ein Gesamtwert einer Fahrzeug-Fahrleistung und einer Zubehörlleistung. Die Zubehörlleistung schließt ein: Leistung, die von im Auto eingebauten Zubehöreinrichtungen (dem Befeuchter, dem Luftkompressor, der Wasserpumpe, einer Kühlwasser-Umwälzpumpe usw.) verbraucht wird; Leistung, die von Einrichtungen (einer Gangschaltung, einer Radsteuereinrichtung, einer Lenkeinrichtung, einer Aufhängung usw.) verbraucht wird, die zum Fahren des Fahrzeugs nötig sind; Leistung, die von Einrichtungen (einer Klimaanlage, einer Beleuchtung, einer Audioanlage usw.) verbraucht wird, die im Insassenraum angeordnet sind, und dergleichen.

**[0027]** Darüber hinaus bestimmt die Steuereinrichtung **60** die Verteilung der Ausgangsleistung der Brennstoffzellenstapel **40** und der Sekundärzelle **42**, regelt die Drehzahl des Luftkompressors **14** oder den Ventilöffnungsgrad des Reglers **72** und die Menge des Reaktionsgases, das dem Brennstoffzellenstapel **40** zugeführt wird, so dass die Leistungsmenge, die vom Brennstoffzellenstapel **40** zu erzeugen ist, mit einer angestrebten Leistung übereinstimmt, und steuert den Gleichstrom/Gleichstrom-Wandler **41**, um die Ausgangsspannung des Brennstoffzellenstapels **40** zu regeln, wodurch der Betriebspunkt (die Ausgangsspannung, der Ausgangsstrom) des Brennstoffzellenstapels **40** gesteuert wird. Um eine angestrebte

Fahrzeuggeschwindigkeit zu erreichen, die dem Beschleunigungselement-Öffnungsgrad entspricht, gibt die Steuereinrichtung **60** außerdem beispielsweise die Wechselspannungs-Befehlswerte einer U-Phase, einer V-Phase und einer W-Phase als Schaltbefehle an den Wechselrichter **43** aus, wodurch das Ausgangsmoment und die Drehzahl des Zugmotors **44** gesteuert werden.

**[0028]** Nun wird die Wasserbilanzsteuerung für die Einstellung einer Zeit, die für die Abfuhrsteuerung nötig ist, auf eine im Wesentlichen konstante Zeit allgemein mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben.

**[0029]** Sobald sie das Startsignal empfängt, das vom Zündschalter **71** ausgegeben wird, führt die Steuereinrichtung **60** einen Normalbetrieb durch (Schritt **201**). Während des Normalbetriebs ermittelt die Steuereinrichtung **60** die geforderte Leistung des gesamten Systems auf der Basis des Beschleunigungselement-Öffnungsgradsignals, das vom Beschleunigungselement-Sensor **73** ausgegeben wird, des Fahrzeuggeschwindigkeits-Signals, das vom Fahrzeuggeschwindigkeits-Sensor **72** ausgegeben wird, und dergleichen, bestimmt die Verteilung der Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels **40** und der Sekundärzelle **42** und steuert die Zubehöreinrichtungen so, dass die Leistungsmenge, die vom Brennstoffzellenstapel **40** zu erzeugen ist, mit der angestrebten Leistung übereinstimmt.

**[0030]** Die Steuereinrichtung **60** nimmt die Sensorausgabe vom Temperatursensor **76** und misst die Temperatur des Brennstoffzellenstapels **40** (Schritt **202**).

**[0031]** Darüber hinaus berechnet die Steuereinrichtung **60** die angestrebte Wechselstromimpedanz des Brennstoffzellenstapels **40** auf der Basis der BZ-Temperatur, die in Schritt **202** gemessen wird (Schritt **203**). Ein Verfahren zum Messen der angestrebten Wechselstromimpedanz auf der Basis der BZ-Temperatur wird später beschrieben.

**[0032]** Außerdem gelten bekanntlich, wenn **E** die Anspannung des Brennstoffzellenstapels **40** bei Anlegung eines Wechselstromsignals an den Brennstoffzellenstapel **40** ist, **I** ein Antwortstrom ist und **Z** eine Wechselstromimpedanz ist, die folgenden Gleichungen.

$$E = E_0 \exp(j(\omega t + \Phi))$$

$$I = I_0 \exp(j\omega t)$$

$$Z = E/I = (E_0 / I_0) \exp(j\Phi) = R + jX$$

wobei  $E_0$  die Amplitude der Ansprechspannung ist,  $I_0$  die Amplitude des Ansprechstroms ist,  $\omega$  eine Winkel-  
frequenz ist,  $\Phi$  eine Anfangsphase ist,  $R$  eine Wider-  
standskomponente (ein realer Teil) ist,  $x$  eine Reak-  
tanzkomponente (ein imaginärer Teil) ist,  $j$  eine ima-  
ginäre Einheit ist und  $t$  eine Zeit ist.

**[0033]** Die Steuereinrichtung **60** steuert die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel **40** strömt, so, dass die Wechselstromimpedanz des Brennstoffzellenstapels **40** mit der angestrebten Wechselstromimpedanz übereinstimmt (Schritt **204**). Die Einzelheiten der Wasserbilanzsteuerung werden später beschrieben.

**[0034]** Die Steuereinrichtung **60** steuert den Gleichstrom/Gleichstrom-Wandler **41**, um das Wechselstromsignal an den Brennstoffzellenstapel **40** anzulegen, und kann die Spannungsantwort vom Spannungssensor **74** erfassen, um die Wechselstromimpedanz zu messen. Ein anderes Verfahren zum Messen der Wechselstromimpedanz besteht darin, dass die Steuereinrichtung **60** die Wechselstromimpedanz des Brennstoffzellenstapels **40** anhand eines Innenwiderstands-Messinstruments messen kann. Das Innenwiderstands-Messinstrument ist ein Hochfrequenz-Impedanzmessinstrument, das in der Lage ist, den Hochfrequenzstrom an den Brennstoffzellenstapel **40** anzulegen und die Spannungsantwort des Stapels zu erfassen, um die Wechselstromimpedanz des Brennstoffzellenstapels **40** zu ermitteln.

**[0035]** Dann beurteilt die Steuereinrichtung **60**, ob eine Forderung nach Unterbrechung der Leistungserzeugung vorliegt oder nicht (Schritt **205**). Wenn der Zündschalter **71** ausgeschaltet wird, wird die Forderung nach Unterbrechung der Leistungserzeugung an die Steuereinrichtung **60** ausgegeben. Solange keine Forderung nach einer Unterbrechung der Leistungserzeugung vorliegt (Schritt **205**; NEIN), führt die Steuereinrichtung **60** die Verarbeitung der Schritte **201** bis **204** aus.

**[0036]** Die Temperatur des Brennstoffzellenstapels **40** schwankt ständig gemäß dem Betriebszustand, und somit schwankt auch die angestrebte Wechselstromimpedanz gemäß dem Betriebszustand. Die Steuereinrichtung **60** steuert die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel **40** strömt, um der ständig schwankenden Wechselstromimpedanz zu folgen.

**[0037]** Sobald sie die Forderung nach einer Unterbrechung der Leistungserzeugung empfängt (Schritt **205**; JA), treibt die Steuereinrichtung **60** den Luftkompressor **14** mittels einer Leistung an, die in der Sekundärbatterie **42** gespeichert ist, und liefert ein Abfuhrgas in den Gaskanal des Brennstoffzellenstapels **40**, um die Feuchtigkeit im Gaskanal zu entfernen (Schritt **206**). Der Luftkompressor **14** dient als Abfuhrinrich-

tung für die Entfernung der Feuchtigkeit im Brennstoffzellenstapel **40**.

**[0038]** Nun wird das Verfahren zum Berechnen der angestrebten Wechselstromimpedanz (Schritt **203**) ausführlich mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben.

**[0039]** Die Steuereinrichtung **60** berechnet eine von der BZ-Temperatur **103** abhängige Trocknungsgeschwindigkeit **V** auf der Basis der in Schritt **202** gemessenen BZ-Temperatur **103** und eines Temperatur/Trocknungsgeschwindigkeit-Kennfelds (dem T/V-Kennfeld) **301**. Das Temperatur/Trocknungsgeschwindigkeit-Kennfeld **301** ist ein Kennfeld, in dem die Abszisse die Temperatur anzeigt, die Ordinate die Trocknungsgeschwindigkeit (die Feuchtigkeitsmenge, die pro Zeiteinheit zu entfernen ist) anzeigt und die Trocknungsgeschwindigkeit bezogen auf die jeweilige Temperatur die Kurve bildet.

**[0040]** Die Steuereinrichtung **60** berechnet eine von der Trocknungsgeschwindigkeit **V** abhängige Trocknungsmenge **Q** auf der Basis der Trocknungsgeschwindigkeit **V** und eines Trocknungsgeschwindigkeit/Trocknungsmenge-Kennfelds (des V/Q-Kennfelds) **302**. Das Trocknungsgeschwindigkeit/Trocknungsmenge-Kennfeld **302** ist ein Kennfeld, in dem die Abszisse die Trocknungsgeschwindigkeit anzeigt, die Ordinate die Trocknungsmenge anzeigt und die Trocknungsmenge, die jeweils einer Trocknungsgeschwindigkeit entspricht, die Kurve bildet. Die Trocknungsmenge **Q** wird durch Multiplizieren der Trocknungsgeschwindigkeit **V** mit einer Abfuhrzeit berechnet.

**[0041]** Die Steuereinrichtung **60** berechnet eine angestrebte Wassermenge **QTGT** entsprechend der Temperatur **103** auf Basis der Temperatur **103** und eines Kennfelds der Temperatur und der angestrebten Wassermenge (des T/QTGT-Kennfelds) **303**. Das Kennfeld **303** der Temperatur und der angestrebten Wassermenge ist ein Kennfeld, in dem die Abszisse die Temperatur anzeigt, die Ordinate die angestrebte Wassermenge anzeigt und die angestrebte Wassermenge, die jeweils einer Temperatur entspricht, die Kurve bildet. Die angestrebte Wassermenge **QTGT** wird durch Addieren der Trocknungsmenge **Q** und der verbliebenen Wassermenge **QEND** ermittelt. Hierbei ist die Trocknungsmenge **Q** die Feuchtigkeitsmenge, die während der Abfuhrverarbeitung aus dem Brennstoffzellenstapel ausgeleitet werden soll, und die verbliebene Wassermenge **QEND** ist die Feuchtigkeitsmenge, die nach der Abfuhrverarbeitung im Brennstoffzellenstapel **40** verbleibt.

**[0042]** Die Steuereinrichtung **60** berechnet eine von der Temperatur **103** abhängige angestrebte Wechselstromimpedanz **123** auf der Basis der Temperatur **103** und eines Kennfelds der Temperatur und

der angestrebten Wechselstromimpedanz (des T/Z-Kennfelds) **304**. Das Kennfeld **304** der Temperatur und der angestrebten Wechselstromimpedanz ist ein Kennfeld, in dem die Abszisse die Temperatur anzeigt, die Ordinate die angestrebte Wechselstromimpedanz anzeigt und die angestrebte Wechselstromimpedanz, die jeweils einer Temperatur entspricht, die Kurve bildet. Bekanntlich besteht ein Zusammenhang zwischen der Wechselstromimpedanz und der angestrebten Wassermenge **QTGT**, und somit kann die angestrebte Wechselstromimpedanz aus der angestrebten Wassermenge **QTGT** ermittelt werden.

[0043] Es sei klargestellt, dass zur Vereinfachung der Erklärung das Verfahren zum Berechnen der angestrebten Wechselstromimpedanz **123** anhand des Kennfelds **301** der Temperatur und der Trocknungsgeschwindigkeit, des Kennfelds **302** der Trocknungsgeschwindigkeit und der Trocknungsmenge, des Kennfelds **303** der Temperatur und der angestrebten Wassermenge und des Kennfelds **304** der Temperatur und der angestrebten Wechselstromimpedanz beschrieben wurde. Jedoch sind das Kennfeld **301** der Temperatur und der Trocknungsgeschwindigkeit, das Kennfeld **302** der Trocknungsgeschwindigkeit und der Trocknungsmenge und das Kennfeld **303** der Temperatur und der angestrebten Wassermenge physikalische Modelle zum theoretischen Ableiten des Kennfelds **304** der Temperatur und der angestrebten Wechselstromimpedanz. Daher reicht das Kennfeld **304** der Temperatur und der angestrebten Wechselstromimpedanz für einen wirklichen Betrieb aus.

[0044] Nun wird ein Verfahren (Schritt **204**) zur Steuerung der Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel **40** strömt, ausführlich mit Bezug auf **Fig. 4** beschrieben.

[0045] Die Steuereinrichtung **60** multipliziert einen BZ-Stromwert **107**, der anhand des Ausgabewerts vom Stromsensor **75** gemessen wird, mit einem Faktor **110**, um eine gebildete Wassermenge **W1** [g/s] zu berechnen. Der Faktor **110** ist eine Konstante mit einem Wert  $Zellenzahl/LVFF/2 \times 18$ , und  $LVFF$  ist die Faraday-Konstante (96500 C/Mol). Ferner berechnet die Steuereinrichtung **60** einen Dampfdruck **U1** aus der BZ-Temperatur **103**, die anhand des Ausgabewerts des Temperatursensors **76** gemessen wird, und aus einem Kennfeld **111** der Wasserdampf-sättigungs-Eigenschaften und misst einen Luftdruckwert **109** (im Folgenden als Luftdruckwert **U2** bezeichnet) anhand des Ausgabewerts des Luftdrucksensors **78**. Dann setzt die Steuereinrichtung **60** die Argumente **U1**, **U2** in eine Funktion **112** ein, um ein Partialdruckverhältnis **V1** zwischen dem Dampf und der Luft zu berechnen.

[0046] Die Steuereinrichtung **60** multipliziert den BZ-Stromwert **107**, der aus dem Ausgabewert des

Stromsensors **75** gemessen wird, mit einem Faktor **113**, um die Menge **A1** [Mol/s] der verbrauchten Luft zu berechnen. Der Faktor **113** ist eine Konstante mit einem Wert  $Zellenzahl/LVFF/4$ . Die Steuereinrichtung **60** misst einen Luftströmungsratenwert **108** (im Folgenden als Luftströmungsratenwert **A2** [Mol/s] bezeichnet) an einem Kathodenauslass anhand des Ausgabewerts des Luftströmungsratensensors **77**. Dann berechnet die Steuereinrichtung **60** eine Luftströmungsrate **V2**, die in eine mitgerissene Feuchtigkeit umgewandelt wird, aus Luftströmungsrate **A2** - Menge **A1** der verbrauchten Luft. Die Steuereinrichtung **60** setzt die Argumente **V1**, **V2** in eine Multiplikationsfunktion **115** ein und multipliziert den resultierenden Ergebniswert mit einem Faktor **116**, um die Menge **W2** [g/s] des mitgerissenen Wassers zu berechnen. Der Faktor **116** ist eine Konstante mit einem Wert **18**. Die Menge **W2** des mitgerissenen Wassers wird mit einem Faktor **117** mit einem Wert **-1** multipliziert, so dass sie ein negatives Vorzeichen erhält.

[0047] Die Steuereinrichtung **60** berechnet ein von der Luftströmungsrate **A2** abhängiges Dampferetzungsverhältnis **X1** auf der Basis eines Kennfelds **118** des Befeuchtungsmodul-Dampferetzungsverhältnisses. Die Steuereinrichtung setzt die Argumente **W1**, **W2** in eine MIN-Funktion **119** ein, um den Ergebniswert **X2** zu erhalten. Die MIN-Funktion **119** ist eine Funktion, mit der man als Ergebniswert ein Argument mit einem Mindestwert unter einer Vielzahl von Argumenten ermittelt. Die Steuereinrichtung **60** setzt die Argumente **W1**, **W2** in eine Multiplikationsfunktion **120** ein, um die Menge **W3** [g/s] des Befeuchtungswassers als Ergebniswert zu erhalten. Die Steuereinrichtung **60** setzt die Argumente **W1**, **-W2** und **W3** in eine Additionsfunktion **121** ein, um die Menge **122** der Feuchtigkeit, die im Brennstoffzellenstapel **40** verbleibt, als Ergebniswert zu erhalten.

[0048] Die Steuereinrichtung **60** steuert die Menge **W1** des gebildeten Wassers, die Menge **W2** des mitgerissenen Wassers und die Menge **W3** des Befeuchtungswassers so, dass die Menge **122** der Feuchtigkeit mit der angestrebten Wassermenge **QTGT** übereinstimmt. Genauer führt die Steuereinrichtung **60**, wenn die Feuchtigkeitsmenge **122** kleiner ist als die angestrebte Wassermenge **QTGT**, eine Operation durch, um den BZ-Stromwert **170** zu erhöhen oder die Befeuchtungsmenge des Befeuchtungsmoduls **15** oder dergleichen zu erhöhen, um die Menge **W1** des gebildeten Wassers oder die Menge **W3** des Befeuchtungswassers zu erhöhen. Wenn dagegen die Feuchtigkeitsmenge **122** größer ist als die angestrebte Wassermenge **QTGT**, führt die Steuereinrichtung eine Operation durch, um z.B. den Luftströmungsratenwert **108** zu erhöhen oder den Luftdruckwert **109** zu senken, um die Menge **W2** des mitgerissenen Wassers zu erhöhen.

**[0049]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellenstapel **40** strömt (die Bilanzberechnung der Menge des gebildeten Wassers, der Menge des mitgerissenen Wassers und der Menge des Befeuchtungswassers) so gesteuert, dass die Zeit, die der Luftkompressor für die Entfernung der im Brennstoffzellenstapel **40** verbliebenen Feuchtigkeit braucht, im Wesentlichen konstant ist, wodurch die Abfuhrsteuerung vereinfacht werden kann.

**[0050]** Es sei darauf hingewiesen, dass die Steuereinrichtung **60** als Wasserbilanz-Steuereinrichtung dient (Schritt **204**) und die Bilanz des Wassers, das in und aus dem Brennstoffzellenstapel **40** strömt, so steuert, dass die Zeit, die der Luftkompressor für die Entfernung der im Brennstoffzellenstapel **40** verbliebene Feuchtigkeit braucht, im Wesentlichen konstant ist.

#### Industrielle Anwendbarkeit

**[0051]** Gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine Abfuhrzeit im Wesentlichen konstant, und somit kann eine Abfuhrsteuerung vereinfacht werden.

#### Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (10), aufweisend:  
 einen Brennstoffzellenstapel (40), der ein geliefertes Reaktionsgas empfängt, um Leistung zu erzeugen;  
 eine Abfuhreinrichtung (14), die während einer Unterbrechung der Leistungserzeugung verbliebene Feuchtigkeit aus dem Brennstoffzellenstapel (40) entfernt;  
 eine Akkulatoreinrichtung (42), die eine Betriebsleistung zur Abfuhreinrichtung liefert; und  
 eine Wasserbilanz-Steuereinrichtung (60, 204), die die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellestapel (40) strömt, mittels wenigstens einem aus dem Befeuchtungswasser, dem gebildeten Wasser und/oder dem mitgerissenen Wasser, basierend auf einer angestrebten Wassermenge, die im Verhältnis zu der verbliebenen Feuchtigkeit steht, vor der Unterbrechung der Leistungserzeugung so steuert, dass eine Zeit, die nötig ist, um die verbliebene Feuchtigkeit mit der Abfuhreinrichtung (14) aus dem Brennstoffzellenstapel (40) zu entfernen, im Wesentlichen konstant ist.

2. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1, wobei die Wasserbilanz-Steuereinrichtung (60, 204) eine angestrebte Wechselstromimpedanz, die der angestrebten Wassermenge entspricht, auf der Basis der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (40) steuert und die Bilanz des Wassers, das in den und aus dem Brennstoffzellestapel (40) strömt, so steuert, dass die Wechselstromimpedanz des Brennstoffzellenstapels (40) während der Unterbrechung der Leis-

tungserzeugung der angestrebten Wechselstromimpedanz gleich ist.

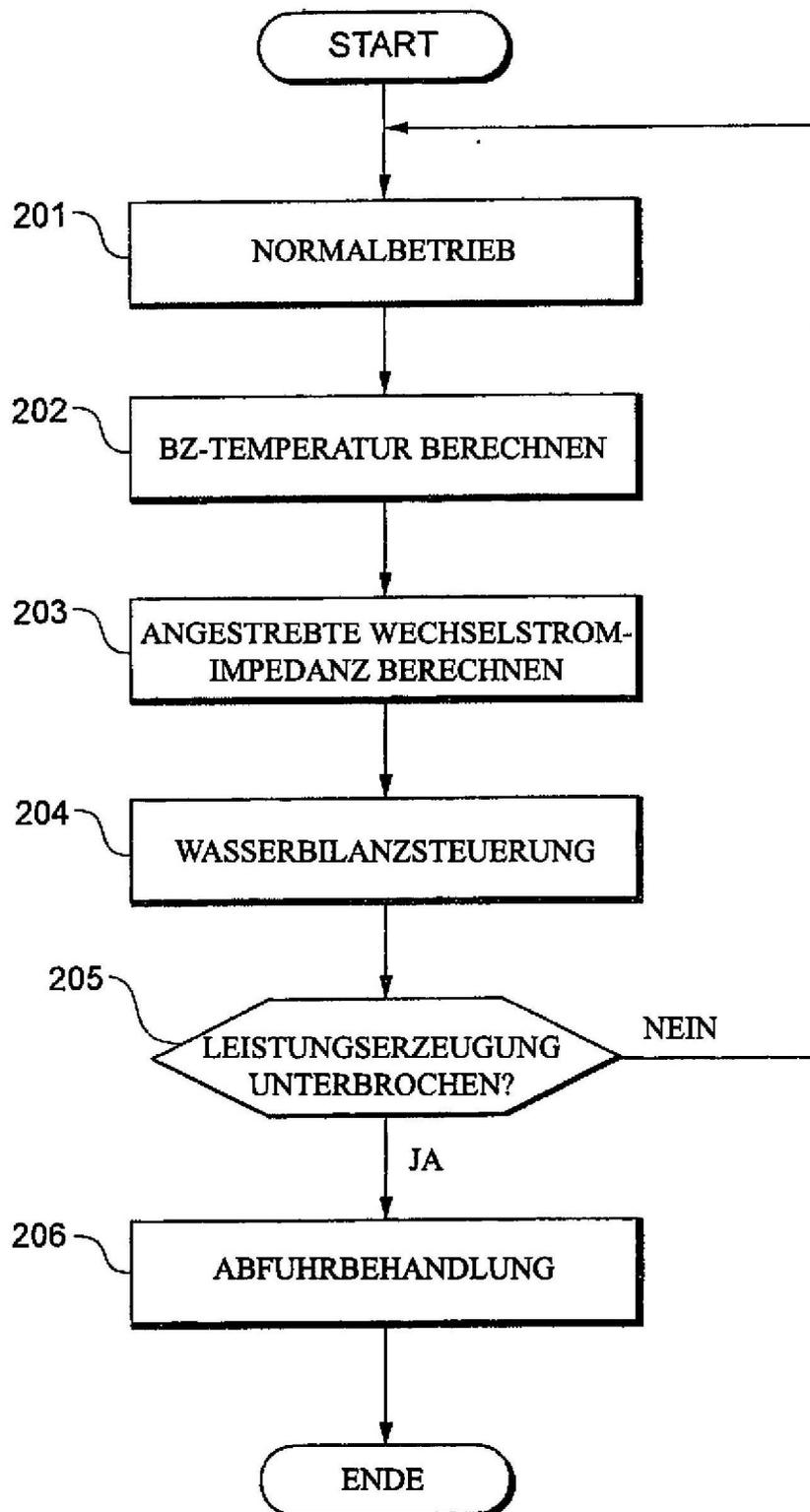
3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, wobei die Wasserbilanz-Steuereinrichtung (60, 204) einen Stromwert des Brennstoffzellenstapels (40) steuert, um die Wasserbilanz zu steuern.

4. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, wobei die Wasserbilanz-Steuereinrichtung (60, 204) die Menge des Befeuchtungswassers, die dem Brennstoffzellenstapel (40) zugegeben wird, steuert, um die Wasserbilanz zu steuern.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen



**FIG. 2**



**FIG. 3**

