(19) **Bundesrepublik Deutschland**
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 102 97 174 B4** 2009.01.29

(12) # Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **102 97 174.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/25029**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/071615**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.08.2002**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **28.08.2003**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **12.08.2004**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **29.01.2009**

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

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

(30) Unionspriorität:
**09/948,897 07.09.2001 US**

(73) Patentinhaber:
**General Motors Corp. (n.d.Ges.d. Staates Delaware), Detroit, Mich., US**

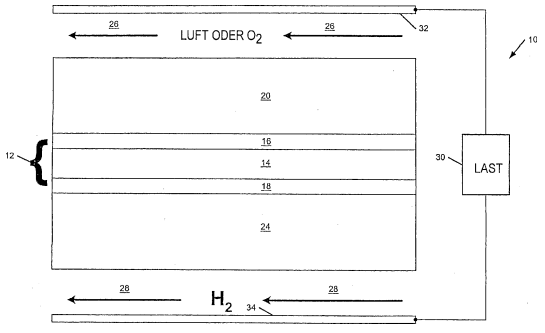
(74) Vertreter:
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München**

(72) Erfinder:
**Wheat, William S., Rochester, N.Y., US; Meltser, Mark A., Rochester, N.Y., US; Masten, David A., Rochester, N.Y., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
**DE 199 43 690 C2**
**DE 198 25 286 C2**
**DE 100 00 514 A1**
**DE 44 46 841 A1**
**DE 696 03 608 T2**
**US 64 79 177 B1**
**EP 09 24 163 A2**

(54) Bezeichnung: **Energiemanagementsystem und -verfahren zur Steuerung der Temperatur eines Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug**

(57) Hauptanspruch: Energiemanagementsystem (100) zur Steuerung der Temperatur eines Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug, wenn das Fahrzeug nicht läuft und geparkt ist, mit
einem Brennstoffzellenstapel (102);
einer Wasserversorgung (150);
einer Wasserstoffversorgung (120);
einem Wasserstoffversorgungsventil (122), das zwischen die Wasserstoffversorgung (120) und den Brennstoffzellenstapel (102) geschaltet ist;
gekennzeichnet durch:
einen Temperatursensor (108) zur Erfassung der Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels (102);
ein Gebläse (110), das Luft an den Brennstoffzellenstapel (102) liefert;
einen Temperatursensor (154) zur Erfassung der Temperatur des Wassers in der Wasserversorgung (150);
eine Heizeinrichtung (136, 148), die mit einem Ausgang des Brennstoffzellenstapels (102) verbunden und derart angeordnet ist, um den Stapel (102) und die Wasserversorgung (150) zu erwärmen;
einen Umgebungstemperatursensor (164); und
eine Steuerung (160), die das Wasserstoffversorgungsventil (122) und das Gebläse (110) steuert, um die Heizeinrichtung (136, 148) so zu betreiben, dass der Brennstoffzellenstapel (102) und die Wasserversorgung (150) erwärmt werden, wobei...



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Energiemanagementsystem sowie -verfahren zur Steuerung der Temperatur eines Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 13. Insbesondere befasst sich die Erfindung mit Energiemanagementsystemen und -verfahren für Brennstoffzellensysteme für kalte Umgebungen.

**[0002]** Brennstoffzellensysteme werden zunehmend bei einer breiten Vielzahl von Anwendungen als Energiequelle verwendet. Brennstoffzellensysteme sind auch zur Verwendung in Fahrzeugen als Ersatz für Verbrennungsmotoren vorgeschlagen worden. Eine Brennstoffzelle mit Festpolymerelektrolytmembran (PEM) umfasst eine Membran, die lagenartig zwischen einer Anode und einer Kathode angeordnet ist. Um Elektrizität durch eine elektrochemische Reaktion erzeugen zu können, wird Wasserstoff ($H_2$) an die Anode und Sauerstoff ($O_2$) an die Kathode geliefert.

**[0003]** Bei einer Halbzellenreaktion erzeugt eine Aufspaltung des Wasserstoffs $H_2$ an der Anode Wasserstoffprotonen $H^+$ und Elektronen $e^-$. Die Membran ist protonenleitend und wirkt dielektrisch. Aufgrund dessen werden die Protonen durch die Membran transportiert, während die Elektronen durch eine elektrische Last fließen, die über die Membran geschaltet ist. Bei einer zweiten Halbzellenreaktion reagiert Sauerstoff $O_2$ an der Kathode mit Protonen $H^+$, und Elektronen $e^-$ werden aufgenommen, um Wasser $H_2O$ zu bilden.

**[0004]** Bei der Entwicklung von Verbrennungsmotoren ist dem Betrieb von Verbrennungsmotoren bei kaltem Wetter große Aufmerksamkeit gewidmet worden. Da Brennstoffzellen für eine breite kommerzielle Anwendung realisierbar geworden sind, werden die Leistungseigenschaften von Brennstoffzellen bei kaltem Wetter immer wichtiger. Fahrzeughersteller müssen auf Kundenwünsche und -erwartungen eingehen, um die Akzeptanz von Brennstoffzellen sicherzustellen. Einige dieser Wünsche bzw. Anforderungen umfassen einen erschwinglichen Kaufpreis wie auch erschwingliche Betriebskosten, einen zuverlässigen wie auch sicheren Betrieb, eine mit dem Verkehrsgeschehen kompatible Leistungsbereich, wie beispielsweise Beschleunigen und Bremsen, Nutzlast wie auch Umgebungstemperaturtoleranz.

**[0005]** Die Spezifikation der Umgebungstemperaturtoleranz für Fahrzeuge umfasst typischerweise Temperaturen zwischen –40°C und 52°C. Beispielsweise erfordern Kaltwetterspezifikationen für Verbrennungsmotoren typischerweise, dass ein Motor innerhalb von 30 Sekunden Anlasszeit starten muss, wobei die Front- und Heckscheibenentfroster in Betrieb sind. Diese Spezifikationen erfordern auch einen stabilen Betrieb bei niedrigen Umgebungstemperaturen, wie beispielsweise –40°C nach einem Durchkühlen über eine Zeitdauer von 8 Stunden bei der niedrigen Umgebungstemperatur. Kurz nach dem Starten sollte das Fahrzeug in der Lage sein, mit variierenden Beschleunigungsraten, einschließlich einer weit geöffneten Drosselklappe, wegzufahren. Für Brennstoffzellenfahrzeuge ist es vermutlich ebenfalls erforderlich, dass sie auch ähnliche Kaltwetterspezifikationen erfüllen müssen, um die Kundenerwartungen zufrieden zu stellen.

**[0006]** Kunden erwarten, dass Kraftfahrzeuge auch bei frostigem Wetter betrieben werden können. Für einen Kaltwetterbetrieb der Brennstoffzelle stellt flüssiges und dampfförmiges Wasser innerhalb des Brennstoffzellensystems ein Hauptproblem dar. Das Kühlsystem verwendet typischerweise deionisiertes Wasser. Die Befeuchtungssysteme des Brennstoffzellenstapels wie auch die Wassererzeugung an der Kathode während des Betriebs stellen allgemein sicher, dass Wasser in nahezu allen Teilen des Brennstoffzellenstapels während Standzeiten in einem flüssigen oder dampfförmigen Zustand vorhanden ist. Bei einem Druck von einer Atmosphäre und Temperaturen unterhalb 0°C gefriert Wasser und kann die Durchflussgänge des Brennstoffzellenstapels blockieren. Diese Blockagen können sich ausdehnen und den Brennstoffzellenstapel beschädigen und/oder die Kühl- und Befeuchtungssysteme betriebsunfähig machen.

**[0007]** Es existieren viele Vorgehensweisen, um ein Gefrieren in einem Brennstoffzellensystem während seines Betriebs und/oder als Teil des Startprozesses zu verhindern. Mit mehreren verschiedenen Vorgehensweisen steht ein passiver Gefrierschutz in Verbindung. Eine Vorgehensweise minimiert die Gefahr eines Gefrierens durch Minimierung der Verwendung von Wasserkühlmittel. Das Wasserkühlmittel kann durch eine gefrierfeste Wärmeübertragungsflüssigkeit ersetzt werden, die nicht elektrisch leitend ist. Verschiedene große Brennstoffzellenlieferanten arbeiten auf diesem Gebiet. Eine andere Option, um das reine Wasserkühlmittel zu begrenzen, besteht darin, mit getrennten Stapel- und Kühler- Kühlmittelschleifen unter Verwendung eines Flüssig/Flüssig-Wärmetauschers zu arbeiten. Diese Vorgehensweise erhöht jedoch die Kosten, das Gewicht wie auch das Volumen.

**[0008]** Eine andere Vorgehensweise betrifft die Entfernung von Wasser von dem Brennstoffzellensystem, um einen Schaden infolge von Gefrieren zu verhindern, während die Brennstoffzelle nicht arbeitet. Der Großteil des flüssigen Wassers in dem Brennstoffzellenstapel kann bei einer Systemabschaltung unter Verwendung einer über Schwerkraft erfolgenden Selbstentleerung entfernt werden. Restliches

Wasser in dem Stapel kann durch Durchblasen von trockener, entfeuchteter Luft durch den Brennstoffzellenstapel kurz vor der Systemabschaltung entfernt werden. Bei diesen Systemen muss Wasser hinzugesetzt werden, bevor die Brennstoffzelle betrieben werden kann.

**[0009]** Bei anderen Vorgehensweisen wird um den gesamten Brennstoffzellenstapel und das Wasserreservoir herum eine thermische Isolierung angebracht, um einen Wärmeverlust während des Betriebs wie auch während Standzeiten zu verringern. Die Isolierung ist oftmals in das Gehäuse des Brennstoffzellenstapels integriert. Diese Vorgehensweise erhöht jedoch das Stapelvolumen wie auch das Stapelgewicht. Da das Brennstoffzellenstapelgewicht die Fahrzeugleistung, die installierten Leistungsanforderungen wie auch die Kosten nachteilig beeinflusst, ist es für Fahrzeuglieferanten besonders interessant, andere Vorgehensweisen zu verwenden, die das Stapelgewicht nicht erhöhen. Eine Verringerung des Gewichts des Brennstoffzellenstapels verringert die thermisch wirksame Masse, verringert Aufwärmzeiten, verringert jedoch auch Abkühlzeiten.

**[0010]** Andere Vorgehensweisen verfolgen den Betrieb der Brennstoffzelle, um Abwärme zu erzeugen, die dazu verwendet wird, den Brennstoffzellenstapel als Teil des Startprozesses aufzuwärmen. Die Vorteile dieses Systems umfassen eine relativ einfache Konstruktion, die typischerweise keine Systemänderung erfordert. Nachteile dieses Systems betreffen jedoch das Erfordernis nach langen Aufwärmzeiten bei frostigen Temperaturen, da die Energie des Brennstoffzellenstapels relativ niedrig ist. Dieses System taut jedoch auch kein Eis direkt in den Anoden- und Kathodendurchflusskanälen. Dieses System ist auch nicht auf den Schaden gerichtet, der aufgrund von Gefrieren auftreten kann, wenn die Brennstoffzelle in dem Fahrzeug nicht arbeitet.

**[0011]** Andere Systeme verwenden heiße Luft von einem Kompressor, um Eis in den Anoden- und Kathodendurchflusskanälen zu schmelzen und die MEA während des Betriebs und/oder als Teil des Startprozesses zu erwärmen. Die heiße Luft ist typischerweise warmer als 90°C und ist relativ schnell verfügbar. Heiße Luft wärmt alle Abschnitte der Kathode. Die Nachteile betreffen jedoch die Tatsache, dass aus der Luft nicht genügend Heizleistung abgeleitet werden kann (die thermisch wirksame Masse der Membranelektrodenanordnung ist jedoch sehr gering).

**[0012]** Andere Systeme verwenden Wasserstoff/Luft-Brenner, um das Stapelkühlmittel aufzuwärmen, das seinerseits den Brennstoffzellenstapel wärmt. Vorteile dieses Aufwärmsystems umfassen die Erzeugung einer großen Menge an qualitativ hochwertiger Wärme. Die Abwärme kann dazu verwendet werden, den Insassenraum aufzuwärmen. Die Nachteile betreffen jedoch die Verringerung der Brennstoffwirtschaftlichkeit wie auch das Erfordernis nach Wasserstoff/Luft-Brennern, die zu dem Gewicht, dem Volumen wie auch den Kosten des Brennstoffzellensystems beitragen.

**[0013]** Die meisten der bisherigen Systeme betreffen das Aufwärmen des Brennstoffzellenstapels beim Start oder während des Fahrzeugsbetriebs, verhindern jedoch keinen Schaden, der bewirkt wird, wenn der Brennstoffzellenstapel bei niedrigen Umgebungstemperaturen in einem Stand- oder ausgeschalteten Zustand ist. Systeme, die auf das Problem des Standzustandes gerichtet sind, umfassen oftmals externe einsteckbare Widerstandsheizeinrichtungen bzw. Heizwiderstände. Während Verbraucher einsteckbare Heizer für Temperaturen unterhalb –20°C akzeptiert haben, ist die Notwendigkeit nach einsteckbaren Heizern für Temperaturen zwischen –20°C und 0°C kommerziell vermutlich nur schwer oder gar nicht zu vermitteln. Andere Lösungen umfassen eine geheizte Garage, deren kommerzielle Akzeptanz vermutlich ebenfalls nur schwer zu erreichen sein wird.

**[0014]** Die US 6 479 177 B1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche zur Ausschaltung eines Elektrizitätserzeugungssystems, um den Kaltanlauf einer Brennstoffzelle zu verbessern.

**[0015]** Die DE 696 03 608 T2 offenbart ein Temperaturregelungssystem für ein Fahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb.

**[0016]** Die DE 100 00 514 A1 und die DE 198 25 286 C2 offenbaren Brennstoffzellensysteme, in denen Temperaturüberwachungssensoren im Inneren der Brennstoffzelle und für die Umgebungstemperatur des Systems integriert sind.

**[0017]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit denen einfrierendes Wasser in einem Brennstoffzellensystem verhindert wird, während das Fahrzeug nicht läuft.

**[0018]** Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch ein Energiemanagementsystem entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Energiemanagementverfahren entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 11.

**[0019]** Ein Energiemanagementsystem gemäß der Erfindung steuert die Temperatur einer Brennstoffzelle eines Fahrzeugs, während das Fahrzeug nicht läuft. Das Energiemanagementsystem umfasst einen Brennstoffzellenstapel, ein Gebläse, das Luft an den Brennstoffzellenstapel liefert, eine Wasserversorgung wie auch eine Wasserstoffversorgung. Ein

Wasserstoffversorgungsventil ist zwischen die Wasserversorgung und den Brennstoffzellenstapel geschaltet. Ein Heizer ist mit einem Ausgang des Brennstoffzellenstapels verbunden. Eine Steuerung steuert das Wasserstoffversorgungsventil und das Gebläse, um den Heizer so zu betreiben, dass der Brennstoffzellenstapel und die Wasserversorgung erwärmt wird, während das Fahrzeug nicht läuft.

**[0020]** Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die Heizeinrichtung ein Heizwiderstand. Ein Drucksensor erzeugt ein Wasserstoffdrucksignal für die Wasserstoffversorgung und ist mit der Steuerung verbunden. Ein Stapeltemperatursensor ist mit der Steuerung verbunden und erzeugt ein Stapeltemperatursignal. Die Steuerung bestimmt basierend auf der Stapeltemperatur, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Wasserstoffdrucksignal einen ersten Druckwert überschreitet. Die Steuerung startet das Gebläse und öffnet das Wasserstoffversorgungsventil, wenn das Heizen notwendig ist, bis das Stapeltemperatursignal einen ersten Stapeltemperaturwert überschreitet.

**[0021]** Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erzeugt ein Umgebungstemperatursensor ein Umgebungstemperatursignal. Ein Wassertanksensor erzeugt ein Wassertemperatursignal. Die Steuerung verwendet das Stapeltemperatursignal, das Umgebungstemperatursignal und das Wassertemperatursignal, um auf eine Nachschlagetabelle zuzugreifen und daraus zu bestimmen, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Drucksignal einen ersten Druckwert nicht überschreitet.

**[0022]** Bei einer weiteren Ausführungsform erzeugt ein Wasserstofftankpegelsensor ein Tankpegelsignal. Die Steuerung startet das Gebläse und öffnet das Wasserstoffversorgungsventil, wenn ein Heizen notwendig ist und wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert überschreitet. Die Steuerung setzt das Heizen solange fort, bis das Stapeltemperatursignal einen ersten Stapeltemperaturwert überschreitet. Die Steuerung aktiviert ein Spülen, lässt Wasser von der Wasserversorgung ab und verhindert einen Fahrzeugstart, wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert nicht überschreitet.

**[0023]** Weitere Anwendungsgebiete der vorliegenden Erfindung werden aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung offensichtlich. Es sei zu verstehen, dass die detaillierte Beschreibung wie auch die spezifischen Beispiele, während sie die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darlegen, nur zu Veranschaulichungszwecken bestimmt und nicht dazu bestimmt sind, den Schutzumfang der Erfindung zu beschränken.

**[0024]** Die vorliegende Erfindung ist im Folgenden nur beispielhaft unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in welchen:

**[0025]** Fig. 1 eine beispielhafte Membranelektrodenanordnung (MEA) einer Brennstoffzelle zeigt;

**[0026]** Fig. 2 ein Energiemanagementsystem für Brennstoffzellen für kalte Umgebungen gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt; und

**[0027]** Fig. 3 Schritte zum Betrieb des Energiemanagementsystems für Brennstoffzellen von Fig. 2 zeigt.

**[0028]** Die folgende Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform(en) ist lediglich beispielhafter Natur und nicht dazu bestimmt, die Erfindung, ihre Anwendung oder ihren Gebrauch zu beschränken.

**[0029]** In Fig. 1 ist ein Schnitt einer Brennstoffzellenanordnung **10** gezeigt, die eine Membranelektrodenanordnung (MEA) **12** umfasst. Bevorzugt ist die MEA **12** eine Protonenaustauschmembran (PEM). Die MEA **12** umfasst eine Membran **14**, eine Kathode **16** und eine Anode **18**. Die Membran **14** ist lagenartig zwischen einer inneren Fläche der Kathode **16** und einer inneren Fläche der Anode **18** angeordnet. Ein Kathodendiffusionsmedium **20** ist benachbart einer Außenfläche der Kathode **16** angeordnet. Ein Anodendiffusionsmedium **24** ist benachbart einer Außenfläche der Anode **18** angeordnet. Die Brennstoffzellenanordnung **10** umfasst ferner eine Kathodendurchflussleitung **26** und eine Anodendurchflussleitung **28**. Die Kathodendurchflussleitung **26** empfängt und lenkt Sauerstoff $O_2$ von einer Quelle an das Kathodendiffusionsmedium **20**. Die Anodendurchflussleitung **28** empfängt und lenkt Wasserstoff $H_2$ von einer Quelle an das Anodendiffusionsmedium **24**.

**[0030]** Bei der Brennstoffzellenanordnung **10** ist die Membran **14** eine für Kationen durchlässige, protonenleitende Membran mit $H^+$-Ionen als dem mobilen Ion. Das Brennstoffgas ist Wasserstoff ($H_2$), und das Oxidationsmittel ist Sauerstoff ($O_2$). Die Gesamtzellenreaktion besteht aus der Oxidation von Wasserstoff zu Wasser, und die jeweiligen Reaktionen an der Anode **18** und der Kathode **16** verlaufen wie folgt:

$$H_2 = 2H^+ + 2\,e^-$$

$$0{,}5\,O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- = H_2O$$

**[0031]** Da als Brennstoffgas Wasserstoff verwendet wird, ist das Produkt der Gesamtzellenreaktion Wasser. Typischerweise wird das Wasser, das erzeugt wird, an der Kathode **16** abgegeben, die eine poröse Elektrode mit einer Elektrokatalysatorlage auf der Sauerstoffseite ist. Das Wasser kann, wenn es gebildet wird, gesammelt und von der MEA **12** der Brennstoffzellenanordnung **10** auf eine beliebige herkömmliche Art und Weise weggeführt werden.

**[0032]** Die Zellenreaktion erzeugt einen Protonenaustausch in einer Richtung von einem Anodendiffusionsmedium **24** zu dem Kathodendiffusionsmedium **20**. Auf diese Art und Weise erzeugt die Brennstoffzellenanordnung **10** Elektrizität. Eine elektrische Last **30** ist elektrisch über die MEA **12** an eine Platte **32** und eine Platte **34** geschaltet. Wenn die Platten **32** und **34** neben einer anderen Brennstoffzelle liegen, sind die Platten **32** und/oder **34** bipolar. Wenn sich benachbart dazu keine weitere Brennstoffzelle befindet, sind die Platten **32** und/oder **34** Endplatten.

**[0033]** In Fig. 2 ist ein Energiemanagementsystem für eine Brennstoffzelle gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt und allgemein mit **100** bezeichnet. Ein Brennstoffzellenstapel **102** umfasst eine Anodendurchflussleitung **104** und eine Kathodendurchflussleitung **106**. Ein Temperatursensor **108** misst eine Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels **102**. Ein Gebläsemotor **110** liefert Luft **112** an die Kathodendurchflussleitung **106**. Luft, die die Kathodendurchflussleitung **106** verlässt, wird an einen Austrag **116** geführt. Ein Speichertank **120** für flüssigen Wasserstoff liefert Wasserstoff an die Anodendurchflussleitung **104** durch ein Ventil (R) **122**. Der Wasserstoffspeichertank **120** speichert flüssigen Wasserstoff bei Temperaturen unterhalb –250°C. Der Wasserstoffspeichertank **120** ist bevorzugt ein isolierter und verstärkter Tank, der aus einem Verbundmaterial besteht. Ein Drosselventil **126** und ein Rückschlagventil (V) **128** werden periodisch geöffnet, um einen Druck zu entlasten und das System "aufstoßen" bzw. "rülpsen" ("burp") zu lassen. Optional kann an einem Auslassende der Anodendurchflussleitung **104** ein Absperrventil (V) **129** vorgesehen sein.

**[0034]** Der Brennstoffzellenstapel **102** umfasst einen Anodenanschluss **130** und einen Kathodenanschluss **132**. Wenn Wasserstoff und Luft an die Anodendurchflussleitung **104** bzw. die Kathodendurchflussleitung **106** geliefert werden, erzeugt der Brennstoffzellenstapel **102** eine Spannung über den Anodenanschluss und den Kathodenanschluss **132**. Bei Normalbetrieb liefert der Brennstoffzellenstapel **102** Strom an eine oder mehrere Batterien, Motoren oder andere Lasten (in Fig. 2 nicht gezeigt).

**[0035]** Ein Ende eines ersten Heizwiderstands **136** ist mit dem Kathodenanschluss **132** verbunden. Der erste Heizwiderstand **136** ist bevorzugt in der Nähe des Brennstoffzellenstapels **102** angeordnet. Ein entgegengesetztes Ende des ersten Heizwiderstands **136** ist mit einem Magnetschalter (S) **140** verbunden. Ein zweiter Magnetschalter (S) **142** ist zwischen eine Sicherung **146** und den Anodenanschluss **130** geschaltet. Ein zweiter Heizwiderstand **148** ist in der Nähe eines Wassertanks **150** angeordnet, der Wasser speichert. Bei einer bevorzugten Betriebsart sind der zweite Heizwiderstand **148** und der Wassertank **150** in einem Behälter **152** angeordnet. Ein Temperatursensor (T) **154** erfasst die Temperatur des Wassers in dem Wassertank **150**. Ein Magnetventil (V) **156** steuert den Durchfluss von Wasser von dem Wassertank **150**.

**[0036]** Eine Brennstoffzellensteuerung **160**, die die Brennstoffzellentemperatur und -energie verwaltet, umfasst einen Mikroprozessor, einen Speicher (wie beispielsweise einen Nur-Lese-Speicher, einen Direktzugriffsspeicher und/oder einen Flash-Speicher), und eine Ein-/Ausgabeschnittstelle (I/O-Schnittstelle) (alle nicht gezeigt). Die Brennstoffzellensteuerung **160** ist mit einem Umgebungstemperatursensor (T) **164** verbunden, der ein Umgebungstemperatursignal erzeugt. Eine Kalibrierungsnachschlagetabelle **162**, die mit der Brennstoffzellensteuerung **160** verbunden ist, definiert eine Beziehung zwischen der inneren Stapeltemperatur, der Umgebungstemperatur, der Wassertanktemperatur wie auch der Notwendigkeit zu Heizen, wenn das Fahrzeug geparkt ist und nicht läuft. Die Brennstoffzellensteuerung **160** ist mit einer Fahrzeugsteuerung **170** verbunden. Die Fahrzeugsteuerung **170** liefert Signale, die angeben, ob das Fahrzeug parkt und/oder ob das Fahrzeug läuft. Ein Drucksensor (P) **174** liefert ein Drucksignal für den Wasserstoff, der in dem Wasserstoffspeichertank **120** gespeichert ist. Ein Tankpegelsensor **176** (L) liefert ein Tankpegelsignal, das den Pegel des Wasserstoffs in dem Wasserstoffspeichertank **120** angibt.

**[0037]** In Fig. 3 sind Schritte zum Betrieb der Brennstoffzellensteuerung **160** gezeigt, die allgemein mit **200** bezeichnet sind. Die Steuerung beginnt bei Schritt **202**. Bei Schritt **204** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob das Fahrzeug läuft. Wenn das Fahrzeug läuft, fährt die Steuerung zurück zu Schritt **204**. Aus Sicherheitsgründen erfolgt das Temperatur- und Energiemanagement nicht, wenn das Fahrzeug läuft oder nicht parkt. Wenn das Fahrzeug nicht läuft, fährt die Steuerung mit Schritt **208** fort, bei dem die Brennstoffzellensteuerung **160** bestimmt, ob das Fahrzeug parkt. Wenn dies nicht der Fall ist, fährt die Steuerung zurück zu Schritt **204**. Die Brennstoffzellensteuerung **160** erhält die Lauf- und Parkstatusinformation bevorzugt von der Fahrzeugsteuerung **170**.

**[0038]** Wenn das Fahrzeug parkt und nicht läuft, fährt die Steuerung mit Schritt **210** fort. Bei Schritt **212** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob der Druck P den maximalen Druck $P_{max}$ überschreitet. Wenn der gemessene Druck P den maximalen Druck $P_{max}$ überschreitet, fährt die Steuerung mit Schritt **218** fort. Bei Schritt **218** misst die Brennstoffzellensteuerung **160** die Stapeltemperatur unter Verwendung des Stapeltemperatursensors **108**. Bei Schritt **220** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob ein Heizen des Brennstoffzellenstapels **102** und der Wasserversorgung **150** notwendig ist. Wenn ein zusätzliches Heizen notwendig ist, fährt die Steuerung

mit Schritt **222** fort. Bei Schritt **222** startet die Brennstoffzellensteuerung **160** den Gebläsemotor **110** und aktiviert einen Wasserstoffdurchfluss durch Verwendung des Wasserstoffversorgungsventils **122**. Die Steuerung fährt so lange mit den Schritten **218** und **220** fort, bis das Heizen nicht mehr notwendig ist. Anschließend fährt die Steuerung mit Schritt **224** fort, bei dem die Brennstoffzellensteuerung **160** den Gebläsemotor **110** stoppt und den Wasserstoffdurchfluss unter Verwendung des Wasserstoffversorgungsventils **122** deaktiviert. Bei Schritt **226** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob $P > P_{max}$. Wenn dies der Fall ist, aktiviert die Brennstoffzellensteuerung **160** bei Schritt **228** eine Wasserstoffspülung, und die Steuerung fährt mit Schritt **204** fort. Wenn P nicht größer als $P_{max}$ ist, fährt die Steuerung von Schritt **226** mit Schritt **204** fort.

**[0039]** Wenn der gemessene Druck P den maximalen Druck $P_{max}$ nicht überschreitet, wie bei Schritt **212** bestimmt ist, fährt die Steuerung mit Schritt **230** fort, bei dem die Brennstoffzellensteuerung **160** die Stapeltemperatur, die Umgebungstemperatur und die Wassertemperatur misst. Bei Schritt **234** verwendet die Brennstoffzellensteuerung **160** die gemessenen Temperaturen zum Zugriff auf die Nachschlagetabelle **162** oder Kalibrierungstabelle. Bei Schritt **238** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160** unter Verwendung der Nachschlagetabelle **162**, ob ein Heizen notwendig ist. Wenn ein Heizen nicht notwendig ist, fährt die Brennstoffzellensteuerung **160** zu Schritt **204** fort. Ansonsten fährt die Brennstoffzellensteuerung **160** mit Schritt **244** fort, bei dem die Brennstoffzellensteuerung **160** den Pegel des Wasserstoffspeichertanks **120** unter Verwendung des Pegelsensors **176** misst.

**[0040]** Bei Schritt **246** bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob ausreichend Wasserstoff verfügbar ist. Wenn dies der Fall ist, fährt die Brennstoffzellensteuerung **160** mit Schritt **218** fort. Wenn nicht ausreichend Wasserstoff verfügbar ist, fährt die Brennstoffzellensteuerung **160** mit Schritt **250** fort und aktiviert eine Spülung. Bei Schritt **252** wird Wasser von dem Wassertank unter Verwendung des Ventils **156** abgelassen. Bei Schritt **254** wird ein Motorstart verhindert, um einen Schaden an dem Brennstoffzellenstapel zu verhindern. Schritt **254** wird bevorzugt dadurch erreicht, dass ein Hemm- oder Deaktivierungssignal von der Brennstoffzellensteuerung **160** an die Fahrzeugsteuerung **170** gesendet wird.

**[0041]** Vor dem Betrieb der Brennstoffzelle zur Erzeugung von Wärme bestätigt die Brennstoffzellensteuerung **160**, dass das Fahrzeug nicht läuft und geparkt ist. Diese Schritte verhindern einen für das Brennstoffzellensystem gefährlichen Betrieb. Anschließend bestimmt die Brennstofzellensteuerung **160**, ob der Wasserstoffdruck P über $P_{max}$ liegt. Wenn $P > P_{max}$, dann betreibt die Brennstoffzellensteuerung **160** den Brennstoffzellenstapel **102** durch Einleiten des Durchflusses aus Luft und Wasserstoff.

**[0042]** Die Brennstoffzellensteuerung **160** betreibt den Brennstoffzellenstapel **102** solange, bis die erwünschte Aufheizung erfolgt ist. Anschließend stoppt die Brennstoffzellensteuerung **160** das Gebläse und deaktiviert den Wasserstoffdurchfluss.

**[0043]** Wenn der Wasserstoffdruck P kleiner als $P_{max}$ ist, misst die Brennstoffzellensteuerung **160** die innere Stapeltemperatur, die Umgebungstemperatur und die Wassertanktemperatur und bestimmt, ob ein Heizen notwendig ist. Wenn ein Heizen notwendig ist, bestimmt die Brennstoffzellensteuerung **160**, ob ausreichend Wasserstoff verfügbar ist. Wenn dies nicht der Fall ist, spült die Brennstoffzellensteuerung **160** das System, lässt Wasser von dem Wassertank ab und verhindert einen Motorstart, um einen Schaden infolge eines Gefrierens zu verhindern.

**[0044]** Wie aus dem vorhergehenden offensichtlich wird, verhindert das Energiemanagementsystem für eine Brennstoffzelle gemäß der vorliegenden Erfindung einen Schaden an dem Brennstoffzellenstapel und anderen Systemkomponenten infolge kalter Umgebungen. Zusätzlich verringert die vorliegende Erfindung durch Verwalten der Temperatur des Brennstoffzellenstapels, wenn das Fahrzeug parkt und nicht läuft, die Zeitdauer, die erforderlich ist, um das Brennstoffzellensystem auf typische Betriebstemperaturen zu erwärmen. Ferner löst das Energiemanagementsystem für Brennstoffzellen gemäß der vorliegenden Erfindung das Problem von gefrierendem Wasser bei niedrigen Umgebungstemperaturen ohne Erhöhung des Gewichtes oder Volumens.

**[0045]** Für Fachleute wird aus der vorhergehenden Beschreibung offensichtlich, dass die breiten Lehren der vorliegenden Erfindung in einer Vielzahl von Arten ausgeführt werden können. Daher ist, während diese Erfindung in Verbindung mit bestimmten Beispielen beschrieben worden ist, der echte Schutzumfang der Erfindung nicht darauf begrenzt, da für Fachleute nach einem Studium der Zeichnungen, der Beschreibung der nun folgenden Ansprüche auch andere Abwandlungen offensichtlich sind.

## Patentansprüche

1. Energiemanagementsystem (**100**) zur Steuerung der Temperatur eines Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug, wenn das Fahrzeug nicht läuft und geparkt ist, mit
einem Brennstoffzellenstapel (**102**);
einer Wasserversorgung (**150**);
einer Wasserstoffversorgung (**120**);
einem Wasserstoffversorgungsventil (**122**), das zwischen die Wasserstoffversorgung (**120**) und den

Brennstoffzellenstapel (**102**) geschaltet ist;
gekennzeichnet durch:
einen Temperatursensor (**108**) zur Erfassung der Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels (**102**);
ein Gebläse (**110**), das Luft an den Brennstoffzellenstapel (**102**) liefert;
einen Temperatursensor (**154**) zur Erfassung der Temperatur des Wassers in der Wasserversorgung (**150**);
eine Heizeinrichtung (**136**, **148**), die mit einem Ausgang des Brennstoffzellenstapels (**102**) verbunden und derart angeordnet ist, um den Stapel (**102**) und die Wasserversorgung (**150**) zu erwärmen;
einen Umgebungstemperatursensor (**164**); und
eine Steuerung (**160**), die das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) und das Gebläse (**110**) steuert, um die Heizeinrichtung (**136**, **148**) so zu betreiben, dass der Brennstoffzellenstapel (**102**) und die Wasserversorgung (**150**) erwärmt werden, wobei die Steuerung (**160**) basierend auf der Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels (**102**), der Temperatur des Wassers und der Umgebungstemperatur bestimmt, ob ein Heizen der Wasserversorgung oder des Brennstoffzellenstapels notwendig ist, um einfrierendes Wasser in dem System (**100**) zu verhindern, während das Fahrzeug nicht läuft.

2. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizeinrichtung (**136**, **148**) ein Heizwiderstand ist.

3. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Drucksensor (**174**), der ein Wasserstoffdrucksignal für die Wasserstoffversorgung (**120**) erzeugt und mit der Steuerung (**160**) verbunden ist.

4. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) basierend auf der Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels (**102**) bestimmt, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Wasserstoffdrucksignal einen ersten Druckwert überschreitet.

5. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) das Gebläse (**110**) startet und das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) öffnet, wenn ein Heizen notwendig ist, bis die Innentemperatur einen ersten Stapeltemperaturwert überschreitet.

6. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) eine Nachschlagtabelle aufweist und die Innentemperatur, das Umgebungstemperatursignal und das Wassertemperatursignal zum Zugriff auf die Nachschlagetabelle verwendet, um zu bestimmen, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Drucksignal einen ersten Druckwert nicht überschreitet.

7. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch einen Sensor für den Wasserstofftankpegel, der ein Tankpegelsignal erzeugt.

8. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) das Gebläse (**110**) startet und das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) öffnet, wenn ein Heizen notwendig ist und wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert überschreitet.

9. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) das Heizen solange fortsetzt, bis die Innentemperatur einen ersten Stapeltemperaturwert überschreitet.

10. Energiemanagementsystem (**100**) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**160**) einen Spülvorgang aktiviert, Wasser von der Wasserversorgung ablässt und ein Einleiten der Lastanforderung verhindert, wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert nicht überschreitet.

11. Energiemanagementverfahren zur Steuerung der Temperatur eines Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug, das zumindest einen Brennstoffzellenstapel (**102**), einen Temperatursensor (**108**) zur Erfassung der Innentemperatur des Brennstoffzellenstapels (**102**), ein Gebläse (**110**), eine Wasserversorgung (**150**), einen Temperatursensor (**154**) zur Erfassung der Temperatur des Wassers in der Wasserversorgung, eine Wasserstoffspeichervorrichtung (**120**), ein Wasserstoffversorgungsventil (**122**), und eine Heizeinrichtung (**136**, **148**), die mit einem Ausgang des Brennstoffzellenstapels (**102**) verbunden ist, einen Umgebungstemperatursensor (**164**) und eine Steuerung (**160**) umfasst;
dadurch gekennzeichnet, dass
die Steuerung (**160**) mit dem Wasserstoffversorgungsventil (**122**), dem Gebläse (**110**) und der Heizeinrichtung (**136**, **148**) verbunden wird; und
während das Fahrzeug nicht läuft, der Heizbedarf der Wasserversorgung (**150**) oder des Brennstoffzellenstapels (**102**) auf Grundlage der Innentemperatur, der Temperatur des Wassers in der Wasserversorgung (**150**) und der Umgebungstemperatur bestimmt wird, um einfrierendes Wasser in dem System zu verhindern, und das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) und das Gebläse (**110**) gesteuert werden, um Wärme zu erzeugen, die den Brennstoffzellenstapel (**102**) und die Wasserversorgung (**150**) erwärmt, um einfrierendes Wasser in dem System zu verhindern.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass als Heizeinrichtung (**136**, **148**) ein Heizwiderstand verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch ge-

kennzeichnet, dass:
ein Wasserstoffdrucksignal der Wasserstoffversorgung (**120**) unter Verwendung eines Drucksensors (**174**) erzeugt wird, der mit der Steuerung (**160**) verbunden ist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass bestimmt wird, ob das Drucksignal einen ersten Druckwert überschreitet; und basierend auf der Innentemperatur bestimmt wird, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Drucksignal den ersten Druckwert überschreitet.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Gebläse (**110**) gestartet und das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) geöffnet wird, wenn ein Heizen notwendig ist, bis die Innentemperatur einen ersten Stapeltemperaturwert erreicht.

16. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Innentemperatur, das Umgebungstemperatursignal und das Wassertemperatursignal zum Zugriff auf eine Nachschlagetabelle verwendet werden, um zu bestimmen, ob ein Heizen notwendig ist, wenn das Drucksignal einen ersten Druckwert nicht überschreitet.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein Tankpegelsignal unter Verwendung eines Sensors für den Wasserstofftankpegel erzeugt und von der Steuerung (**160**) berücksichtigt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Gebläse (**110**) gestartet und das Wasserstoffversorgungsventil (**122**) geöffnet wird, wenn ein Heizen notwendig ist, bis die Innentemperatur einen ersten Stapeltemperaturwert erreicht, und wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert überschreitet.

19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein Spülvorgang aktiviert wird, Wasser von der Wasserspeichervorrichtung (**150**) abgelassen wird und das Einleiten einer Lastanforderung verhindert wird, wenn das Tankpegelsignal einen ersten Tankpegelwert nicht überschreitet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

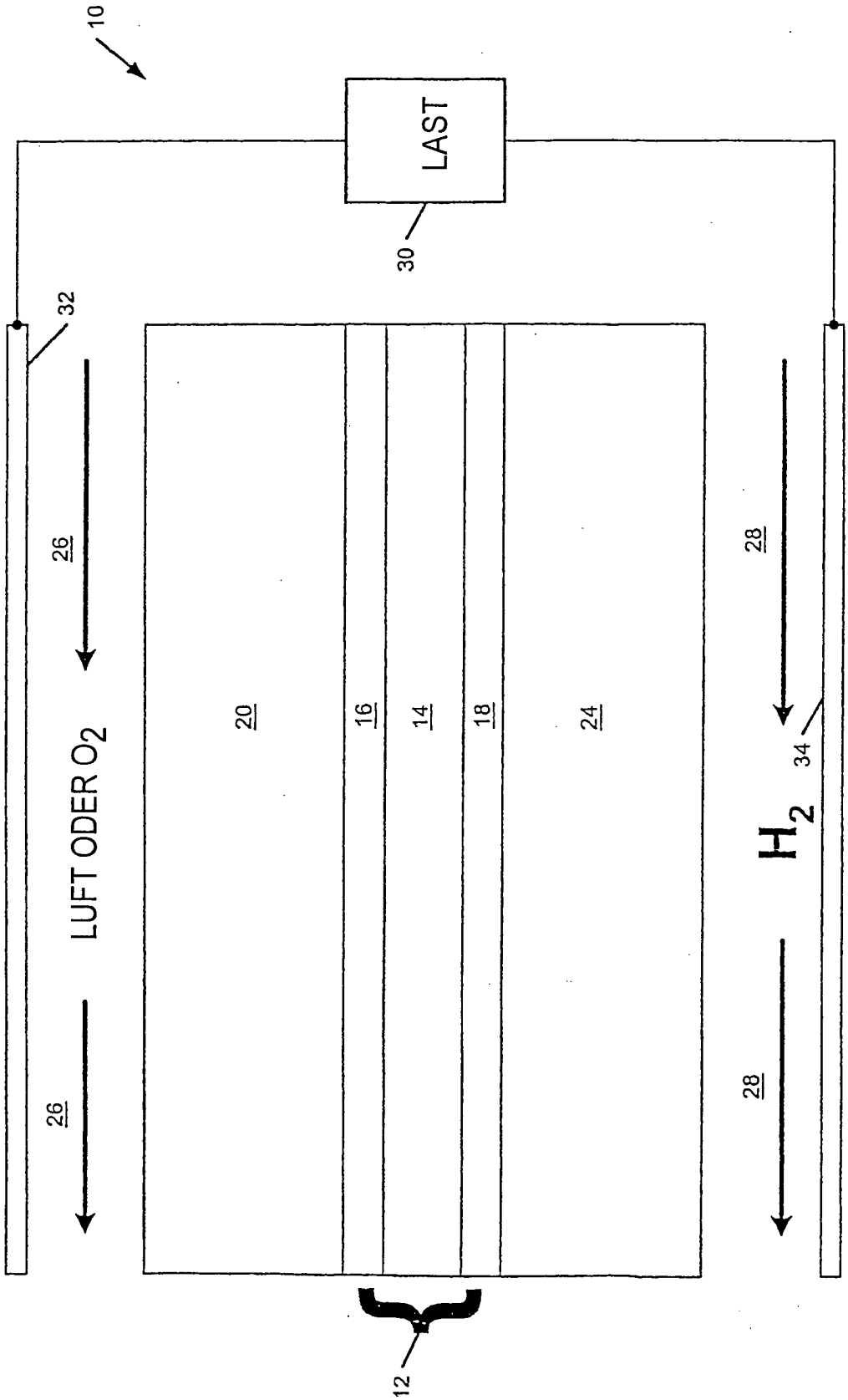



FIG. 1

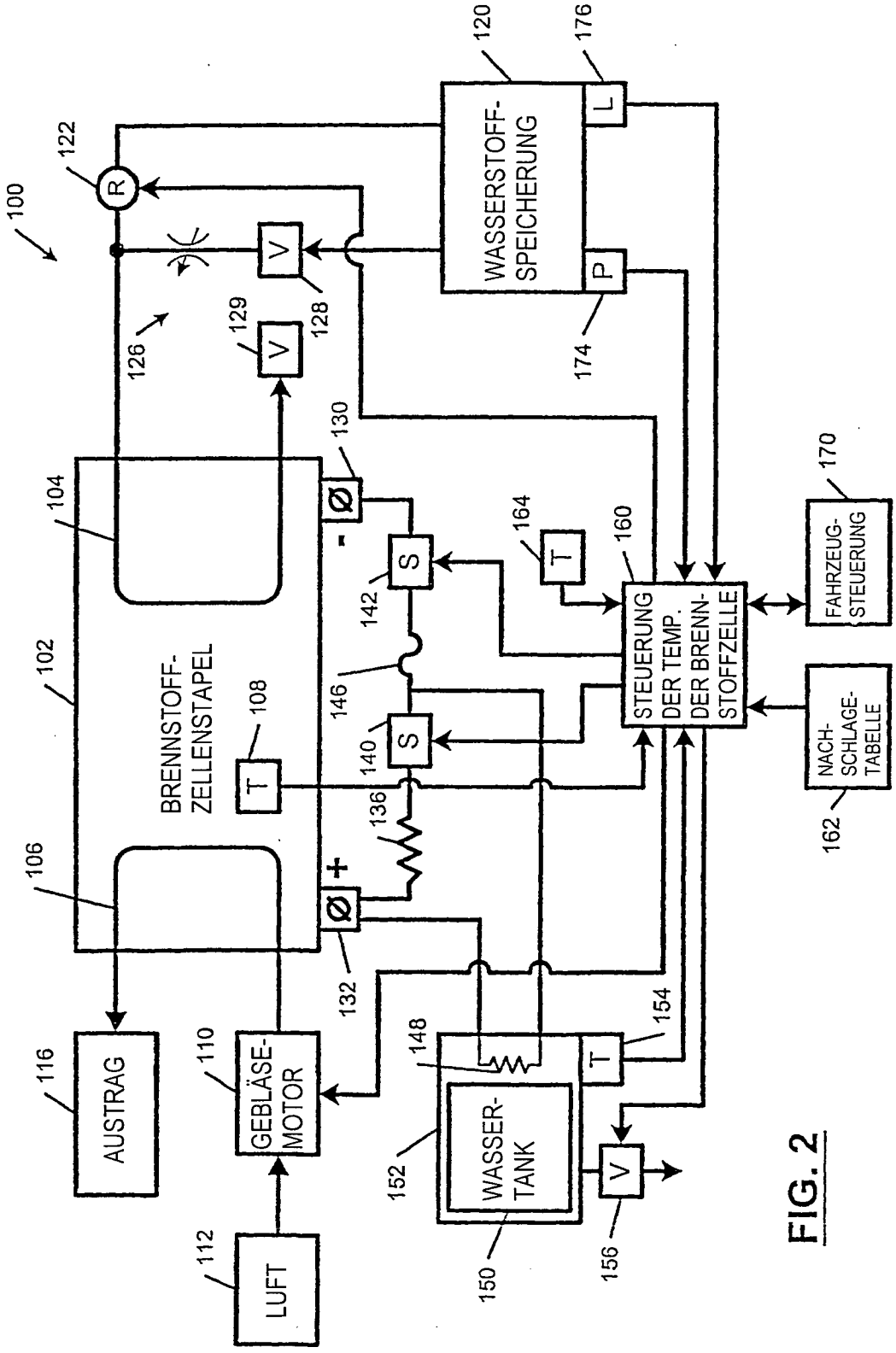

100
102
104
106
108
110
112
116
120
122
126
128
129
130
132
136
140
142
146
148
150
152
154
156
160
162
164
170
174
176
WASSERSTOFF-SPEICHERUNG
BRENNSTOFF-ZELLENSTAPEL
STEUERUNG DER TEMP. DER BRENN-STOFFZELLE
FAHRZEUG-STEUERUNG
NACH-SCHLAGE-TABELLE
AUSTRAG
GEBLÄSE-MOTOR
LUFT
WASSER-TANK
R
V
L
P
T
S
Ø
-
+

FIG. 2

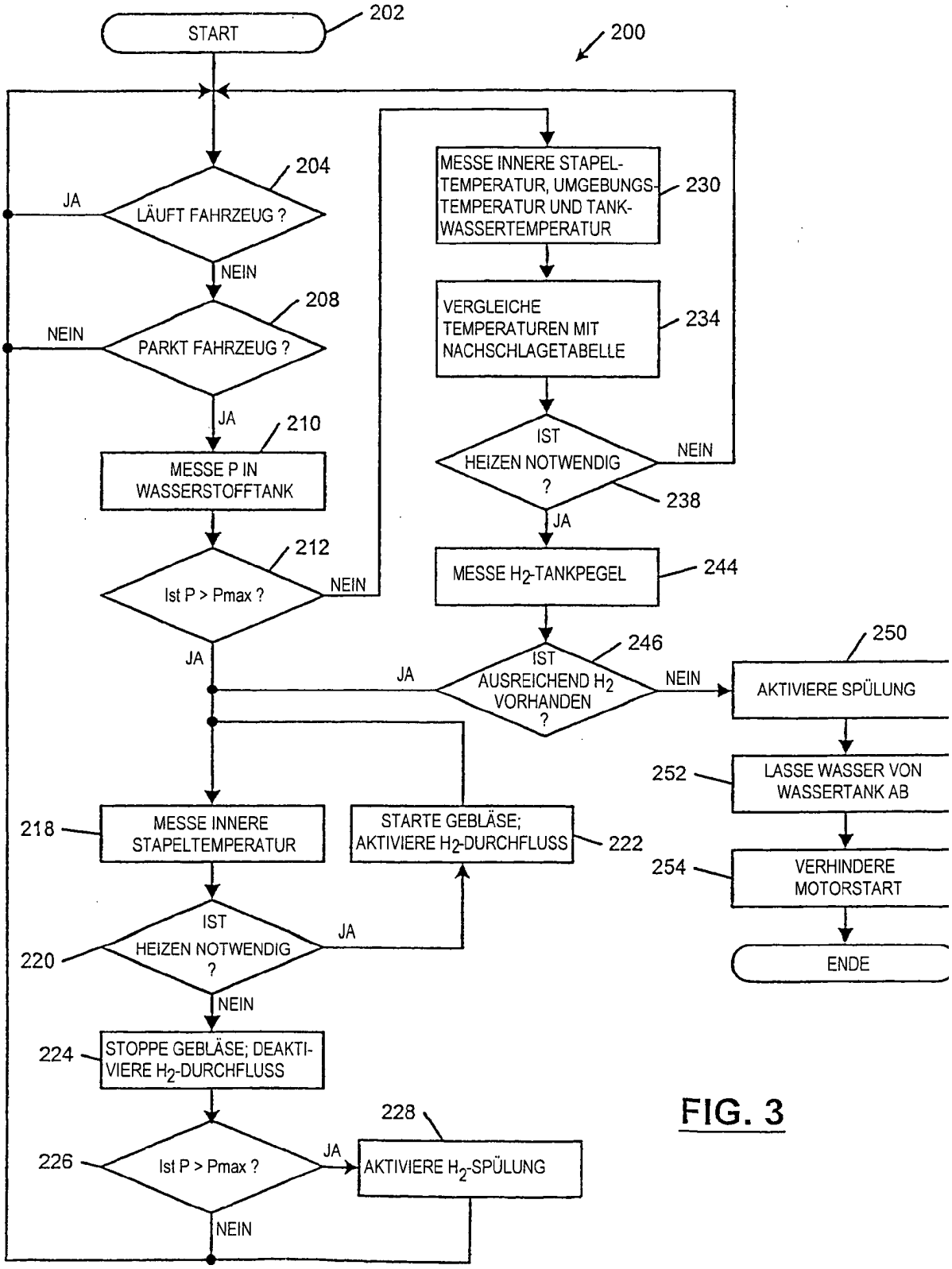

START
202
200
204
JA
LÄUFT FAHRZEUG ?
NEIN
208
NEIN
PARKT FAHRZEUG ?
JA
210
MESSE P IN WASSERSTOFFTANK
212
Ist P > Pmax ?
NEIN
JA
MESSE INNERE STAPEL-TEMPERATUR, UMGEBUNGS-TEMPERATUR UND TANK-WASSERTEMPERATUR
230
VERGLEICHE TEMPERATUREN MIT NACHSCHLAGETABELLE
234
IST HEIZEN NOTWENDIG ?
238
NEIN
JA
MESSE $H_2$-TANKPEGEL
244
246
IST AUSREICHEND $H_2$ VORHANDEN ?
JA
NEIN
250
AKTIVIERE SPÜLUNG
252
LASSE WASSER VON WASSERTANK AB
254
VERHINDERE MOTORSTART
ENDE
218
MESSE INNERE STAPELTEMPERATUR
STARTE GEBLÄSE; AKTIVIERE $H_2$-DURCHFLUSS
222
220
IST HEIZEN NOTWENDIG ?
JA
NEIN
224
STOPPE GEBLÄSE; DEAKTIVIERE $H_2$-DURCHFLUSS
228
226
Ist P > Pmax ?
JA
AKTIVIERE $H_2$-SPÜLUNG
NEIN

FIG. 3