

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Mai 2024 (30.05.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/110290 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/081990

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. November 2023 (16.11.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 212 448.0
22. November 2022 (22.11.2022) DE

(71) Anmelder: VITESCO TECHNOLOGIES GMBH
[DE/DE]; Siemensstraße 12, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: ZHANG, Hong; c/o Vitesco Technologies GmbH, Landsberger Straße 187 - Haus D, 80687 München (DE).

(74) Anwalt: VITESCO TECHNOLOGIES; Landsberger Straße 187 - Haus D, 80687 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,

(54) Title: METHOD, CONTROL DEVICE AND COMPUTER PROGRAM FOR DETECTING A LEAK IN A FUEL-CELL SYSTEM AND ALSO LEAKTIGHTNESS-ANALYZING DEVICE AND FUEL-CELL SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN, STEUERUNGSVORRICHTUNG UND COMPUTERPROGRAMM ZUM FESTSTELLEN EINER UNDICHTIGKEIT IN EINEM BRENNSTOFFZELLENSYSTEM SOWIE DICHTHEITSANALYSEVORRICHTUNG UND BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

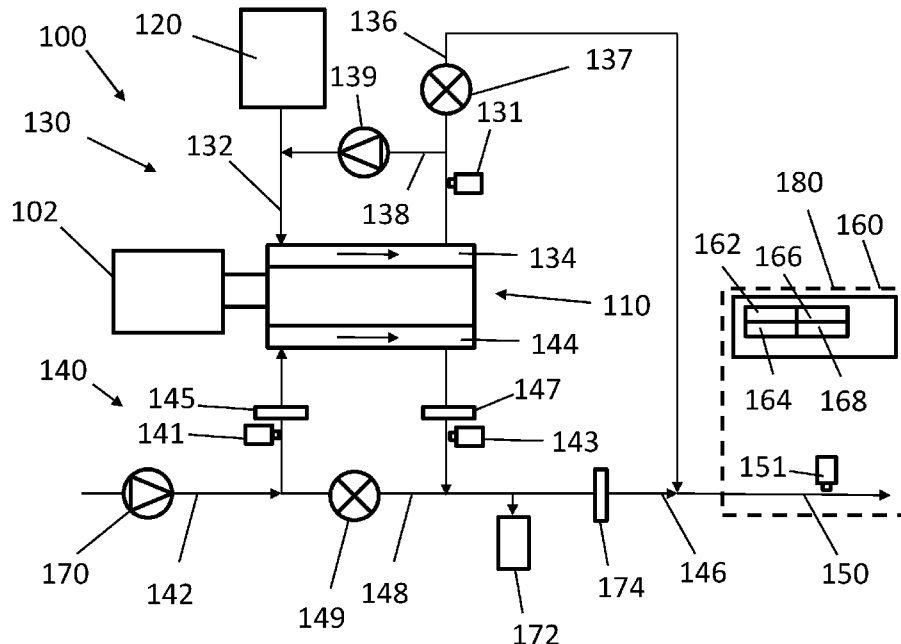


FIG 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method, a control device (160) and a computer program for detecting a leak in a fuel-cell system and also to a leak-tightness-analyzing device (180) and a fuel-cell system (100) and to a use of a hydrogen sensor (131), arranged in a fuel-cell system (100), for detecting a leak in the fuel-cell system (100). The method according to the invention comprises receiving a hydrogen signal from a hydrogen sensor (151), arranged in the exhaust system (150), sending a diagnostic signal, which causes the fuel-cell system (100) to change to a diagnostic operating mode if the hydrogen signal received indicates a hydrogen-concentration



WO 2024/110290 A2

SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

value in the exhaust system (150) that exceeds a predetermined hydrogen-concentration threshold value, detecting that a membrane of the fuel cell (110) of the fuel-cell system (100) is at least partially leaking if the hydrogen signal received during the diagnostic operation of the fuel-cell system (100) is substantially falling, or that a purging valve (137), arranged in the anode conducting system (130), is at least partially leaking if the hydrogen signal received during the diagnostic operation of the fuel-cell system (100) is substantially not falling, and sending a control signal which indicates that the membrane or the purging valve (137) is at least partially leaking.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Steuerungsvorrichtung (160) und ein Computerprogramm zum Feststellen einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem sowie eine Dichtheitsanalysevorrichtung (180) und ein Brennstoffzellensystem (100) und eine Verwendung eines in einem Brennstoffzellensystem (100) angeordneten Wasserstoffsensors (131) zum Feststellen einer Undichtigkeit im Brennstoffzellensystem (100). Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst ein Empfangen eines Wasserstoffsignals von einem im Abgassystem (150) angeordneten Wasserstoffsensor (151), ein Senden eines Diagnosesignals, das das Brennstoffzellensystem (100) dazu veranlasst, in einen Diagnosebetriebsmodus zu wechseln, wenn das empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert im Abgassystem (150) anzeigt, der einen vorbestimmten Wasserstoffkonzentrations-schwellenwert überschreitet, ein Feststellen, dass eine Membran der Brennstoffzelle (110) des Brennstoffzellensystems (100) zumindest teilweise undicht ist, wenn das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen fallend ist, oder dass ein im Anodenleitungssystem (130) angeordnetes Spülventil (137) zumindest teilweise undicht ist, wenn das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen nicht fallend ist, und ein Senden eines Steuersignals, das angibt, dass die Membran oder das Spülventil (137) zumindest teilweise undicht ist.

Beschreibung

Verfahren, Steuerungsvorrichtung und Computerprogramm zum Feststellen einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem sowie Dichtheitsanalysevorrichtung
5 und Brennstoffzellensystem

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Steuerungsvorrichtung und ein Computerprogramm zum Ermitteln einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem, insbesondere zum Lokalisieren der Undichtigkeit, sowie
10 eine Dichtheitsanalysevorrichtung und ein Brennstoffzellensystem und eine Verwendung eines in einem Brennstoffzellensystem angeordneten Wasserstoffsensors zum Ermitteln einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem, insbesondere zum Lokalisieren der Undichtigkeit.

15 Brennstoffzellensysteme werden üblicherweise mit einem im Wesentlichen aus Wasserstoff bestehenden Gasgemisch betankt. Hierzu ist es wünschenswert, dass das getankte Gasgemisch eine Wasserstoffkonzentration aufweist, die größer ist als 99 %. Diese hohe Wasserstoffkonzentration im Gasgemisch kann eine frühzeitige Alterung sowie Effizienzverluste der Brennstoffzelle vermeiden.
20 Aus dem Stand der Technik sind Wasserstoffsensoren bekannt, die auf dem Wärmeleitfähigkeitsmessprinzip basieren. Dabei wird die Wärmeleitfähigkeit des gesamten Gasgemischs ermittelt, woraus sich die Konzentration des Wasserstoffs im Gasgemisch ableiten lässt, da die Wärmeleitfähigkeit von Wasserstoff signifikant größer ist als die Wärmeleitfähigkeit von vielen anderen Gaskomponenten im
25 Gasgemisch.

Aus dem Stand der Technik sind beispielsweise die US 8 795 917 B2, CN 114 838 937 A, JP 2010/067573 A, US 10 581 100 B2 und US 11 201 340 B2 bekannt.

30 Der vorliegenden Erfindung liegt im Wesentlichen die Aufgabe zu Grunde, bei Feststellung einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem die Stelle der Undichtigkeit zu lokalisieren.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren gemäß unabhängigen Anspruch 1, einer Steuerungsvorrichtung gemäß Anspruch 6, einer Dichtheitsanalysevorrichtung gemäß Anspruch 8, einem Brennstoffzellensystem gemäß Anspruch 9, einem Computerprogramm gemäß Anspruch 10 einem Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 11 und einer Verwendung eines in einem Abgasstrang eines Brennstoffzellensystems angeordneten Wasserstoffsensors nach Anspruch 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Der vorliegenden Erfindung liegt im Wesentlichen der Gedanke zu Grunde, beim Feststellen einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem mittels der Auswertung der Signale eines in einem Abgastrakt des Brennstoffzellensystems angeordneten Wasserstoffsensors die Undichtigkeit zu lokalisieren, insbesondere ob die Undichtigkeit in der Membran der Brennstoffzelle oder in einem in einem Anodenleitungssystem des Brennstoffzellensystems angeordneten Spülventil begründet ist. Hierzu wird zunächst überhaupt eine Undichtigkeit im Brennstoffzellensystem mittels des im Abgassystem angeordneten Wasserstoffsensors festgestellt und daraufhin das Brennstoffzellensystem in einen Diagnosebetriebsmodus geschaltet, während dem im Abgassystem des Brennstoffzellensystems kein Gasgemisch vorliegen kann, das zuvor mit der Kathode in Wechselwirkung stand. Durch Auswerten des Verlaufs des während dem Diagnosebetriebsmodus empfangenen Wasserstoffsensorsignals des im Abgassystem des Brennstoffzellensystems angeordneten Wasserstoffsensors kann eine Lokalisierung der Undichtigkeit durchgeführt werden. Ist der Verlauf des Wasserstoffsignals während dem Diagnosebetriebsmodus im Wesentlichen abfallend, kann eine undichte Membran der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems festgestellt werden. Ist der Verlauf des Wasserstoffsignals während dem Diagnosebetriebsmodus jedoch im Wesentlichen nicht fallend, insbesondere im Wesentlichen konstant oder sogar steigend, kann die undichte Stelle dem Spülventil zugeordnet werden.

30

Folglich ist gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Feststellen einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem offenbart, das ein Abgassystem umfasst. Das Verfahren weist ein Empfangen eines

Wasserstoffsignals von einem im Abgassystem angeordneten Wasserstoffsensord auf. Dabei ist das Wasserstoffsignal repräsentativ für eine Wasserstoffkonzentration in einem im Abgassystem vorhandenen Gasgemisch. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst ferner ein Senden eines

5 Diagnosesignals, das das Brennstoffzellensystem dazu veranlasst, in einen Diagnosebetriebsmodus zu wechseln, wenn das empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert im Abgassystem anzeigt, der einen vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert überschreitet, ein

10 Feststellen, dass eine Membran der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems zumindest teilweise undicht ist, denn das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen fallend ist, oder dass ein im Anodenleitungssystem angeordnetes Spülventil zumindest teilweise undicht ist, wenn das während dem Diagnosebetrieb des

15 Brennstoffzellensystems empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen nicht fallend ist, und ein Senden eines Steuersignals, das angibt, dass die Membran oder das Spülventil zumindest teilweise undicht ist.

Folglich kann mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens durch Auswertung des Wasserstoffsignals des im Abgassystem des Brennstoffzellensystems

20 angeordneten Wasserstoffsensors die undichte Stelle im Brennstoffzellensystem lokalisiert werden, insbesondere nachdem allgemein eine Undichtigkeit im Brennstoffzellensystem festgestellt und das Brennstoffzellensystem in den Diagnosebetriebsmodus geschaltet wurde.

25 Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das Senden des Diagnosesignals ein Senden eines Kathodeneingangsventils-Schließsignals, das ein Schließen eines in einer Kathodenzuleitung eines Kathodenleitungssystems angeordneten Kathodeneingangsventils bewirkt, und/oder ein Senden eines

30 Kathodenausgangsventil-Schließsignals auf, das ein Schließen eines in einer Kathodenableitung des Kathodenleitungssystems angeordneten Kathodenausgangsventils bewirkt. Die Kathodenzuleitung ist dabei dazu ausgebildet, einer Kathode des Brennstoffzellensystems ein Sauerstoff

aufweisendes Gasgemisch zuzuführen. Die Kathodenableitung ist dazu ausgebildet, dass der Kathode des Brennstoffzellensystems zugeführte Sauerstoff aufweisende Gasgemisch in das Abgassystem abzuleiten.

- 5 Gemäß dieser bevorzugten Ausgestaltung kann mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens während dem Diagnosebetriebsmodus des Brennstoffzellensystems ausgeschlossen werden, dass im Abgassystem des Brennstoffzellensystems ein zuvor mit der Kathode der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems in Wechselwirkung gestandenes Gasgemisch vorliegt, so dass die erfindungsgemäße
- 10 Lokalisierung der Undichtigkeit erfolgen kann. Dabei kann die erhöhte Wasserstoffkonzentration im Abgassystem entweder aus dem Anodenleitungssystem, insbesondere bei einem undichten Spülventil, oder aus dem Kathodenleitungssystem, insbesondere bei einer undichten Membran der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems, stammen. Durch das Abschließen der
- 15 Kathodenleitung, die mit der Kathode der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems in Verbindung steht, kann die Lokalisierung der Undichtigkeit auf einfache Weise erfolgen.

- Dabei kann es ferner vorteilhaft sein, dass das Senden des Diagnosesignals ferner
- 20 ein Senden eines Bypassventils-Öffnungssignals aufweist, das ein zumindest teilweises Öffnen eines in einer die Kathodenzuleitung mit der Kathodenableitung verbindenden Kathodenbypassleitung angeordneten Kathodenbypassventils bewirkt. Dabei kann das Feststellen, dass die Membran der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems zumindest teilweise undicht ist, ein Feststellen aufweisen,
- 25 dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert von im Wesentlichen Null anzeigt. Zusätzlich oder alternativ kann das Feststellen, dass das Spülventil des Brennstoffzellensystems zumindest teilweise undicht ist, ein Feststellen aufweisen,
- 30 dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert anzeigt, der größer als Null ist.

Durch das Senden des Bypassventil-Öffnungssignals kann die Diagnose und Lokalisierung der Undichtigkeit beschleunigt werden, da das Abgassystem mit dem aus dem Kathodenleitungssystem stammenden und Sauerstoff aufweisenden Gasgemischs, das nicht an der Kathode der Brennstoffzelle vorbeigeströmt ist, 5 derart ausgespült werden, dass folglich etwaiger im Abgassystem vorhandener Wasserstoff ausschließlich aus dem Anodensystem aufgrund eines potentiell undichten Spülventils stammen kann.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen 10 Verfahrens weist das Senden des Diagnosesignals ein Senden eines Drosselventil-Schließsignals auf, das ein Schließen eines in der Kathodenableitung stromabwärts des Kathodenausgangsventils angeordneten Drosselventils bewirkt.

Gemäß einer solchen vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen 15 Verfahrens kann mittels des Schließens des Drosselventils ein vollständiges Abtrennen des Kathodenleitungssystem vom Abgassystem herbeigeführt werden. Wenn daraufhin noch Wasserstoff im Abgassystem mittels des Wasserstoffsensors erfasst wird, müsste dieser aus dem Anodenleitungssystem aufgrund eines undichten Spülventils stammen.

20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das Steuersignal ferner zum Ansteuern einer Bedienerschnittstelle zum Anzeigen einer Warnung an einen Bediener des Brennstoffzellensystems ausgebildet. Die Warnung informiert den Bediener darüber, dass eine Undichtigkeit 25 der Membran oder des Spülventils festgestellt worden ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Steuerungsvorrichtung offenbart, die dazu ausgebildet ist, die Schritte des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

30 Vorzugsweise umfasst die Steuerungsvorrichtung einen ersten Steuerungsvorrichtungsabschnitt zum Ausführen des Schrittes des Empfangens eines Wasserstoffsignals vom Wasserstoffsensor, einen zweiten

Steuerungsvorrichtungsabschnitt zum Ausführen des Schrittes des Sendens eines
Diagnosesignals, einen dritten Steuerungsvorrichtungsabschnitt zum Ausführen
des Schrittes des Feststellens, dass die Membran oder das Spülventil zumindest
teilweise undicht ist, und einen vierten Steuerungsvorrichtungsabschnitt zum
5 Ausführen des Schrittes zum Senden eines Steuersignals.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine
Dichtheitsanalysevorrichtung für ein Brennstoffzellensystem offenbart, die einen
Wasserstoffsensor, der dazu ausgebildet ist, ein Wasserstoffsignal zu erzeugen,
10 das repräsentativ ist für eine Wasserstoffkonzentration in einem in einem
Abgassystem des Brennstoffzellensystems vorhandenen Gasgemischs, und eine
erfindungsgemäße Steuerungsvorrichtung aufweist.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein
15 Brennstoffzellensystem offenbart, das eine Anode, eine mittels einer Membran von
der Anode getrennte Kathode, ein Anodenleitungssystem, in dem ein Spülventil
angeordnet ist, ein Abgassystem, das mit dem Anodenleitungssystem
fluidverbunden ist, und eine erfindungsgemäße Dichtheitsanalysevorrichtung
aufweist.

20
Gemäß einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein
Computerprogramm offenbart, das Befehle umfasst, die, wenn sie von einer
Recheneinheit ausgeführt werden, die Recheneinheit veranlassen, ein
erfindungsgemäßes Verfahren zum Feststellen einer Undichtigkeit in einem
25 Brennstoffzellensystem auszuführen.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein
computerlesbares Medium offenbart, auf dem ein erfindungsgemäßes
Computerprogramm gespeichert ist.

30
Gemäß einem noch weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine
Verwendung eines in einem Abgassystem eines Brennstoffzellensystems

angeordneten Wasserstoffsensors zum Feststellen einer Undichtigkeit im Brennstoffzellensystems mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens offenbart.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann durch Ausüben der hierin beschriebenen Lehre und Betrachten der beiliegenden
5 einzigen Zeichnung ersichtlich, in denen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems für ein Fahrzeug zeigt,
10
- Fig. 2 ein Diagramm, in dem beispielhafte Verläufe von Wasserstoffsignalen des im Abgassystem des Brennstoffzellensystems der Fig. 1 angeordneten Wasserstoffsensors eingetragen sind bei undichter Membran bzw. undichtem Spülventil, und
15
- Fig. 3 ein beispielhaftes Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln einer Undichtigkeit im Brennstoffzellensystems der Fig. 1 zeigt.
- 20 Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung beschreibt der Begriff „Gasgemisch“ ein Gemisch aus verschiedenen gasförmigen Komponenten, wie beispielsweise Wasserstoff, Stickstoff, Luft und/oder ein Inertgas, z. B. Argon.
- Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung beschreibt der Begriff „Signal“
25 Rohdaten, die zur Datenübertragung in eine Form umgewandelt werden, die über das gewählte Transportmedium geschickt werden kann. Dies kann analog oder digital geschehen, wobei die Daten erst abgetastet und in diskrete (häufig binär codierte) Werte umgesetzt werden, die dann als Stromstöße oder unterschiedlich hohe Spannungen über das Medium geschickt werden. Ferner können im Rahmen
30 der vorliegenden Offenbarung die Signale kontinuierlich gesendet bzw. empfangen werden. Beispielsweise erfolgen das Senden und Empfangen von digitalen Signalen im Abstand von wenigen Millisekunden.

Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung beschreibt der Begriff

„Diagnosebetriebsmodus des Brennstoffzellensystems“ einen Betriebsmodus des Brennstoffzellensystems, in dem die verschiedenen Bauteile und Elemente des Brennstoffzellensystems zur Diagnose des Kathodenausgangsventils

5 unterschiedlich als im normalen Betriebsmodus, der etwaige Spülvorgänge des Anodenleitungssystems umfasst, angesteuert und betrieben werden.

Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung beschreibt eine „ausreichend dichte Stelle“, dass das jeweilige Element in einem geschlossenen oder intakten Zustand,

10 einen jeweiligen Verbindungspfad, derart versperrt, dass das durch die Leitung strömende Gasgemisch im Wesentlichen nicht durch das Element hindurch

strömen kann. Jedoch liegt es auch im Rahmen der vorliegenden Offenbarung, dass ein Element mit einer Leckage von ungefähr 0,1 Standardmilliliter pro Minute [Sml/min] bei einem Überdruck von ungefähr 600 mbar ebenfalls als „ausreichend

15 dicht“ bezeichnet werden kann. Folglich kann im Rahmen der vorliegenden

Offenbarung ein Element als „undicht“ bezeichnet werden, wenn die Leckage dahindurch oberhalb der genannten 0,1 Sml/min bei einem Überdruck von ungefähr 600 mbar liegt.

20 Die Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen

Brennstoffzellensystems 100 für ein Fahrzeug. Das Brennstoffzellensystem 100 umfasst eine Brennstoffzelle 110, wie beispielsweise ein Brennstoffzellen-Stack.

Die Brennstoffzelle 110 umfasst dabei, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, eine Anode und eine Kathode, die durch eine Membran voneinander getrennt

25 sind. Beispielsweise kann es sich bei der Brennstoffzelle 110 um eine sogenannte PEM-Brennstoffzelle handeln, bei der die Membran eine

Protonenaustauschmembran ist, durch die die an der Anode gebildeten Protonen hindurch zur Kathode gelangen können.

30 Das Brennstoffzellensystem 100 umfasst ferner einen Tank 120, in dem ein

Gasgemisch, vorzugsweise unter Druck, gespeichert ist, das im Wesentlichen aus Wasserstoff besteht. Der Tank 120 kann zudem Ventile (in der Fig. 1 nicht explizit

dargestellt) aufweisen, mit denen das Ein- und Ausströmen des Gasgemischs in den Tank 120 hinein und aus dem Tank 120 heraus gesteuert werden können.

Das Brennstoffzellensystem 100 der Fig. 1 umfasst ferner ein

5 Anodenleitungssystem 130, das dazu ausgebildet ist, das aus dem Tank 120 ausströmende Gasgemisch der Anode der Brennstoffzelle 110 zuzuführen und das an der Anode vorbeigeströmte Gasgemisch abzuleiten bzw. zurückzuführen. Das Anodenleitungssystem 130 umfasst hierzu eine Anodenzuleitung 132, die mit dem Tank 120 fluidverbunden ist und das aus dem Tank 120 ausströmende Gasgemisch
10 einer Anodenleitung 134 zuführt, die wiederum das Gasgemisch der Anode der Brennstoffzelle 110 zuführt. Das Anodenleitungssystem 130 umfasst ferner eine Anodenableitung 136, die mit der Anodenleitung 134 fluidverbunden ist und das durch die Anodenleitung 134 geströmte Gasgemisch ableiten und einem Abgassystem 150 zuführen kann. Das Anodenleitungssystem 130 umfasst ferner
15 eine Anodenrückführleitung 138, die die Anodenableitung 136 mit der Anodenzuleitung 132 fluidverbindet und in der eine Rückförpumppe 139 angeordnet ist, die dazu ausgebildet ist, das durch die Anodenableitung 136 strömende Gasgemisch wieder der Anodenzuleitung 132 zurückzuführen. Folglich bildet sich zwischen der Anodenzuleitung 132, der Anodenleitung 134, der
20 Anodenableitung 136 und der Anodenrückführleitung 138 ein Kreislauf aus, in dem das Gasgemisch mittels der Rückförpumppe 139 umgewälzt und im Kreis geführt werden kann.

Das Anodenleitungssystem 130 umfasst ferner ein Spülventil 137, das in der
25 Anodenableitung 136 stromabwärts der Mündungsstelle der Anodenrückführleitung 138 angeordnet und dazu ausgebildet ist, die Anodenableitung 136 freizugeben oder zu sperren. In einem normalen Betriebsmodus der Brennstoffzelle 110 ist das Spülventil 137 geschlossen, so dass mittels der Rückförpumppe 139 der soeben beschriebene Kreislauf und Umwälzvorgang des Gasgemischs bereitgestellt
30 werden kann.

Ferner ist in der Anodenableitung 136 ein Gassensor 131, wie beispielsweise ein Wasserstoffsensorm, vorgesehen, der dazu ausgebildet ist, ein Wasserstoffsignal zu

erzeugen, das für die Wasserstoffkonzentration in der Anodenableitung 136 an einer Position zwischen der Anodenleitung 134 und dem Spülventil 137 repräsentativ ist. Der Gassensor 131 kann dabei ein auf dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip basierender Gassensor sein. Die Wasserstoffsignale des Wasserstoffsensors 131 sind bevorzugt digitale Signale bzw. Daten, die von einer Datenverarbeitungsvorrichtung, die einen Prozessor und einen Speicher aufweisen kann, verarbeitet werden können.

Während des normalen Betriebsmodus des Brennstoffzellensystems 100 bildet sich innerhalb des zuvor beschriebenen Kreislaufs eine steigende Stickstoffkonzentration aus, weshalb die Signale des Gassensors 131 ferner für eine Stickstoffkonzentration innerhalb des Anodenleitungssystems repräsentativ sind. Insbesondere kann qualitativ ausgesagt werden, dass das sich während des normalen Betriebsmodus des Brennstoffzellensystems 100 im Anodenleitungssystem 130 befindliche Gasgemisch nahezu ausschließlich aus Wasserstoff und Stickstoff besteht, d. h., dass die Summe aus Wasserstoffkonzentration und Stickstoffkonzentration im Anodenleitungssystem 130 insgesamt 100 % ergibt. Folglich kann anhand des Signals des Gassensors 131 sowohl die Wasserstoffkonzentration als auch die Stickstoffkonzentration im Anodenleitungssystem 130 ermittelt werden.

Das Brennstoffzellensystem 100 umfasst ferner ein Kathodenleitungssystem 140 bestehend aus einer Kathodenzuleitung 142, einer mit der Kathode verbundene Kathodenleitung 144 und einer Kathodenableitung 146. Zudem umfasst das Kathodenleitungssystem 140 eine Kathodenbypassleitung 148, die die Kathodenzuleitung 142 mit der Kathodenableitung 146 fluidverbindet und in dem ein Kathodenbypassventil 149 zum Sperren oder Freigeben der Kathodenbypassleitung 148 angeordnet ist. Die Kathodenableitung 146 kann die über die Kathodenzuleitung 142 der Kathode zugeführte Luft in das Abgassystem 150 ableiten. In der Kathodenzuleitung 142 sind ein Drucksensor 141 zum Erfassen des Drucks in der Kathodenzuleitung 142 und ein Kathodeneingangsventil 145 angeordnet, das beispielsweise ein Drosselklappenventil sein kann. In ähnlicher Weise weist die Kathodenableitung 146 ein Kathodenausgangsventil 147 und einen

stromabwärts davon in der Kathodenableitung 146 angeordneten Drucksensor 143 zum Erfassen des Drucks in der Kathodenableitung 146 auf. Zudem sind im Kathodenleitungssystem 140 ein Kompressor 170 zum Verdichten der Luft, ein Wasserabscheider 172 und ein Drosselventil 174 angeordnet.

5

Das Drosselventil 174 ist in der Kathodenableitung 146 an einer Position stromabwärts der Mündungsstelle der Bypassleitung 168 in die Kathodenableitung 146 angeordnet und dazu ausgebildet, die Kathodenableitung 146 freizugeben oder zu sperren. Durch Schließen des Drosselventils kann das Kathodenleitungssystem 140 derart gesperrt sein, dass der Gasgemischstrom zwischen Kompressor 170 und Drosselventil 174 deaktiviert ist bzw. zum Erliegen kommt.

10

Das Brennstoffzellensystem 100 der Fig. 1 weist ferner einen Bordnetzweig 102 auf, der elektrische Verbraucher umfasst. Insbesondere beschreibt der Bordnetzweig 102 zumindest einen Teil eines elektrischen Systems, das die von der Brennstoffzelle 110 erzeugte elektrische Energie speichern und verteilen kann.

15

Wie bereits beschrieben münden sowohl das Anodenleitungssystem 130 als auch das Kathodenleitungssystem 140 in ein Abgassystem 150, in dem ein Wasserstoffsensor 151 angeordnet ist, der dazu ausgebildet ist, ein Wasserstoffsignal zu erzeugen, das die Wasserstoffkonzentration in dem im Abgassystem 150 vorhandenen Gasgemisch (insbesondere Abgas) angibt. Der Wasserstoffsensor 151 kann dabei ein auf dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip basierender Gassensor sein.

20

Aus der Fig. 1 ist ferner ersichtlich, dass eine Steuerungsvorrichtung 160 vorgesehen ist, die mit sämtlichen Bauelementen des Brennstoffzellensystems 100 verbunden sein kann. Obwohl hierfür keine separaten Leitungen in der Fig. 1 eingezeichnet sind, können solche elektrischen Verbindungsleitungen in Form von Verbindungsleitungen bzw. -drähten oder drahtlosen Kommunikationseinrichtungen vorhanden sein. Die Steuerungsvorrichtung 160 kann mehrere Steuerungsvorrichtungsabschnitte aufweisen, wie beispielsweise einen ersten Steuerungsvorrichtungsabschnitt 162, einen zweiten

25

30

Steuerungsvorrichtungsabschnitt 164, einen dritten Steuerungsvorrichtungsabschnitt 166 und einen vierten Steuerungsvorrichtungsabschnitt 168, auf die mit Bezug auf die Fig. 3 weiter unten näher eingegangen wird.

5

Die Steuerungsvorrichtung 160 kann einen Prozessor bzw. eine Recheneinheit und einen Speicher aufweisen. Alternativ kann die Steuerungsvorrichtung 160 der Prozessor bzw. die Recheneinheit sein, die mit dem Speicher verbunden ist. Der Prozessor kann eine zentrale Verarbeitungseinheit (Central Processing Unit, CPU) sein. Der Prozessor kann ferner ein weiterer Allzweckprozessor, ein digitaler Signalprozessor (Digital Signal Processor, DSP), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (Application Specific Integrated Circuit, ASIC), ein feldprogrammierbares Gate-Array (Field-Programmable Gate Array, FPGA) sein, oder ein anderes programmierbares Logikgerät, ein diskretes Gatter- oder Transistorlogikgerät, eine diskrete Hardwarekomponente oder dergleichen. Der Allzweckprozessor kann ein Mikroprozessor sein, oder der Prozessor kann ein beliebiger herkömmlicher Prozessor oder dergleichen sein.

Der Speicher umfasst, ist aber nicht darauf beschränkt, einen Random Access Memory (RAM), einen Read-Only Memory (ROM), einen löschbaren programmierbaren Read-Only Memory (EPROM) oder einen portablen Read-Only Memory (z.B. CD-ROM). Der Speicher ist konfiguriert, um zugehörige Programmanweisungen und zugehörige Daten zu speichern.

Der Wasserstoffsensor 151 bildet zusammen mit der Steuerungsvorrichtung 160 eine Dichtigkeitsanalysevorrichtung 180 für das Brennstoffzellensystem 100.

Die Fig. 2 zeigt ein Diagramm, in dem beispielhafte Verläufe 210, 220 von Wasserstoffsignalen des im Abgassystem 150 des Brennstoffzellensystems 100 angeordneten Wasserstoffsensors 151 eingetragen sind. Insbesondere beschreibt der Verlauf 210 das vom Wasserstoffsensor 151 empfangene Wasserstoffsignal in dem Fall, in dem die Membran der Brennstoffzelle 110 zumindest teilweise undicht

ist, wohingegen der Verlauf 220 das Wasserstoffsignal des Wasserstoffsensors 151 in dem Fall zeigt, in dem das Spülventil 137 zumindest teilweise undicht ist.

In der Fig. 2 gibt der erste Zeitpunkt t1 denjenigen Zeitpunkt an, an dem eine
5 Undichtigkeit des Brennstoffzellensystems 100 auftritt. Der Zeitpunkt t2 gibt denjenigen Zeitpunkt an, an dem das Brennstoffzellensystem 100 in einen Diagnosebetriebsmodus geschaltet wird. Insbesondere werden hierzu zum Zeitpunkt t2 das Kathodeneingangsventil 145 und//oder das Kathodenausgangsventil 147 geschlossen. Nach dem Zeitpunkt t2 erfolgt dann das
10 erfindungsgemäße Auswerten des Wasserstoffsignals des Wasserstoffsensors 151, um eine im Brennstoffzellensystem 100 detektierte Undichtigkeit zu lokalisieren, beispielweise zum Zeitpunkt t3, der ungefähr 5 Sekunden nach dem Zeitpunkt t2 liegen kann.

15 Vor dem Zeitpunkt t1 in der Fig. 2 zeigen die beiden Verläufe 210, 220 des Wasserstoffsignals des Wasserstoffsensors 151 jeweils einen einen Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert C_{H_2} , wie beispielsweise 8 %, unterschreitenden Wasserstoffkonzentrationswert an. Folglich kann bereits aufgrund des Überschreitens des Wasserstoffkonzentrationsschwellenwerts C_{H_2}
20 allgemein eine Undichtigkeit des Brennstoffzellensystems 10 festgestellt werden.

Vor dem Zeitpunkt t1 befindet sich das Brennstoffzellensystem 100 ferner in einem normalen Betriebsmodus, bei dem das Spülventil 137 geschlossen und die Rückförpumppe 139 aktiviert ist. Während dem normalen Betriebsmodus des
25 Brennstoffzellensystems 100 wird, wie bereits beschrieben, das aus dem Tank 120 stammende Gasmisch, insbesondere Wasserstoffgemisch, in dem Kreislauf zwischen der Anodenzuleitung 132, Anodenleitung 134, Anodenableitung 136 und, aufgrund des geschlossenen Spülventils 137, der Anodenrückführleitung 138 zirkuliert beziehungsweise dauerhaft umgewälzt. Wird während diesem normalen
30 Betriebsmodus vor dem Zeitpunkt t1 eine Wasserstoffkonzentration im Abgassystem 150 ermittelt, die oberhalb eines vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwerts C_{H_2} , wie beispielsweise 8 %, liegt, kann erfindungsgemäß mittels Durchführen eines Spülvorgangs und

anschließendem Auswerten des Wasserstoffsignals zum Zeitpunkt t3 die bereits festgestellte allgemeine Undichtigkeit des Brennstoffzellensystems 100 zusätzlich noch lokalisiert werden.

5 Beim Starten eines Spülvorgangs des Anodenleitungssystems 130 zum Zeitpunkt t1 werden gleichzeitig das Spülventil 137 geöffnet und die Rückförpumppe 139 deaktiviert, so dass zu diesem Zeitpunkt das aus dem Tank 120 ausströmende Gasmisch, insbesondere Wasserstoffgemisch, durch die Anodenzuleitung 132, die Anodenleitung 134 und die Anodenableitung 136 direkt in das Abgassystem 150
10 geführt werden. Wird während dem Spülvorgang des Anodenleitungssystems 130 dann festgestellt, dass das Wasserstoffsignal im Wesentlichen steigt (z. B. zum Zeitpunkt t2 in der Fig. 2), kann der Spülvorgang als abgeschlossen bestimmt und wieder beendet werden, das heißt, dass das Spülventil 137 geschlossen und die Rückförpumppe 139 wieder aktiviert wird, so dass das Brennstoffzellensystem 100
15 wieder in den normalen Betriebsmodus wechselt.

Im Folgenden wird unter zusätzlicher Bezugnahme auf das in der Fig. 3 gezeigte Ablaufdiagramm eine beispielhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Feststellen und Lokalisieren der Undichtigkeit im
20 Brennstoffzellensystem 100 der Fig. 1 beschrieben.

Das Verfahren der Fig. 3 startet beim Schritt 300 und gelangt dann zum Schritt 310, an dem durch Steuerungsvorrichtung 160, insbesondere den ersten Steuerungsvorrichtungsabschnitt 162, ein Wasserstoffsignal vom
25 Wasserstoffsensoren 151 empfangen wird. An dieser Stelle ist nochmals darauf hinzuweisen, dass die Steuerungsvorrichtung 160, insbesondere der erste Steuerungsvorrichtungsabschnitt 162, das Wasserstoffsignal des Wasserstoffsensors 151 kontinuierlich empfängt. Folglich werden während dem Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens dauerhaft und kontinuierlich,
30 beispielsweise in zeitlich vorbestimmten Abständen, wie wenigen Millisekunden, (digitale) Wasserstoffsignale des Wasserstoffsensors 151 empfangen.

In einem darauffolgenden Schritt 320 wird ermittelt, ob das empfangene Wasserstoffsignal eine Wasserstoffkonzentration anzeigt, die den vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert C_H2 überschreitet. Insbesondere liegt beim Überschreiten des vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwerts C_H2 eine erhöhte Entzündungsgefahr des im Abgassystem 150 vorhandenen Gasgemischs vor. Wird beim Schritt 320 ermittelt, dass das empfangene Wasserstoffsignal eine Wasserstoffkonzentration anzeigt, die den vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert C_H2 nicht überschreitet, gelangt das Verfahren wieder zurück zum Schritt 310. Das Brennstoffzellensystem 100 kann als dicht diagnostiziert werden, solange das Verfahren bei den Schritten 310, 320 verbleibt.

Wird jedoch beim Schritt 320 ermittelt, dass das empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert anzeigt, der den vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert C_H2 überschreitet, gelangt das Verfahren zum Schritt 330, an dem die Steuerungsvorrichtung 160, insbesondere der zweite Steuerungsvorrichtungsabschnitt 164, ein Diagnosesignal sendet, das das Brennstoffzellensystem 100 dazu veranlasst, in einen Diagnosebetriebsmodus zu wechseln. Das Senden des Diagnosesignals kann ein Senden eines Kathodeneingangsventil-Schließsignals aufweisen, das ein Schließen des Kathodeneingangsventils 145 bewirkt. Zusätzlich oder alternativ weist das Senden des Diagnosesignals ein Senden eines Kathodenausgangsventil-Schließsignals aufweisen, das ein Schließen des Kathodenausgangsventils 147 bewirkt. Zusätzlich oder alternativ kann das Senden des Diagnosesignals ein Senden eines Drosselventil-Schließsignals aufweisen, das ein Schließen des Drosselventils 174 bewirkt.

Allgemein bewirkt das Senden des Diagnosesignals, dass kein durch die Kathodenleitung 144 geströmtes und somit mit der Kathode in Wechselwirkung gewesenes Gasgemisch in den Abgasstrang gelangt und auch kein Gasgemisch mit Wasserstoff aus dem Anodenleitungssystem an die Kathoden fließen kann. Wird beispielsweise das Kathodeneingangsventil 145 und/oder das Kathodenausgangsventil 147 geschlossen, kann das vom Kompressor 170

geförderte Gasgemisch, insbesondere Luft, direkt ins Abgassystem 150 strömen, ohne mit der Kathode der Brennstoffzelle 110 in Kontakt zu gelangen. Ein Schließen des Drosselventils 174 bewirkt, dass das durch das Abgassystem 150 strömende Gasgemisch nicht mehr aus dem Kathodenleitungssystem 140 stammen kann.

5 Vielmehr stammt das dann durch das Abgassystem 150 strömende Gasgemisch aus dem Anodenleitungssystem 130.

In einem darauffolgenden Schritt 340 wird nach einer vorbestimmten Zeitdauer, wie beispielsweise ungefähr 5 Sekunden (siehe Zeitraum zwischen t_2 und t_3 in der Fig. 10 2), nach dem festgestellten Zeitpunkt t_2 des Endes des Spülvorgangs des Anodenleitungssystem 130 ein Wasserstoffsignal vom Wasserstoffsensor 151 empfangen und bei einem darauffolgenden Schritt 350 ausgewertet. Das heißt, dass der Zeitpunkt t_2 auch ein Ende eines Wasserstoff-Ausstoßes angibt.

15 Wird beim Schritt 350 festgestellt, dass das zum Zeitpunkt t_3 empfangene Wasserstoffsignal einen im Wesentlichen fallenden Verlauf aufweist, gelangt das Verfahren zum Schritt 360, an dem die Membran als undicht diagnostiziert wird. Insbesondere kann aufgrund des Diagnosebetriebs des Brennstoffzellensystems 100 ausgeschlossen werden, dass der im Abgassystem 150 vorhandene und vom 20 Wasserstoffsensor 151 erfasste Wasserstoff aus dem Kathodenleitungssystem 140 stammt. Folglich kann bei einem zum Zeitpunkt t_3 im Wesentlichen abfallenden Wasserstoffsignal davon ausgegangen werden, dass der zuvor im Abgassystem 150 vorhandene Wasserstoff aus dem Kathodenleitungssystem 140 stammt, insbesondere aufgrund einer undichten Membran der Brennstoffzelle 110. Aufgrund 25 des Diagnosebetriebs des Brennstoffzellensystem, beispielsweise durch Schließen des Kathodeneingangsventils 145 und/oder des Kathodenausgangsventils 147, kann der durch die undichte Membran strömende Wasserstoff nicht mehr ins Abgassystem 150 strömen, weshalb das Wasserstoffsignal im Wesentlichen fallend ist.

30

Wird jedoch beim Schritt 350 festgestellt, dass das zum Zeitpunkt t_3 empfangene Wasserstoffsignal einen im Wesentlichen nicht fallenden Verlauf aufweist, gelangt das Verfahren zum Schritt 370, an dem das Spülventil 137 als undicht diagnostiziert

wird. Insbesondere kann aufgrund des Diagnosebetriebs des Brennstoffzellensystems 100 ausgeschlossen werden, dass der im Abgassystem 150 vorhandene und vom Wasserstoffsensor 151 erfasste Wasserstoff aus dem Kathodenleitungssystem 140 stammt. Folglich kann bei einem zum Zeitpunkt t3 im Wesentlichen nicht abfallenden Wasserstoffsignal davon ausgegangen werden, dass der zuvor im Abgassystem 150 vorhandene Wasserstoff aus dem Anodenleitungssystem 130 stammt, insbesondere aufgrund eines undichten Spülventils 137. Aufgrund des Diagnosebetriebs des Brennstoffzellensystem, beispielsweise durch Schließen des Kathodeneingangsventils 145 und/oder des Kathodenausgangsventils 147, kann der durch das Spülventil 137 strömende Wasserstoff weiterhin ins Abgassystem 150 strömen, weshalb das Wasserstoffsignal nicht fallend ist. Beispielsweise kann das Wasserstoffsignal im Wesentlichen konstant sein.

Das Feststellen bei den Schritten 360 oder 370 wird von der Steuerungsvorrichtung 160, insbesondere dem dritten Steuerungsvorrichtungsabschnitt 166, durchgeführt.

Nach den Schritten 360, 370 gelangt das Verfahren jeweils zum Schritt 380, an dem die Steuerungsvorrichtung 160, insbesondere der vierte Steuerungsvorrichtungsabschnitt 168, ein Steuersignal senden kann, das angibt, dass die Membran oder das Spülventil 137 zumindest teilweise undicht ist, bevor das Verfahren beim Schritt 390 endet.

Zum Beschleunigen der soeben beschriebenen Diagnose kann es vorteilhaft sein, nach dem Schließen des Kathodeneingangsventils 145 und/oder des Kathodenausgangsventils 147 noch zusätzlich das Kathodenbypassventil 149 zumindest teilweise zu öffnen. Folglich kann das Senden des Diagnosesignals noch zusätzlich oder alternativ ein Senden eines Bypassventil-Öffnungssignals aufweisen, das ein zumindest teilweises Öffnen des Kathodenbypassventils 149 bewirkt. Dadurch kann erreicht werden, dass das zuvor im Abgassystem 150 vorhandene Gasgemisch durch frisches, vom Kompressor 170 gefördertes Gasgemisch schneller aus dem Abgassystem 150 herausgespült werden kann.

Dabei kann das Feststellen, dass die Membran der Brennstoffzelle 110 des Brennstoffzellensystems 100 zumindest teilweise undicht ist (siehe Schritt 350), ein Feststellen aufweisen, dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems empfangene Wasserstoffsignal einen

5 Wasserstoffkonzentrationswert von im Wesentlichen Null anzeigt.

Wird jedoch festgestellt, dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems 100 empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert anzeigt, der größer als Null ist, kann wiederum das

10 Spülventil 137 als zumindest teilweise undicht diagnostiziert werden. Aufgrund des undichten Spülventils 137 besteht dabei das Gasgemisch im Abgasstrang aus einem Wasserstoff aufweisenden Gasgemisch aus dem Anodenleitungssystem 130 und aus frischem Gasgemisch aus dem Kathodenleitungssystem 140.

15 Das vorliegende Verfahren macht sich folglich zu Nutze, dass das Wasserstoffsignal eines im Abgassystem eines Brennstoffzellensystems angeordneten Wasserstoffsensors 151 dazu verwendet werden kann, bei einer festgestellten allgemeinen Undichtigkeit im Brennstoffzellensystem 100 zusätzlich noch die Undichtigkeit zu lokalisieren, insbesondere der Membran oder dem

20 Spülventil 137 zuzuordnen. Dies kann auf einfache Weise durch ein Absperren des durch die Kathode der Brennstoffzelle 110 strömenden Gasgemischs durch Auswerten des Wasserstoffsignals des im Abgassystem 150 angeordneten Wasserstoffsensors 151 erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Feststellen einer Undichtigkeit in einem Brennstoffzellensystem (100), das ein Abgassystem (150) umfasst, wobei das
- 5 Verfahren aufweist:
- Empfangen eines Wasserstoffsignals von einem im Abgassystem (150) angeordneten Wasserstoffsensor (151), wobei das Wasserstoffsignal repräsentativ ist für eine Wasserstoffkonzentration in einem im Abgassystem (150) vorhandenen Gasgemischs,

10

 - Senden eines Diagnosesignals, das das Brennstoffzellensystem (100) dazu veranlasst, in einen Diagnosebetriebsmodus zu wechseln, wenn das empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert im Abgassystem (150) anzeigt, der einen vorbestimmten Wasserstoffkonzentrationsschwellenwert überschreitet,

15

 - Feststellen, dass eine Membran der Brennstoffzelle (110) des Brennstoffzellensystems (100) zumindest teilweise undicht ist, wenn das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen fallend ist, oder dass ein im Anodenleitungssystem (130) angeordnetes Spülventil (137) zumindest teilweise

20

 - undicht ist, wenn das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal im Wesentlichen nicht fallend ist, und
 - Senden eines Steuersignals, das angibt, dass die Membran oder das Spülventil (137) zumindest teilweise undicht ist.
- 25
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Senden des Diagnosesignals aufweist:
- Senden eines Kathodeneingangsventil-Schließsignals, das ein Schließen eines in einer Kathodenzuleitung (142) eines Kathodenleitungssystems (140) angeordneten Kathodeneingangsventils (145) bewirkt, wobei die

30

 - Kathodenzuleitung (142) dazu ausgebildet ist, einer Kathode des Brennstoffzellensystems ein Sauerstoff aufweisendes Gasgemisch zuzuführen, und/oder

- Senden eines Kathodenausgangsventil-Schließsignals, das ein Schließen eines in einer Kathodenableitung (146) des Kathodenleitungssystems (140) angeordneten Kathodenausgangsventils (147) bewirkt, wobei die Kathodenableitung (146) dazu ausgebildet ist, das der Kathode des Brennstoffzellensystems (100) zugeführte, Sauerstoff aufweisende Gasgemisch in das Abgassystem (150) abzuleiten.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Senden des Diagnosesignals ferner aufweist:

- Senden eines Bypassventil-Öffnungssignals, das ein zumindest teilweises Öffnen eines in einer die Kathodenzuleitung (145) mit der Kathodenableitung (146) verbindenden Kathodenbypassleitung (148) angeordneten Kathodenbypassventils (149) bewirkt,

wobei das Feststellen, dass die Membran der Brennstoffzelle (110) des Brennstoffzellensystems (100) zumindest teilweise undicht ist, ein Feststellen aufweist, dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert von im Wesentlichen Null anzeigt, und/oder

wobei das Feststellen, dass das Spülventil (137) des Brennstoffzellensystems (100) zumindest teilweise undicht ist, ein Feststellen aufweist, dass das während dem Diagnosebetrieb des Brennstoffzellensystems (100) empfangene Wasserstoffsignal einen Wasserstoffkonzentrationswert anzeigt, der größer als Null ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Senden des Diagnosesignals aufweist:

- Senden eines Drosselventil-Schließsignals, das ein Schließen eines in der Kathodenableitung (142) stromabwärts des Kathodenausgangsventils (147) angeordneten Drosselventils (145) bewirkt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Steuersignal zum Ansteuern einer Bedienerschnittstelle zum Anzeigen einer Warnung an einen Bediener des Brennstoffzellensystems (100) ausgebildet ist,

wobei die Warnung den Bediener darüber informiert, dass eine Undichtigkeit der Membran oder des Spülventils (137) festgestellt worden ist.

- 5 6. Steuerungsvorrichtung (160), die dazu ausgebildet ist, die Schritte des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.
7. Steuerungsvorrichtung (160) nach Anspruch 6, aufweisend:
- einen ersten Steuerungsvorrichtungsabschnitt (162) zum Ausführen des Schrittes des Empfangens eines Wasserstoffsignals vom

10 Wasserstoffsensor (151),

 - einen zweiten Steuerungsvorrichtungsabschnitt (164) zum Ausführen des Schrittes des Sendens eines Diagnosesignals,
 - einen dritten Steuerungsvorrichtungsabschnitt (166) zum Ausführen des Schrittes des Feststellens, dass die Membran oder das Spülventil

15 (137) zumindest teilweise undicht ist, und

 - einen vierten Steuerungsvorrichtungsabschnitt (168) zum Ausführen des Schrittes des Sendens eines Steuersignals.
- 20 8. Dichtheitsanalysevorrichtung (180) für ein Brennstoffzellensystem (100), mit:
- einem Wasserstoffsensor (151), der dazu ausgebildet ist, ein Wasserstoffsignal zu erzeugen, das repräsentativ ist für eine Wasserstoffkonzentration in einem in einem Abgassystem (150) des Brennstoffzellensystems (100) vorhandenen Gasgemischs, und

25 - einer Steuerungsvorrichtung (160) nach einem der Ansprüche 6 und 7.
9. Brennstoffzellensystem (100), mit:
- einer Anode,

30 - einer mittels einer Membran von der Anode getrennte Kathode, - einem Anodenleitungssystem (130), in dem ein Spülventil (137) angeordnet ist,

- einem Abgassystem (150), das mit dem Anodenleitungssystem (130) fluidverbunden ist, und
- einer Dichtheitsanalysevorrichtung (180) nach Anspruch 8.

5 10. Computerprogramm, umfassend Befehle, die, wenn sie von einer Recheneinheit ausgeführt werden, die Recheneinheit veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 auszuführen.

10 11. Computerlesbares Medium, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 10 gespeichert ist.

15 12. Verwendung eines in einem Abgassystem (150) eines Brennstoffzellensystems (100) angeordneten Wasserstoffsensors (151) zum Feststellen einer Undichtigkeit im Brennstoffzellensystem (100) mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5.

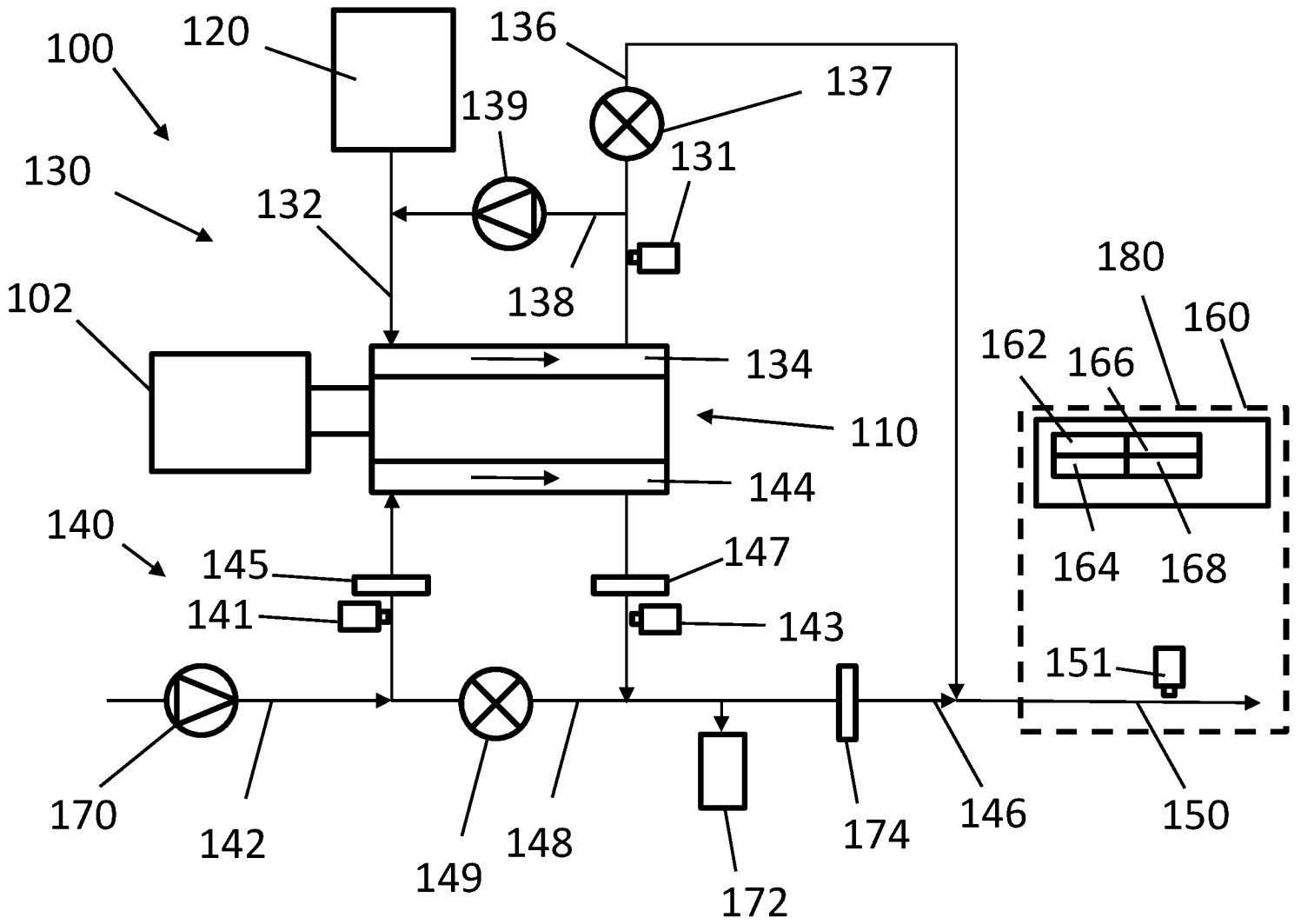


FIG 1

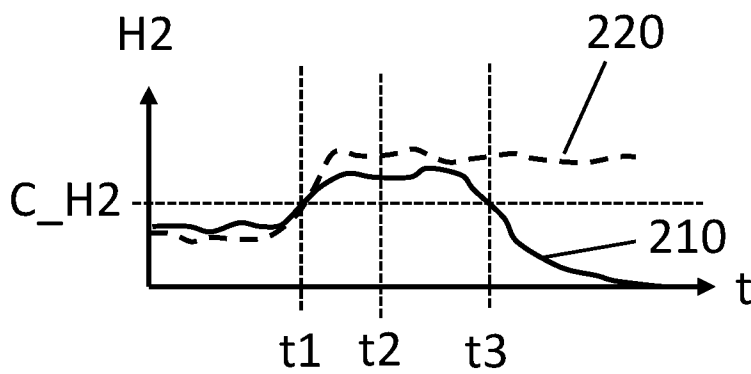


FIG 2

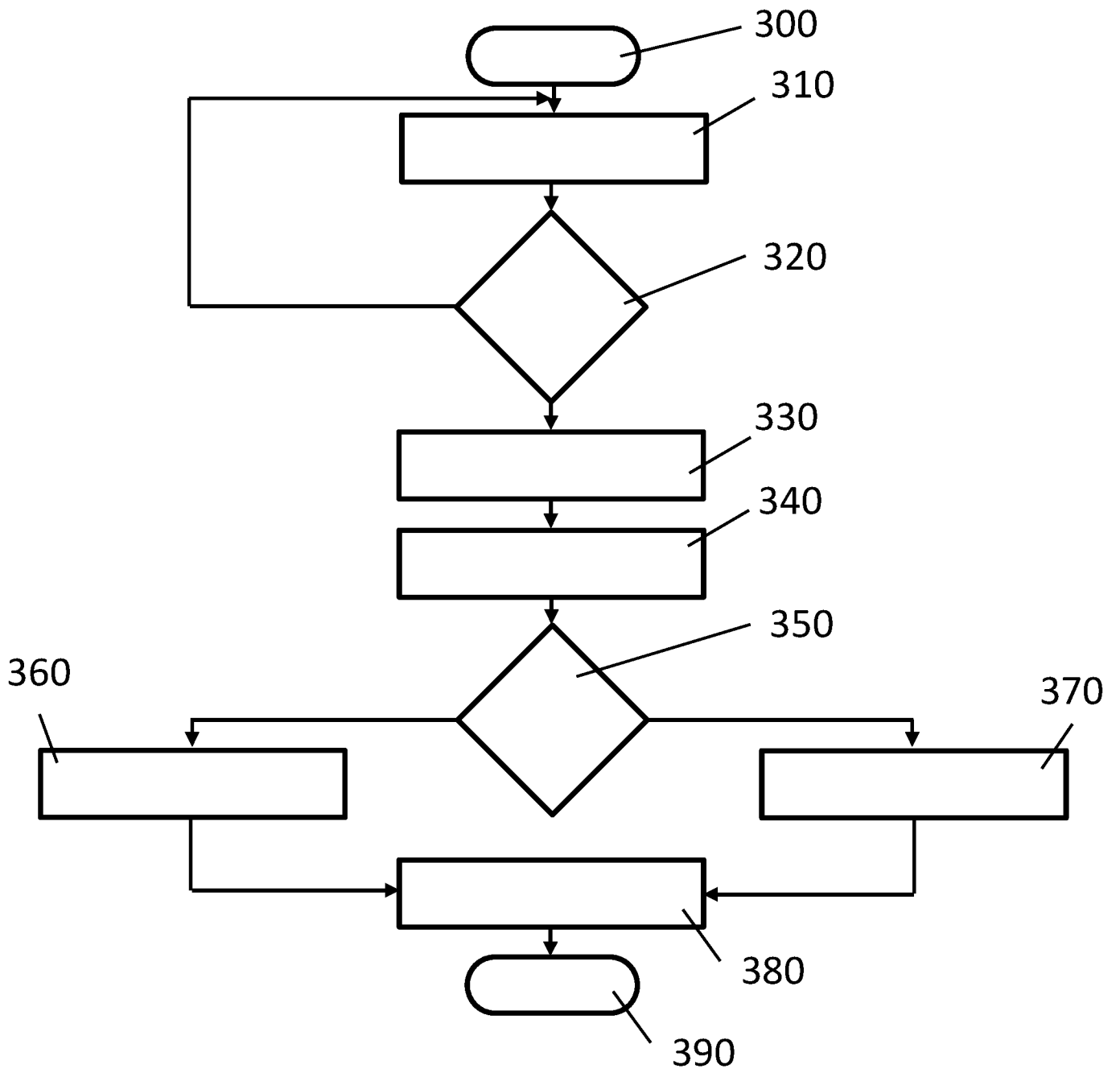


FIG 3