

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50773/2023 (51) Int. Cl.: **H01M 8/04537** (2016.01)
(22) Anmeldetag: 21.09.2023 **H01M 8/04664** (2016.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.01.2025 **H01M 8/04858** (2016.01)
H01M 8/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AUBRY, J. et al. "Fuel cell diagnosis methods for embedded automotive applications" Energy Reports [online]. 1. November 2022 (01.11.2022). Bd. 8, Seiten 6687–6706. [ermittelt am 13. Mai 2024]. <doi:10.1016/j.egy.2022.05.036>. Ermittelt von <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722008824>>
LOCHNER, T. et al. "Real-Time Impedance Analysis for the On-Road Monitoring of Automotive Fuel Cells" ChemElectroChem [online]. 2020 (2020). Bd. 7, Nr. 13, Seiten 2784–2791. [ermittelt am 8. Mai 2024]. <doi:10.1002/celc.202000510>. Ermittelt von <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/celc.202000510>>
ZHANG, X. et al. "A review of online electrochemical diagnostic methods of on-board proton exchange membrane fuel cells" Applied Energy [online]. März 2021 (03.2021). Bd. 286, Seiten 116481. [ermittelt am 13. Mai 2024]. <doi:10.1016/j.apenergy.2021.116481>. Ermittelt von <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261921000441>>

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Kainer Martin Dipl.-Ing. (FH)
8055 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), mit den Schritten:

- Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,
- Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,
- Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und
- Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen.

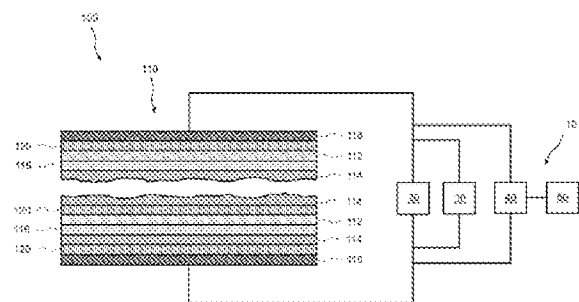


Fig. 1

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), mit den Schritten:

- Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,
- Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,
- Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und
- Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen.

Fig. 1

Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems, ein Computerprogrammprodukt zum Durchführen eines solchen Diagnoseverfahrens sowie eine Diagnosevorrichtung.

Im Stand der Technik sind Brennstoffzellenstapel mit PEM-Brennstoffzellen (Proton Exchange Membrane Brennstoffzellen) bekannt. Solche Brennstoffzellen weisen eine Brennstoffzellenmembran auf. Die Brennstoffzellenmembran einer solchen Brennstoffzelle trennt die Anode der Brennstoffzelle von der Kathode der Brennstoffzelle. Die Brennstoffzellenmembran darf nicht zu trocken werden, da sie sonst geschädigt werden könnte. Insbesondere könnten sich Löcher in der Brennstoffzellenmembran bilden. Um die Feuchtigkeit der Brennstoffzellenmembran einstellen zu können, muss man die Feuchtigkeit der Brennstoffzellenmembran zuvor erst messen. Die Feuchtigkeit kann z.B. mit einem Feuchtigkeitssensor gemessen werden. Dies ist jedoch technisch aufwendig, da ein Feuchtigkeitssensor benötigt wird, welcher entsprechend in der Nähe der Brennstoffzellenmembran installiert werden muss. Ebenfalls sind theoretische Simulationen der Feuchtigkeit der Brennstoffzellenmembran möglich. Solche Simulationen sind jedoch recht ungenau.

Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Diagnoseverfahren bereitzustellen, mit welchem eine Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels und insbesondere eine Austrocknung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels erkannt werden kann.

Die voranstehenden Aufgaben werden gelöst durch ein Diagnoseverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie eine Diagnosevorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Diagnoseverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Diagnosevorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Demgemäß wird ein Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems beschrieben. Das Diagnoseverfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Betreiben des Brennstoffzellenstapels mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel abgegriffen wird,
- Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel mit einem Messstrom,
- Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel aufgrund des überlagerten Messstroms, und
- Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran des Brennstoffzellenstapels zu erkennen.

Dadurch, dass die Brennstoffzellensystemantwort wie beschrieben bestimmt wird und mit einer Referenz verglichen wird, kann das Diagnoseverfahren sehr schnell und sehr genau durchgeführt werden. Weiter ist bei diesem Diagnoseverfahren nur ein geringer Rechenaufwand notwendig. Zusätzlich kann auf einen separaten Feuchtigkeitssensor, welcher in der Nähe einer Brennstoffzellenmembran angeordnet sein müsste, verzichtet werden.

Der Messstrom kann insbesondere ein Wechselstrom sein. Die Brennstoffzellensystemantwort ist insbesondere eine Impedanz, d.h. ein Wechselstromwiderstand, des Brennstoffzellenstapels. Es wird insbesondere der sogenannte HFR (High Frequency Resistance) bestimmt. Insbesondere kann die Frequenz des Messstroms verändert

werden. Dementsprechend kann an dem Brennstoffzellenstapel eine Impedanzspektroskopie durchgeführt werden.

Der Realteil der Impedanz des Brennstoffzellenstapels, also der ohmsche Widerstand des Brennstoffzellenstapels, ist proportional zur Feuchte der Brennstoffzellenmembranen. Dementsprechend kann der Realteil der Impedanz Aufschluss über die Feuchte der Brennstoffzellenmembranen geben. Somit lässt sich mit dem Diagnoseverfahren insbesondere eine Austrocknung der Brennstoffzellenmembranen erkennen.

Alternativ kann die Brennstoffzellensystemantwort auch eine Spannung oder ein Strom sein.

Der Arbeitsstrom ist insbesondere der Strom, welcher beim Betrieb des Brennstoffzellenstapels an den elektrischen Anschlüssen des Brennstoffzellenstapels anliegt und/oder angelegt wird.

Alternativ kann statt dem Arbeitsstrom und dem Messstrom auch eine Arbeitsspannung und eine Messspannung verwendet werden.

Die Referenz enthält insbesondere vorbestimmte Werte, welche mit der Brennstoffzellensystemantwort verglichen werden. Je nachdem wie der Vergleich von der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz ausfällt, wird eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran erkannt, oder es wird erkannt, dass keine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran vorliegt.

Die Brennstoffzellenmembran einer Brennstoffzelle trennt die Anode der Brennstoffzelle von der Kathode der Brennstoffzelle. Insbesondere handelt es sich bei der Brennstoffzellenmembran um eine PEM (Proton Exchange Membrane).

Eine Schädigung der Brennstoffzellenmembran liegt dann vor, wenn die Brennstoffzellenmembran nicht wie gewünscht funktioniert. Dabei können verschiedene Schädigungsarten zu einer Schädigung der Brennstoffzellenmembran führen. Insbesondere können die Schädigungsarten Austrocknung der Brennstoffzellenmembran, Löcher in der Brennstoffzellenmembran, und/oder Vergiftung der Brennstoffzellenmembran vorliegen.

Das Brennstoffzellensystem kann mehrere Brennstoffzellenstapel aufweisen. In diesem Fall kann das Diagnoseverfahren bei einem Brennstoffzellenstapel durchgeführt werden. Alternativ kann das Diagnoseverfahren auch bei mehreren Brennstoffzellenstapeln des Brennstoffzellensystems durchgeführt werden.

Die Einprägung des Messstroms kann bei den bestehenden Anschlüssen des Brennstoffzellenstapels für den Arbeitsstrom erfolgen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird der Messstrom nur temporär überlagert. Dabei bedeutet nur temporär überlagert, dass die Überlagerung nicht dauerhaft stattfindet. Es ist z.B. ein bestimmtes Ereignis nötig und/oder eine Bedingung eines Parameters muss erfüllt sein, damit die Überlagerung mit dem Messstrom ausgelöst wird. Ein bestimmtes Ereignis kann z.B. der Ablauf einer Zeitspanne sein. Bei dem Parameter kann es sich um einen Parameter des Brennstoffzellensystems handeln, wie z.B. den Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems, die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems und die Drucksituation innerhalb des Brennstoffzellensystems.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens weist das Diagnoseverfahren einen vorangestellten Schritt auf, bei welchem ein Parameter des Brennstoffzellensystems überwacht wird, und nur falls eine vorbestimmte Bedingung erfüllt ist, werden der Schritt des Überlagerns mit dem Messstrom und die darauffolgenden Schritte durchgeführt. Dementsprechend wird eine Vordiagnose gemacht, d.h. der vorangestellte Schritt stellt eine Vordiagnose dar. Nur wenn die Bedingung der Vordiagnose erfüllt ist, werden die restlichen Schritte des Diagnoseverfahrens ausgeführt.

Bei den Parametern handelt es sich z.B. um den Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems, um die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems und um die Drucksituation innerhalb des Brennstoffzellensystems. Falls ein solcher Parameter einen Wert erreicht (also eine vorbestimmte Bedingung erfüllt), der anzeigt, dass eine genauere Überprüfung des Brennstoffzellensystems angezeigt ist, dann werden der Schritt des Überlagerns mit dem Messstrom und die darauffolgenden Schritte durchgeführt.

Der Parameter kann auch die Zeit sein. Nur wenn eine gewisse Zeit abgelaufen ist, wird der Schritt des Überlagerns mit dem Messstrom durchgeführt. Die vorbestimmte Bedingung kann dann eine gewisse Zeitspanne sein, welche abgelaufen sein muss.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird die Referenz durch Messungen und/oder durch theoretische Berechnungen bestimmt. Die Messungen können zum Beispiel auf einem Prüfstand erfolgen. Beispielsweise können die Messungen zur Bestimmung der Referenz bei einem Brennstoffzellenstapel durchgeführt werden, welcher zumindest eine Brennstoffzellenmembran mit einer bekannten Schädigung aufweist. Das hier ermittelte Ergebnis, kann dann zur Bestimmung der Referenz herangezogen werden. Alternativ oder zusätzlich können auch theoretische Überlegungen angestellt werden und die Referenz aufgrund solcher theoretischer Überlegungen berechnet werden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird die Referenz für verschiedene Frequenzen des Messstroms bestimmt. Die Referenz wird also so bestimmt, dass sie für unterschiedliche Frequenzen des Messstroms unterschiedliche Werte aufweist. Es wird z.B. ein Frequenzbereich an möglichen Messströmen abgefahren. Dabei wird bei mehreren Frequenzen aus dem Frequenzbereich die Brennstoffzellensystemantwort bei einem Brennstoffzellenstapel mit einer Brennstoffzellenmembran mit einer bekannten Schädigung, z.B. auf einem Prüfstand, gemessen. Aus diesem Ergebnis kann eine Referenz ermittelt werden, welche abhängig von der Frequenz ist. Die Referenz wird so für verschiedenen Frequenzen bestimmt, welche der Messstrom aufweisen kann. Alternativ können theoretische Berechnung durchgeführt werden, um die Referenz für verschiedenen mögliche Frequenzen des Messstroms zu berechnen.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird die Referenz für verschiedene Schädigungsarten der zumindest einen Brennstoffzellenmembran bestimmt. Die Messungen zur Bestimmung der Referenz werden bei Brennstoffzellenstapeln mit verschiedenen Brennstoffzellenmembranen durchgeführt, welche jeweils eine unterschiedliche Schädigungsart, beispielsweise Austrocknung der Brennstoffzellenmembran, Löcher in der Brennstoffzellenmembran oder Vergiftung der Brennstoffzellenmembran, aufweisen. Das hier ermittelte Ergebnis, kann dann zur Bestimmung der Referenz herangezogen werden. Insbesondere kann auch bei jedem

Brennstoffzellenstapel mit jeweils verschiedener Brennstoffzellenmembran die Frequenz durchgefahren werden, so dass eine Informations-Matrix erstellt werden kann, welche Informationen über die Schädigungsart und die jeweilige Frequenz vereint. Mittels dieser Informations-Matrix kann eine Referenz ermittelt werden, welche dann eine Referenz-Matrix von Schädigungsart und Frequenz bildet.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens enthält die Referenz Informationen bei verschiedenen Frequenzen und bei verschiedenen Schädigungsarten. Dabei kann mittels des Vergleichs der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz eine konkrete Schädigungsart der zumindest einen Brennstoffzellenmembran erkannt werden. Die Referenz stellt eine Matrix da. Die Matrix enthält Werte bei verschiedenen Frequenzen und bei verschiedenen Schädigungsarten. Führt man die Diagnose mit einer bestimmten Frequenz oder mit mehreren Frequenzen eines Messstroms durch, dann kann man anhand eines Vergleichs der Brennstoffzellensystemantwort oder der Brennstoffzellensystemantworten mit der Referenz, also mit der Referenz in der Form einer Matrix, erkennen, um welche Schädigungsart es sich handelt.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird das Diagnoseverfahren mit einer bestimmten Frequenz des Messstroms ausgeführt, wenn eine bestimmte Schädigungsart als wahrscheinlich erscheint. Vorteilhafterweise kann genau die Frequenz für den Messstrom ausgewählt werden, bei welcher eine Brennstoffzellensystemantwort erwartet wird, mit welcher man die Schädigungsart sicher erkennen kann.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens erscheint die bestimmte Schädigungsart dann als wahrscheinlich, wenn eine Vordiagnose auf diese bestimmte Schädigungsart hinweist. Falls als Vordiagnose erkannt wird, dass z.B. der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle zu gering ist, dann ist wahrscheinlich, dass z.B. die Brennstoffzellenmembran ausgetrocknet ist. In diesem Fall appliziert das Diagnoseverfahren eine bestimmte Frequenz für den Messstrom, bei welcher man eine entsprechende Brennstoffzellensystemantwort erhält, bei welcher man gut erkennen kann, dass z.B. die Brennstoffzellenmembran ausgetrocknet ist.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens wird eine Alterung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran bei der Referenz berücksichtigt. Dadurch kann berücksichtigt werden, dass sich Auffälligkeiten in der Brennstoffzellensystemantwort für eine bestimmte Schädigung bei einer bestimmten Frequenz mit der Alterung der Brennstoffzellenmembran in der Frequenz verschieben. Das heißt die Frequenzen, wo die Auffälligkeiten in der Brennstoffzellensystemantwort sind, verschieben sich wegen der Alterung der Brennstoffzellenmembran mit der Zeit. Dadurch ergeben sich dann auch in der Referenz Verschiebungen von Grenzwerten in der Frequenz.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens erfolgt eine Plausibilitätsprüfung, ob die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran nach einer verstrichenen Betriebszeit plausibel ist. Vorteilhafterweise kann durch die Plausibilitätsprüfung eine weitere Analyse vorgenommen werden. Dabei ist die verstrichene Betriebszeit die gesamte Zeit, in welcher der Brennstoffzellenstapel schon in Betrieb ist. Alternativ kann nicht nur erkannt werden, ob es plausibel ist, dass eine Schädigung erfolgt ist, es kann ebenfalls eine Plausibilitätsprüfung für eine bestimmte Schädigungsart vorgenommen werden.

Die Referenz kann die gesamte Betriebsdauer des Brennstoffzellenstapels berücksichtigen. Die Brennstoffzellensystemantwort auf den Messstrom kann sich mit der Alterung des Brennstoffzellenstapels ändern. Dabei kann eine Schädigung plausibel zu jedem Zeitpunkt stattfinden.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens ist der Messstrom ein Wechselstrom, wobei eine Frequenz des Messstroms im Bereich von 1000 Hz bis 10000 Hz und insbesondere im Bereich von 1000 Hz bis 5000 Hz liegt. Insbesondere kann die Frequenz des Messstroms im Hochfrequenzbereich liegen.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des Diagnoseverfahrens erfolgt eine Ausgabe, welche angibt, dass die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran vorhanden ist, wenn ein Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem Ergebnis führt, oder, es erfolgt eine Ausgabe, welche angibt, dass keine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran vorhanden ist, wenn ein Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem

Ergebnis führt. Insbesondere kann die Ausgabe akustisch, optisch oder als Datenstrom erfolgen.

Darüber hinaus ist ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Diagnoseverfahrens durchzuführen. Damit bringt auch ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Diagnoseverfahren erläutert worden sind.

Weiter wird eine Diagnosevorrichtung zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems bereitgestellt. Die Diagnosevorrichtung umfasst ein Arbeitsstrom-Betriebsmodul zum Betreiben des Brennstoffzellenstapels mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel abgegriffen wird, ein Messstrom-Überlagerungsmodul zum Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel mit einem Messstrom, ein Bestimmungsmodul zum Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel aufgrund des überlagerten Messstroms, und ein Vergleichsmodul zum Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran des Brennstoffzellenstapels zu erkennen.

Dabei sind das Arbeitsstrom-Betriebsmodul, das Messstrom-Überlagerungsmodul, das Bestimmungsmodul und/oder das Vergleichsmodul insbesondere für eine Durchführung des erfindungsgemäßen Diagnoseverfahrens ausgebildet.

Das Arbeitsstrom-Betriebsmodul, das Messstrom-Überlagerungsmodul, das Bestimmungsmodul und das Vergleichsmodul können als separate Komponenten ausgebildet sein. Alternativ können auch zwei oder mehrere der zuvor genannten Module als eine gemeinsame Komponente ausgebildet sein. Insbesondere können das Arbeitsstrom-Betriebsmodul und das Messstrom-Überlagerungsmodul als eine Komponente ausgebildet sein.

Weitere mögliche Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der

Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der Erfindung hinzufügen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Brennstoffzellensystems mit einem Brennstoffzellenstapel und eine Diagnosevorrichtung; und

Fig. 2 ein Diagramm mit den Schritten eines Diagnoseverfahrens.

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht eines Brennstoffzellensystems 100 mit einem Brennstoffzellenstapel 110 und eine Diagnosevorrichtung 10. Der Brennstoffzellenstapel 110 weist mehrere Brennstoffzellen mit jeweils einer Anode 112, einer Kathode 114 und einer Brennstoffzellenmembran 116 auf. Die jeweilige Brennstoffzellenmembran 116 trennt die jeweilige Anode 112 und die jeweilige Kathode 114. An den Enden des Brennstoffzellenstapels 110 befinden sich elektrische Anschlüsse 118. Über die elektrischen Anschlüsse 118 erfolgt die Zuführung des Arbeitsstroms und/oder des Messstroms. Die elektrischen Anschlüsse 118 sind in elektrischem Kontakt mit jeweils einer Bipolarplatte 120. Die Bipolarplatten 120 dienen zum Leiten des elektrischen Stroms. Weiter sind die Abschnitte zum Zuführen von Anodenzuführgas, zum Abführen von Anodenabgas, zum Zuführen von Kathodenzuführgas und zum Abführen von Kathodenabgas in der Fig. 1 nicht dargestellt.

Die Diagnosevorrichtung 10 weist ein Arbeitsstrom-Betriebsmodul 20, ein Messstrom-Überlagerungsmodul 30, ein Bestimmungsmodul 40 und ein Vergleichsmodul 50 auf. Dabei dient die Diagnosevorrichtung 10 zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran 116 des Brennstoffzellenstapels 110. Das Arbeitsstrom-Betriebsmodul 20 ist mit den elektrischen Anschlüssen 118 des Brennstoffzellenstapels 110 elektrisch verbunden. Dabei dient das Arbeitsstrom-Betriebsmodul 20 zum Betreiben des Brennstoffzellenstapels 110 mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom über die elektrischen Anschlüsse 118 an den Brennstoffzellenstapel 110 angelegt wird und/oder über die elektrischen Anschlüsse 118 an dem Brennstoffzellenstapel 110 abgegriffen wird. Das Messstrom-Überlagerungsmodul 30 ist ebenfalls

mit den elektrischen Anschlüssen 118 des Brennstoffzellenstapels 110 elektrisch verbunden. Mittels dem Messstrom-Überlagerungsmodul 30 kann der Arbeitsstrom an dem Brennstoffzellenstapel 110 mit einem Messstrom überlagert werden. Weiter ist das Bestimmungsmodul 40 ebenfalls mit den elektrischen Anschlüssen 118 des Brennstoffzellenstapels 110 elektrisch verbunden, um eine Brennstoffzellensystemantwort an den elektrischen Anschlüssen 118 des Brennstoffzellenstapels 110 abzugreifen. Mittels dem Bestimmungsmodul 40 kann die Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel 110 aufgrund des überlagerten Messstroms bestimmt werden. Das Vergleichsmodul 50 ist mit dem Bestimmungsmodul 40 verbunden, um von dem Bestimmungsmodul 40 die Brennstoffzellensystemantwort zu erhalten. Das Vergleichsmodul 50 dient zum Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran 116 des Brennstoffzellenstapels 110 zu erkennen.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm mit den Schritten eines Diagnoseverfahrens. Dabei dient das Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran 116 eines Brennstoffzellenstapels 110 eines Brennstoffzellensystems 100. Das Diagnoseverfahren weist die folgenden Schritte auf:

In einem ersten Schritt S1 wird der Brennstoffzellenstapel 110 mit einem Arbeitsstrom betrieben. Dazu wird der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel 110 angelegt und/oder an dem Brennstoffzellenstapel 110 abgegriffen.

In einem zweiten Schritt S2 wird der Arbeitsstrom an dem Brennstoffzellenstapel 110 mit einem Messstrom überlagert.

In einem dritten Schritt S3 wird eine Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel 110 aufgrund des überlagerten Messstroms bestimmt.

In einem vierten Schritt S4 wird die Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz verglichen, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran 116 des Brennstoffzellenstapels 110 zu erkennen.

Die Referenz stellt insbesondere eine Bedingung dar. Eine solche Bedingung kann sein, dass die Brennstoffzellensystemantwort in einem Bereich, welchen die Referenz vorgibt, liegt. Alternativ kann die Bedingung auch sein, dass die

Brennstoffzellensystemantwort größer oder kleiner als die Referenz ist. Ist eine solche Bedingung erfüllt, dann erfolgt z.B. eine Ausgabe, dass eine Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran 116 des Brennstoffzellenstapels 110 vorliegt. Andernfalls erfolgt z.B. eine Ausgabe, dass keine Schädigung einer Brennstoffzellenmembran 116 des Brennstoffzellenstapels 110 vorliegt. Die Referenz kann durch Messungen in einem Prüfstand bestimmt werden und/oder durch theoretische Überlegungen berechnet werden.

Insbesondere wird der Messstrom nicht ständig überlagert, sondern nur wenn eine bestimmte Bedingung oder ein bestimmtes Ereignis eingetreten ist, oder z.B. eine Zeitspanne abgelaufen ist.

Der Messstrom kann ein Wechselstrom sein. Bevorzugt liegt die Frequenz des Messstroms im Hochfrequenzbereich. Die Brennstoffzellensystemantwort ist bevorzugt eine Impedanz, d.h. ein Wechselstromwiderstand, des Brennstoffzellenstapels 110. Der Realteil der Impedanz des Brennstoffzellenstapels 110, also der ohmsche Widerstand des Brennstoffzellenstapels 110, ist proportional zur Feuchte der Brennstoffzellenmembranen 116. Dadurch ist das Diagnoseverfahren insbesondere dazu geeignet eine Austrocknung der Brennstoffzellenmembranen 116 zu erkennen.

Die Referenz kann in der Art einer Matrix erstellt werden. Dazu wird die Referenz zum einen für verschiedene mögliche Messströme erstellt. Zum anderen wird die Referenz mit Hilfe von Brennstoffzellenstapeln 110 mit jeweils verschiedenen Brennstoffzellenmembranen 116 auf einem Prüfstand erstellt, wobei die Brennstoffzellenmembranen 116 alle eine bekannte Schädigungsart aufweisen. Insgesamt erhält man eine Referenz für verschiedene Schädigungsarten und bei jeder Schädigungsart für verschiedene Frequenzen. Eine Schädigungsart ist z.B. eine Austrocknung der Brennstoffzellenmembran 116, Löcher in der Brennstoffzellenmembran 116 oder eine Vergiftung der Brennstoffzellenmembran 116. Nachdem eine solche Referenz in der Art einer Matrix erstellt wurde, kann man bei dem Diagnoseverfahren durch einen Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz auch auf eine bestimmte Schädigungsart schließen.

Es ist ebenfalls möglich das Diagnoseverfahren mit einer bestimmten Frequenz des Messstroms auszuführen, wenn eine bestimmte Schädigungsart als wahrscheinlich

erscheint. Mittels des Diagnoseverfahrens kann dann überprüft werden, ob es sich tatsächlich um diese Schädigungsart handelt, weil bei dieser Schädigungsart und dieser Frequenz des Messstroms eine spezifische Brennstoffzellensystemantwort erwartet wird. Insbesondere erscheint eine bestimmte Schädigungsart dann als wahrscheinlich, wenn eine Vordiagnose auf diese bestimmte Schädigungsart hinweist.

Bezugszeichenliste

10	Diagnosevorrichtung
20	Arbeitsstrom-Betriebsmodul
30	Messstrom-Überlagerungsmodul
40	Bestimmungsmodul
50	Vergleichsmodul
100	Brennstoffzellensystem
110	Brennstoffzellenstapel
112	Anode
114	Kathode
116	Brennstoffzellenmembran
118	elektrischer Anschluss
120	Bipolarplatte
S1	erster Schritt
S2	zweiter Schritt
S3	dritter Schritt
S4	vierter Schritt

Patentansprüche

1. Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), **gekennzeichnet durch** die Schritte:
 - Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,
 - Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,
 - Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und
 - Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen.
2. Diagnoseverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messstrom nur temporär überlagert wird.
3. Diagnoseverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Diagnoseverfahren einen vorangestellten Schritt aufweist, bei welchem ein Parameter des Brennstoffzellensystems (100) überwacht wird, und nur falls eine vorbestimmte Bedingung erfüllt ist, der Schritt des Überlagerns mit dem Messstrom und die darauffolgenden Schritte durchgeführt werden.
4. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz durch Messungen bestimmt wird und/oder durch theoretische Berechnungen bestimmt wird.
5. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz für verschiedene Frequenzen des Messstroms bestimmt wird.

6. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz für verschiedene Schädigungsarten der zumindest einen Brennstoffzellenmembran bestimmt wird.
7. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz Informationen bei verschiedenen Frequenzen und bei verschiedenen Schädigungsarten enthält, und mittels des Vergleichs der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz eine konkrete Schädigungsart der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) erkannt werden kann.
8. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Diagnoseverfahren mit einer bestimmten Frequenz des Messstroms ausgeführt wird, wenn eine bestimmte Schädigungsart als wahrscheinlich erscheint.
9. Diagnoseverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bestimmte Schädigungsart dann als wahrscheinlich erscheint, wenn eine Vordiagnose auf diese bestimmte Schädigungsart hinweist.
10. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Alterung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) bei der Referenz berücksichtigt wird.
11. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Plausibilitätsprüfung erfolgt, ob die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) nach einer verstrichenen Betriebszeit plausibel ist.
12. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messstrom ein Wechselstrom ist, wobei eine Frequenz des Messstroms im Bereich von 1000 Hz bis 10000 Hz und insbesondere im Bereich von 1000 Hz bis 5000 Hz liegt.
13. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ausgabe erfolgt, welche angibt, dass die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) vorhanden ist, wenn ein

Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem Ergebnis führt, oder, dass eine Ausgabe erfolgt, welche angibt, dass keine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) vorhanden ist, wenn ein Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem Ergebnis führt.

14. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Diagnoseverfahrens mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.
15. Diagnosevorrichtung (10) zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), **gekennzeichnet durch**

ein Arbeitsstrom-Betriebsmodul (20) zum Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,

ein Messstrom-Überlagerungsmodul (30) zum Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,

ein Bestimmungsmodul (40) zum Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und

ein Vergleichsmodul (50) zum Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen.

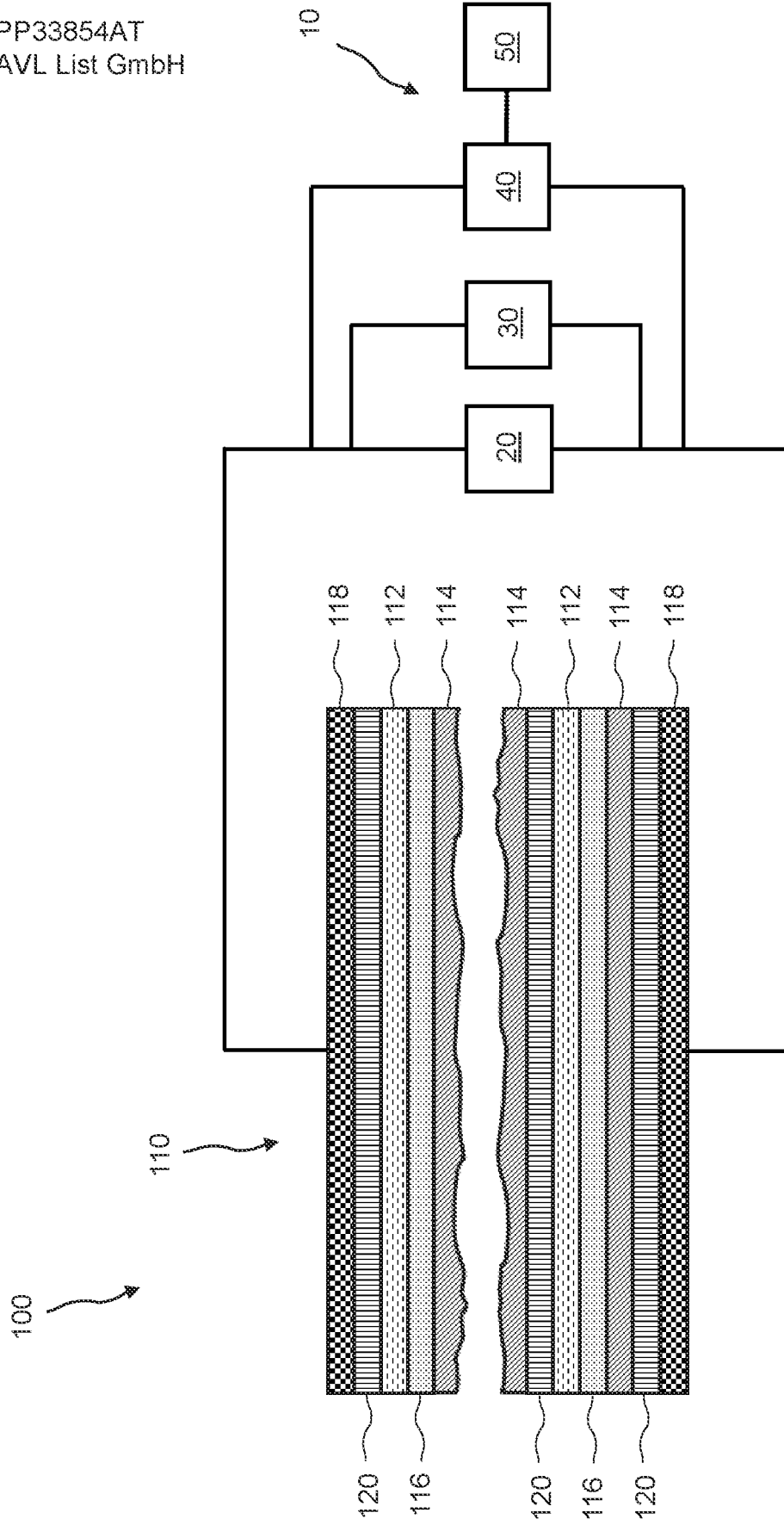


Fig. 1

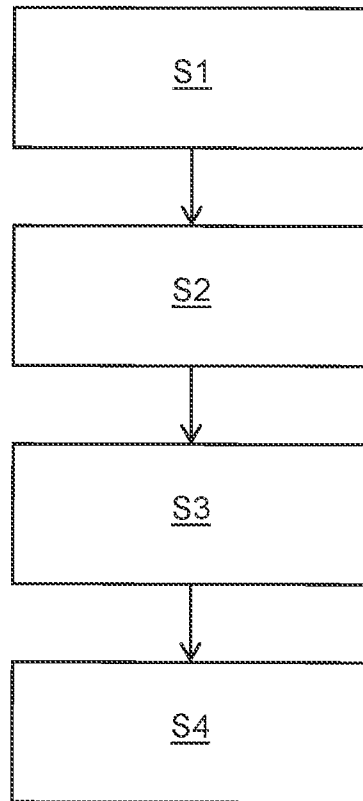


Fig. 2

Geänderte Patentansprüche

(Reinschrift)

1. Diagnoseverfahren zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), **gekennzeichnet durch** die Schritte:
 - Bestimmen einer Referenz durch Messungen und/oder durch theoretische Berechnungen,
 - Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,
 - Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,
 - Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und
 - Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen, **dadurch gekennzeichnet, dass**

das Diagnoseverfahren einen vorangestellten Schritt aufweist, bei welchem ein Parameter des Brennstoffzellensystems (100) überwacht wird, und nur falls eine vorbestimmte Bedingung erfüllt ist, der Schritt des Überlagerns mit dem Messstrom und die darauffolgenden Schritte durchgeführt werden, wobei

das Diagnoseverfahren mit einer bestimmten Frequenz des Messstroms ausgeführt wird, wenn eine bestimmte Schädigungsart als wahrscheinlich erscheint, wobei die bestimmte Schädigungsart dann als wahrscheinlich erscheint, wenn eine Vordiagnose auf diese bestimmte Schädigungsart hinweist.
2. Diagnoseverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messstrom nur temporär überlagert wird.

3. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz für verschiedene Frequenzen des Messstroms bestimmt wird.
4. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz für verschiedene Schädigungsarten der zumindest einen Brennstoffzellenmembran bestimmt wird.
5. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenz Informationen bei verschiedenen Frequenzen und bei verschiedenen Schädigungsarten enthält, und mittels des Vergleichs der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz eine konkrete Schädigungsart der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) erkannt werden kann.
6. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Alterung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) bei der Referenz berücksichtigt wird.
7. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Plausibilitätsprüfung erfolgt, ob die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) nach einer verstrichenen Betriebszeit plausibel ist.
8. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messstrom ein Wechselstrom ist, wobei eine Frequenz des Messstroms im Bereich von 1000 Hz bis 10000 Hz und insbesondere im Bereich von 1000 Hz bis 5000 Hz liegt.
9. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ausgabe erfolgt, welche angibt, dass die Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) vorhanden ist, wenn ein Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem Ergebnis führt, oder, dass eine Ausgabe erfolgt, welche angibt, dass keine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) vorhanden ist, wenn ein Vergleich der Brennstoffzellensystemantwort mit der Referenz zu diesem Ergebnis führt.

10. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen die Schritte eines Diagnoseverfahrens mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.
11. Diagnosevorrichtung (10) zum Erkennen einer Schädigung zumindest einer Brennstoffzellenmembran (116) eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100), **gekennzeichnet durch**
- ein Arbeitsstrom-Betriebsmodul (20) zum Betreiben des Brennstoffzellenstapels (110) mit einem Arbeitsstrom, wobei der Arbeitsstrom an den Brennstoffzellenstapel (110) angelegt wird und/oder an dem Brennstoffzellenstapel (110) abgegriffen wird,
 - ein Messstrom-Überlagerungsmodul (30) zum Überlagern des Arbeitsstroms an dem Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Messstrom,
 - ein Bestimmungsmodul (40) zum Bestimmen einer Brennstoffzellensystemantwort an dem Brennstoffzellenstapel (110) aufgrund des überlagerten Messstroms, und
 - ein Vergleichsmodul (50) zum Vergleichen der Brennstoffzellensystemantwort mit einer Referenz, um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzellenmembran (116) des Brennstoffzellenstapels (110) zu erkennen, wobei
- das Arbeitsstrom-Betriebsmodul (20), das Messstrom-Überlagerungsmodul (30), das Bestimmungsmodul (40) und/oder das Vergleichsmodul (50) für eine Durchführung des Diagnoseverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet sind.