

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50179/2023
(22) Anmeldetag: 09.03.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2024

(51) Int. Cl.: **H01M 8/0492** (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2021336281 A1
KHATTRA, N.S. et al. "Residual fatigue life modeling of fuel cell membranes" Journal of Power Sources [online]. 30. November 2020 (30.11.2020). Bd. 477, Seiten 228714. [ermittelt am 29. September 2023].
<doi:10.1016/j.jpowsour.2020.228714>. Ermittelt von
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775320310181>>
DE 102022120620 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Bruhn Tanner
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.techn.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustands einer Brennstoffzelle, eines Brennstoffzellenstapels und/oder eines Brennstoffzellensystems**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200),
- Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP),
- Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE),
- Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ),
- Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112),
- Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs.

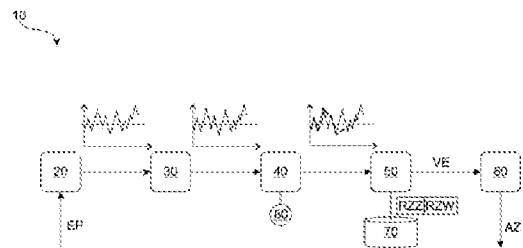


Fig. 2

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:

- Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200),
- Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP),
- Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE),
- Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ),
- Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112),
- Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs.

Fig. 2

Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustands einer Brennstoffzelle, eines Brennstoffzellenstapels und/oder eines Brennstoffzellensystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustandes einer Brennstoffzelle, eines Brennstoffzellenstapels und/oder eines Brennstoffzellensystems, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Verfahrens sowie eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Es ist bekannt, dass einzelne Brennstoffzellen, Brennstoffzellenstapel mit mehreren gestapelten Brennstoffzellen sowie komplette Brennstoffzellensysteme auf Prüfständen betrieben werden. Dies dient dazu, die Zusammenhänge der Betriebsweisen zu überprüfen und für die späteren Kontrollverfahren besser kennenzulernen. Insbesondere werden Prüfstandsversuche eingesetzt, um Alterungszustände an Brennstoffzellen, Brennstoffzellenstapeln und Brennstoffzellensystemen zu erkennen und für den späteren Einsatz zur Stromerzeugung im stationären oder mobilen Einsatz entsprechend die Kontrollverfahren möglichst schädigungsarm durchführen zu können.

Bei bekannten Prüfstandssystemen wird daher insbesondere das elektrische Potenzial beim Betrieb auf dem Prüfstand überwacht und anschließend die Zyklenzahl, also die Lastwechselzahl zwischen unterschiedlichen Lastsituationen, bewertet. Diese Bewertung basiert jedoch allein auf einem Aufsummieren der einzelnen erfassten Zyklen und der entsprechenden mathematischen Integration. Dies führt dazu, dass zwar die Anzahl der Zyklen, jedoch nicht die Relevanz der jeweiligen Zyklen berücksichtigt werden kann. Mit anderen Worten werden unterschiedliche Lastverläufe, welche dennoch ähnliche oder sogar identische Zyklenzahlen aufweisen, bei einer solchen Auswertung Unterschiede im sich ergebenden Alterungszustand, welche real vorliegen, bei den bekannten Überwachungsverfahren nicht oder zumindest nur teilweise als unterschiedlich erkannt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Erfassung und Bestimmung eines Alterungszustands an einer Brennstoffzelle, einem

Brennstoffzellenstapel und/oder einem Brennstoffzellensystem auf einem Prüfstand zur Verfügung stellen zu können.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 13 sowie eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14. 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 Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß dient das Verfahren einer Bestimmung eines Alterungszustandes einer Brennstoffzelle, eines Brennstoffzellenstapels und/oder eines Brennstoffzellensystems auf einem Prüfstand. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

- Überwachung des Verlaufs des elektrischen Potentials beim Betrieb auf dem Prüfstand,
- Erfassen von lokalen Extrema im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials,
- Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl basierend auf erfassten Zyklen der erfassten lokalen Extrema,
- Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten zu allen lokalen Extrema der reduzierten Zyklenzahl,
- Vergleich der reduzierten Zyklenzahl und der reduzierten Zyklenwerte mit einer Vergleichsdatenbank zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen,
- Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren wird bestimmungsgemäß an Prüfständen eingesetzt. Es kann dazu dienen, einzelne Brennstoffzellen, Brennstoffzellenstapel, aber auch komplexe Brennstoffzellensysteme zu überwachen. Im nachfolgenden Verlauf der Beschreibung wird häufig auf Brennstoffzellensysteme Bezug genommen. Darunter ist jedoch ebenfalls die Verwendung für Brennstoffzellenstapel oder einzelne Brennstoffzellen im Sinne der vorliegenden Erfindung zu verstehen.

Das Verfahren basiert darauf, den Verlauf des elektrischen Potentials beim Betrieb auf dem Prüfstand zu überwachen. Mit anderen Worten wird mit Hilfe von Sensoren das elektrische Potential erfasst und dessen Verlauf aufgezeichnet. Der Verlauf kann anschließend ausgewertet werden und lokale Extrema, also insbesondere lokale Minima und lokale Maxima, erfasst werden. Auch ein reines Erfassen der lokalen Extrema ohne ein Aufzeichnen des dazwischen liegenden Verlaufs ist im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich. Diese einzelnen lokalen Extrema stellen sozusagen bereits die erfassten Zyklen dar, also die Wechsellpunkte zwischen unterschiedlichen Lastsituationen und die damit einhergehende Belastung für das Brennstoffzellensystem.

Während bei bisher vorhandenen Lösungen nun eine Auswertung dieser erfassten lokalen Extrema durchgeführt wurde, geht ein erfindungsgemäßes Verfahren weiter. In einem ersten folgenden Schritt wird eine reduzierte Zyklenzahl bestimmt, welche auf der erfassten Zyklenzahl der erfassten lokalen Extrema basiert. Hierzu wird zum Beispiel ein später noch näher erläuteter Reduktionsalgorithmus eingesetzt, um die Anzahl der erfassten Zyklen auf eine Anzahl von relevanten reduzierten Zyklen zu reduzieren.

Unter einer reduzierten Zyklenzahl ist im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Fokussierung auf für die Alterungsmechanismen besonders relevante Zyklen zu verstehen. Damit reduziert sich die Gesamtzahl der betrachteten Zyklen, wobei jedoch nicht die Reduktion, sondern die Hervorhebung der für die Alterung besonders relevanten Zyklen im Vordergrund steht. Somit kann der Begriff „reduziert“ im Sinne der vorliegenden Erfindung auch als „fokussiert“ und/oder „relevant“ verstanden werden. Die reduzierte Zyklenzahl lässt sich demnach auch als fokussierte Zyklenzahl oder relevante Zyklenzahl bezeichnen, wie sich auch entsprechend die reduzierten Zyklenwerte als fokussierte Zyklenwerte oder relevante Zyklenwerte bezeichnen lassen.

Mit anderen Worten erlaubt die Betrachtung aller erfassten lokalen Extrema in der bekannten Weise eine Erfassung der Alterungszustände sozusagen in einer Mikro-Perspektive und die neue Variante der reduzierten/fokussierten/relevanten Zyklenzahl eine Erfassung der Alterungszustände in einer Makro-Perspektive.

Nachdem die für das Verfahren zugrunde gelegte Zyklenzahl sich von den erfassten Zyklen zu den reduzierten Zyklen verringert hat, wird in einem weiteren Schritt nun für alle lokalen Extrema der reduzierten Zyklenzahl noch der jeweils zugehörige Zykluswert, also das elektrische Potenzial an dem jeweiligen lokalen Extremum der reduzierten Zyklenzahl bestimmt. Im einfachsten Fall erfolgt dies durch Auslesen aus dem aufgezeichneten Verlauf.

Im vorletzten Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun eine Vergleichsdatenbank verwendet, welche insbesondere zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen spezifisch ist. Diese Vergleichsdatenbank kann zum Beispiel durch vorhergegangene Prüfstandsversuche, aber auch durch Einzelversuche an Brennstoffzellen mit Daten bestückt worden sein, welche Auskunft darüber geben, mit welcher Zyklenzahl und welchen Zykluswerten welche Schädigungsmechanismen gefördert werden und welcher Alterungszustand damit zu erwarten ist. Auch können physikalische, chemische und/oder materialwissenschaftliche Zusammenhänge in der Vergleichsdatenbank berücksichtigt sein. Dieser Vergleich kann ein einfacher Vergleich in Form eines Auslesens aus der Datenbank sein, kann jedoch auch weitere algorithmische Bearbeitungsschritte umfassen.

Im Wesentlichen entscheidend ist, dass für den Vergleich mit der Vergleichsdatenbank nun im Unterschied zu den Lösungen des Standes der Technik nicht mehr die erfasste Zyklenzahl, sondern die reduzierte/fokussierte Zyklenzahl verwendet wird, welche nun zusätzlich durch die reduzierten/fokussierten Zykluswerte, also tatsächliche Informationen über das elektrische Potenzial der einzelnen lokalen Extrema, ergänzt worden ist. Diese Reduktion/Fokussierung der Zyklenzahl, welche mit einer ergänzenden Information in Form der Zykluswerte kombiniert wird, erlaubt es nun auch bei Lastsituationen mit ähnlichen oder sogar identischen erfassten Zyklenzahlen eine Unterscheidung vorzunehmen, so dass diese im Vergleichsergebnis zu einem entsprechend unterschiedlichen auszugebenden Alterungszustand führen. Diese Unterscheidungsmöglichkeit trotz identischer oder ähnlicher erfasster Zyklenzahl basiert

zum einen auf der Bestimmung der reduzierten/fokussierten Zykluswerte, welche für unterschiedliche Ausprägungen der realen Lastwechsel zu unterschiedlichen reduzierten/fokussierten Zykluswerten führen. Zum anderen wird die höhere Spezifität der Ausgabe des Alterungszustandes durch die Kombination mit den reduzierten/fokussierten Zykluswerten möglich.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren baut also auf den bekannten Lösungen auf, bei welchen bei einem Brennstoffzellensystem auf einem Prüfstand eine Überwachung des Alterungszustandes erfolgen soll. Dabei ist im allgemeinen ersten Schritt noch unerheblich, ob es sich hier um eine Online-Durchführung handelt, also eine Durchführung des Verfahrens während des Betriebs des Brennstoffzellensystems auf dem Prüfstand, oder um eine nachfolgende Bearbeitung von den erfassten Daten, wenn der Betrieb auf dem Prüfstand bereits beendet worden ist. Auch eine Kombination von Online-Durchführung und Offline-Durchführung ist denkbar. Das Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist ähnlich zu den bekannten Lösungen die Ausgabe eines Alterungszustandes und damit eine Information, in welcher Weise der Betriebsablauf auf dem Prüfstand eine Alterung des Brennstoffzellensystems mit sich gebracht hat. Damit wird es möglich, unterschiedliche Kontrollvorgaben miteinander bei gleichen Lastsituationen zu vergleichen und durch die sich einstellenden Zykluszahlen und elektrischen Potenziale eine qualitative Bewertung vorzunehmen, welche Kontrollweise bei welcher Betriebsart eines Brennstoffzellensystems schonender hinsichtlich der zu erwartenden Alterungsvorgänge ist.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass unter Alterungsvorgängen im Sinne der vorliegenden Erfindung sowohl reversible als auch irreversible Schädigungen verstanden werden können. Beispielsweise können Katalysatoralterung, Membranschädigung oder temporäre Belastungen durch Schichtaufbau auf Katalysatoroberflächen Alterungszustände im Sinne der vorliegenden Erfindung darstellen. Mit anderen Worten wird es nun möglich, eine höhere Aussagekraft bei der Auswertung von Prüfstandsversuchen zur Verfügung zu stellen, welche es erlaubt, anschließend die Kontrollverfahren für den späteren Einsatz genau solcher Brennstoffzellensysteme hinsichtlich einer höheren Alterungseffizienz zu optimieren. So ist es möglich, dass die zukünftigen Kontrollverfahren zu einem langsameren und/oder reduzierten Alterungsprozess führen, da ein höherer Informationsgehalt aus dem Prüfstandsversuch extrahiert und die kontrollierte Betriebsweise entsprechend optimiert werden kann.

Ebenfalls ist es möglich, durch die Kenntnis der Relevanz der Zyklen, eine gezielte Alterung in kurzer Zeit zu realisieren und damit Testzeit bei beschleunigten Alterungstests einzusparen. Dies wird vorteilhaft als beschleunigter Belastungstest oder „accelerated stress test“ bezeichnet.

Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die lokalen Extrema abwechselnd in Form von lokalen Maxima und lokalen Minima erfasst werden. Insbesondere handelt es sich hier um ein Pendeln zwischen lokalen Minima und lokalen Maxima in Form von den einzelnen Zyklenschritten. Auf Basis der erfassten Zyklen ergibt sich damit ein Pendeln zwischen jeweils einem lokalen Maximum und einem lokalen Minimum und wieder zurück zu einem lokalen Maximum oder umgekehrt für einen erfassten Zyklus. Selbstverständlich sind jedoch auch deutliche komplexere Verläufe im Rahmen der vorliegenden Erfindung abbildbar.

Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren für das Bestimmen der reduzierten Zyklenzahl wenigstens ein Reduktionsalgorithmus, insbesondere aufweisend ein Rainflow-Counting, verwendet wird. Ein Reduktionsalgorithmus kann in unterschiedlichster Ausprägung dazu dienen, die Relevanz der einzelnen erfassten Zyklen zu prüfen und auf eine Zyklenzahl zu reduzieren, welche hinsichtlich der Alterungszustände und der nachfolgenden Bewertung eine hohe Relevanz mit sich bringt. Insbesondere weist ein solcher Reduktionsalgorithmus ein sogenanntes Rainflow-Counting auf, wie es später noch mit Bezug auf die Figuren näher erläutert wird. Unter einem Rainflow-Counting ist allgemein ein Reduktionsalgorithmus zu verstehen, welcher im Durchlauf entlang der X-Achse in einem Diagramm des zeitlichen Verlaufs eines elektrischen Potentials einzelne lokale Extrema auswählt und andere verwirft. Die Auswahl erfolgt dabei durch lokale Extrema, welche die anderen Extrema in der Nachbarumgebung überragen. Der Rainflow-Counting-Algorithmus ist dabei so zu verstehen, dass er mit ablaufendem Wasser auf einem Pagodendach nach dem Verlauf des elektrischen Potentials (mit der X-Achse um 90 Grad nach unten gedreht) verglichen werden kann. Es werden nun nur die lokalen Extrema für die reduzierte Zyklenzahl berücksichtigt, welche ein Abfließen des Regenwassers nach unten erlauben. Untergeordnete, also vom Regenwasser nicht benetzte lokale Extrema, bleiben bei der Verwendung eines solchen Rainflow-Counting-Algorithmus unberücksichtigt. Selbstverständlich können jedoch auch andere Reduktionsalgorithmen oder eine Kombination anderer Reduktionsalgorithmen

mit einem Rainflow-Counting sowie vor- und/oder nachgelagerte Filterungen eingesetzt werden.

Weitere Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Reduktionsalgorithmus für eine Bestimmung eines halben reduzierten Zyklus wenigstens 3 aufeinander folgende erfasste lokale Extrema benötigt. Das ist als eine mögliche Voraussetzung zu verstehen, um einen halben Zyklus zu zählen, wenn die Gesamtzahl der reduzierten Zyklenzahl ermittelt werden soll. Damit wird sichergestellt, dass eine besonders einfache und vor allem rechenarme Umsetzung, zum Beispiel unter Verwendung des Rainflow-Countings, für den Reduktionsalgorithmus zur Verfügung gestellt wird.

Bei einer Ausführungsform gemäß einer der beiden voranstehenden Absätze kann es weiter von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Reduktionsalgorithmus für das letzte der erfassten lokalen Extrema einen ganzen reduzierten Zyklus bestimmt. Während bei dem voranstehenden Absatz die einzelnen Schritte jeweils zu einem halben Zyklus hinsichtlich der Aufsummierung zur reduzierten Zyklenzahl führen, wird sozusagen der abschließende Wert als ganze Zyklenzahl gewertet, und entsprechend auch bei der Aufsummierung zur reduzierten Zyklenzahl berücksichtigt.

Es kann darüber hinaus Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die Vergleichsdatenbank einen mehrdimensionalen, insbesondere matrixartigen, Zusammenhang zwischen der reduzierten Zyklenzahl und den zugehörigen reduzierten Zykluswerten einerseits und einer quantitativen und/oder qualitativen Ausprägung von wenigstens einem Alterungszustand zu wenigstens einer Alterungsart andererseits aufweist. Eine solche matrixförmige Ausgestaltung kann zum Beispiel in Form eines zweidimensionalen, dreidimensionalen oder mehrdimensionalen Diagramms ausgebildet sein, welches entsprechend eine komplexe Zuordnung und/oder Vergleichsanalyse erlaubt. Hier ist bereits gut zu erkennen, dass durch die Ergänzung der reduzierten Zyklenzahl mit den reduzierten Zykluswerten eine deutlich feinere und spezifischere Auswertung auch hinsichtlich des Aufbaus der Vergleichsdatenbank möglich wird.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Vergleich mit der Vergleichsdatenbank zu wenigstens zwei unterschiedlichen

Alterungsarten erfolgt. Wie bereits erläutert worden ist, unterliegen Brennstoffzellensysteme unterschiedlichen reversiblen wie irreversiblen Schädigungen, die alle gemeinsam den Alterungszustand des Brennstoffzellensystems, welcher auch als „State of Health“ (SoH) bezeichnet werden kann, beeinflussen. Dadurch, dass nun erfindungsgemäß sogar unterschiedliche Alterungsarten definiert werden können, ist eine noch genauere und spezifischere Auswertung der erzeugten Daten der Prüfstandsläufe möglich, sodass anschließend die bereits erläuterte Optimierung der Kontrollsysteme für den Einsatz noch weiter verbessert werden kann.

Von Vorteil ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritt der Ausgabe, während des Betriebs auf dem Prüfstand durchgeführt werden. Mit anderen Worten handelt es sich hier um eine Online-Erfassung und vorzugsweise auch eine Online-Auswertung sowie Online-Bewertung. Auch eine Online-Ausgabe ist möglich, also eine Ausgabe und damit eine Bewertung der aktuellen Betriebssituation bereits während der Durchführung des Prüfstandsversuchs. Dabei kann es sich um eine wertfreie, aber auch um eine bewertete Aussage handeln, ob also die aktuelle Betriebssituation zu einer verstärkten oder einer reduzierten Schädigungssituation des Brennstoffzellensystems führt. Insbesondere erhält ein Betriebspersonal am Prüfstand somit eine direkte Rückmeldung, ob und in welcher Weise die aktuelle Kontrollstrategie hinsichtlich des Alterungszustandes als positiv oder negativ zu bewerten ist.

Alternativ ist es auch denkbar, dass die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritte der Ausgabe, außerhalb des Prüfstands und/oder nach Beendigung des Betriebs auf dem Prüfstand durchgeführt werden. Diese alternative und damit nachgeordnete Analyse hat den Vorteil, dass durch die Offline-Auswertung die Rechengeschwindigkeit für diese Auswertung irrelevant ist. Mit anderen Worten können genauere und auch rechenintensivere Auswertungen, beispielsweise unter der Verwendung von Vergleichsdatenbanken zu unterschiedlichen Alterungsarten möglich werden. Dies erlaubt es auch, den Prüfstandsversuch unbeeinflusst von dem erfindungsgemäßen Verfahren für die Bestimmung des Alterungszustandes durchzuführen.

Weitere Vorteile werden erzielt, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren nur die lokalen Extrema erfasst werden und/oder der Verlauf des elektrischen Potentials

zwischen den erfassten Extrema für den weiteren Ablauf des Verfahrens verworfen werden. Hier kann Datenballast vermieden werden, indem entweder beim Erfassen des elektrischen Verlaufs ausschließlich die lokalen Extrema abgespeichert werden. Alternativ kann der erfasste Verlauf des elektrischen Potentials auch wieder gelöscht beziehungsweise für den weiteren Durchlauf des Verfahrens verworfen werden. Damit wird ein reduzierter Rechenaufwand und reduzierter Speicheraufwand erzielt, da sich die nachfolgenden Schritte der Bestimmung und des Vergleichs auf diese reduzierten Daten ohne den Verlauf zwischen den erfassten Extrema beziehen können.

Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Ausgabe des Alterungszustandes wenigstens eine der folgenden Informationen mit ausgegeben wird:

- Lastanforderung über wenigstens einen Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand,
- Kontrollvorgaben über wenigstens einen Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand,
- zusätzliche Alterungseinflüsse.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Unter zusätzlichen Alterungseinflüssen können zum Beispiel Druckinformationen, Temperaturinformationen, Feuchtigkeitsinformationen oder ähnliches verstanden werden. Diese zusätzlichen Informationen können als zusätzliche Daten für den Vergleich mit der Vergleichsdatenbank eingesetzt werden. Sie können aber auch bei ungenauen Ausgaben des Vergleichsergebnisses eine weitere Abgrenzungsmöglichkeit zur Verfügung stellen und damit die Genauigkeit des auszugebenden Alterungszustandes und/oder dessen Einordnung weiter verbessern.

Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zusätzlich zur reduzierten Zyklenzahl eine erfasste Zyklenzahl bestimmt wird, welche alle erfassten Extrema berücksichtigt. Eine solche zusätzliche Berücksichtigung aller erfassten Zyklenzahlen und Verwendung für den weiteren Ablauf wird insbesondere beim Vergleich mit der Vergleichsdatenbank relevant. So können beispielsweise alle erfassten Zyklenzahlen verwendet werden, um aus einer Reihe unterschiedlicher Vergleichsdatenbanken eine passende auszuwählen. Jedoch ist auch eine

Verwendung der erfassten Zyklenzahl innerhalb der Vergleichsdurchführung denkbar, da sie zum Beispiel zu unterschiedlichen Positionen in einer Vergleichsmatrix und damit zu unterschiedlichen Vergleichsergebnissen führen kann.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

Darüber hinaus ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Kontrollvorrichtung für eine Bestimmung eines Alterungszustandes einer Brennstoffzelle, eines Brennstoffzellenstapels und/oder eines Brennstoffzellensystems auf einem Prüfstand. Eine solche Kontrollvorrichtung zeichnet sich aus durch ein Überwachungsmodul für ein Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials beim Betrieb auf dem Prüfstand. Weiter ist ein Erfassungsmodul vorgesehen für ein Erfassen von lokalen Extrema im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials. Mit Hilfe eines Bestimmungsmoduls erfolgt ein Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl basierend auf erfassten Zyklen der erfassten lokalen Extrema sowie ein Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten zu allen lokalen Extrema der reduzierten Zyklenzahl. Mittels eines Vergleichsmoduls erfolgt ein Vergleich der reduzierten Zyklenzahl und der reduzierten Zyklenwerte mit einer Vergleichsdatenbank zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen. Weiter weist die Kontrollvorrichtung ein Ausgabemodul auf für eine Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs. Das Überwachungsmodul, das Erfassungsmodul, das Bestimmungsmodul, das Vergleichsmodul und/oder das Ausgabemodul sind dabei insbesondere für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet. Damit bringt eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert worden sind.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine Ausführungsform eines Brennstoffzellensystems auf einem Prüfstand,
- Fig. 2 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 3 ein beispielhafter Verlauf eines elektrischen Potentials,
- Fig. 4 die Auswertung des elektrischen Potentials der Figur 3 auf lokale Extrema,
- Fig. 5 die Auswertung des elektrischen Potentials der Figur 4 auf reduzierte Zyklenzahlen und reduzierte Zyklenwerte,
- Fig. 6 eine Möglichkeit eines Vergleichs mit einer Vergleichsdatenbank,
- Fig. 7 eine alternative Ausführungsform, bei welcher zusätzlich noch die erfasste Zyklenzahl berücksichtigt wird.

Figur 1 zeigt schematisch einen Prüfstand 200, auf welchem hier ein Brennstoffzellensystem 100 mit zwei Brennstoffzellenstapeln 110 mit darin schematisch stapelförmig angeordneten Brennstoffzellen 112 betrieben werden kann. Die nachfolgende Beschreibung des Brennstoffzellensystems 100 gilt analog auch für eine Anwendung eines Prüfstands 200 für einen Brennstoffzellenstapel 110 alleine wie auch für eine einzelne Brennstoffzelle 112. Die Figur 1 zeigt bereits schematisch eine Kontrollvorrichtung 10, welche signalkommunizierend mit einer Sensorvorrichtung des Prüfstands 200 verbunden ist, um den Verlauf des elektrischen Potentials EP während des Prüflaufs auf dem Prüfstand 200 zu erfassen. Ein solches überwacht elektrisches Potenzial kann zum Beispiel so aussehen, wie es die Figur 3 zeigt.

In der Figur 2 ist der Verfahrensablauf in erfindungsgemäßer Weise anhand eines Durchlaufs durch eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung 10 näher dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass das erfasste elektrische Potenzial EP nun gespeichert und über den Verlauf aufgenommen wird. Diese Erfassung und damit der erfasste Verlauf wird vom Überwachungsmodul 20 an das Erfassungsmodul 30 übergeben,

welches nun in der Lage ist, die lokalen Extrema LE zu erfassen, wie dies später mit Bezug zur Figur 4 noch erläutert wird. Nach Erfassung der lokalen Extrema LE erfolgt die Weitergabe an das Bestimmungsmodul 40, in welchem im Wesentlichen zwei Schritte durchgeführt werden. Hier werden reduzierte Zyklenwerte RZW und reduzierte Zyklenzahlen RZZ bestimmt und anschließend an das Vergleichsmodul 50 übergeben. Mit diesem Ergebnis, für welchen insbesondere ein Reduktionsalgorithmus 80 eingesetzt wird, kann nun ein Vergleich mit der Vergleichsdatenbank 70 durchgeführt werden und das Vergleichsergebnis VE an das Ausgabemodul 60 übergeben werden. Das Ausgabemodul 60 gibt nun auf Basis dieses Vergleichsergebnisses VE den Alterungszustand aus, welcher zum Beispiel einen State of Health (Alterungszustand, AZ) des Brennstoffzellensystems 100 auf dem Prüfstand 200 wiedergeben kann.

Mit Bezug zu den Figuren 3, 4, 5 und 6 wird nachfolgend der Ablauf des Verfahrens näher erläutert. Sobald das elektrische Potenzial EP überwacht wird, kann es fortlaufend gespeichert werden. Dabei kann sich eine Kurve ergeben, wie sie zum Beispiel in der Figur 3 schematisch dargestellt ist. Hier ist gut zu erkennen, dass das elektrische Potenzial EP zwischen unterschiedlichen Höhen schwankt, also zyklisch zwischen unterschiedlichen lokalen Extrema LE pendelt. In der Figur 4 ist nun dargestellt wie mit Hilfe des Bestimmungsmoduls 40 diese lokalen Extrema LE erkannt und erfasst worden sind. Die lokalen Extrema LE, welche hier als lokale Minima und lokale Maxima abwechselnd zu erkennen sind, sind hier durch Kreise dargestellt. Alle lokalen Extrema LE stellen zusammen die erfassten Zyklen EZ dar und können später noch optional zur erfassten Zyklenzahl EZZ herangezogen werden.

Sobald die Erfassung der lokalen Extrema LE erfolgt ist, kann nun mit Hilfe des Bestimmungsmoduls 40, wie dies im Ergebnis die Figur 5 zeigt, ein Reduktionsalgorithmus 80 eingesetzt werden. Dieser kann zum Beispiel ein sogenanntes Rainflow-Counting verwenden, wie es beispielhaft auch in der Figur 5 angewendet ist. Bei gleichem Verlauf des elektrischen Potentials EP werden hier nun reduzierte Zyklen RZ auf Basis aller erfassten Zyklen EZ bestimmt, indem nur die lokalen Extrema LE ausgewählt werden, von welchen im Sinnbild des Pagodendachs bei einem Rainflow-Counting Wasser, welches hier von links nach rechts laufen würde, abfließt. In dieser Analogie trockene Spitzen und damit trockene lokale Extrema LE bleiben von der Zählung für die reduzierten Zyklen unberücksichtigt. Die reduzierten Zyklen RZ sind

in der Figur 5 als schwarze Punkte dargestellt und damit immer weniger als die erfassten Zyklen EZ. Im Ergebnis dieser Auswertung werden alle reduzierten Zyklen RZ aufsummiert zur reduzierten Zyklenzahl RZZ und für diese reduzierten Zyklen RZ die reduzierten Zyklenwerte RZW erfasst. Dabei handelt es sich nun um die Ausgabe des Bestimmungsmoduls 40, welche anschließend an das Vergleichsmodul 50 übergeben wird. Mit anderen Worten erfolgt eine fokussierte Betrachtung einer definierten Auswahl einzelner lokaler Extrema LE auf Basis der Reduktion, welche daher auch als Fokussierung auf für die Alterung relevante lokale Extrema LE bezeichnet werden kann. Die einzelnen Zyklen aller lokalen Extrema LE können verworfen werden oder, wie später noch erläutert, in die Betrachtung zusätzlich mit einfließen.

Mit Bezug auf die Figuren 3, 4 und 5 ist noch darauf hinzuweisen, dass es für die Durchführung des Verfahrens Vorteile mit sich bringt, wenn eine definierte Erfassungsfrequenz von zum Beispiel mindestens 10 Hz für die Erfassung des elektrischen Potentials angewendet wird. Für eine optimierte Auflösung kann insbesondere eine Erfassungsfrequenz von zum Beispiel 100 Hz eingesetzt werden. Eine sinnvolle Obergrenze für die Erfassungsfrequenz kann zum Beispiel bei ca. 1000 Hz liegen.

Die Figur 6 zeigt eine mögliche Durchführung des Vergleichs für zwei unterschiedliche Bestimmungsergebnisse. Bei der oberen Kombination aus reduzierter Zyklenzahl RZZ und reduzierten Zyklenwerten RZW erfolgt die Einordnung hier in eine zweidimensionale Matrix der Vergleichsdatenbank 70 in einem Alterungsbereich I, welcher zum Beispiel einem geringen Alterungszustand zugeordnet werden kann. Die zweite davon unabhängige Messung an einem Prüfstand 200 hat die untere Kombination aus reduzierter Zyklenzahl RZZ und reduzierten Zyklenwerten RZW ergeben, welche entsprechend auch zu einer unterschiedlichen Position in der matrixartig ausgebildeten Vergleichsdatenbank 70 führt, welche hier im Alterungsbereich II zum Beispiel mit einem hohen Alterungszustand korreliert ist. Diese Korrelation kann selbstverständlich sowohl qualitativ als auch quantitativ ausgebildet sein.

In der Figur 7 ist noch eine Alternative dargestellt, bei welcher nun zusätzlich zur reduzierten Zyklenzahl RZZ auch die erfasste Zyklenzahl EZZ, welche auf den erfassten Zyklen EZ basiert, berücksichtigt wird. Dies kann nachfolgend direkt in den Vergleich integriert werden und/oder für andere Rahmenbedingungen, zum Beispiel die Auswahl einer passenden Vergleichsdatenbank 70 verwendet werden.

Die voranstehende Erläuterung beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

10 Kontrollvorrichtung
20 Überwachungsmodul
30 Erfassungsmodul
40 Bestimmungsmodul
50 Vergleichsmodul
60 Ausgabemodul
70 Vergleichsdatenbank
80 Reduktionsalgorithmus

100 Brennstoffzellensystem
110 Brennstoffzellenstapel
112 Brennstoffzelle
200 Prüfstand

AZ Alterungszustand
EP elektrisches Potential
LE lokales Extremum

RZ reduzierte Zyklen
RZZ reduzierte Zyklenzahl
RZW reduzierte Zyklenwerte
EZ erfasste Zyklen
EZZ erfasste Zyklenzahl
VE Vergleichsergebnis
I Alterungsbereich
II Alterungsbereich

Patentansprüche

1. Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
 - Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200),
 - Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP),
 - Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE),
 - Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ),
 - Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112),
 - Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die lokalen Extrema (LE) abwechselnd in Form von lokalen Maxima und lokalen Minima erfasst werden.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Bestimmen der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) wenigstens ein Reduktionsalgorithmus (80), insbesondere aufweisend ein Rainflow-Counting, verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reduktionsalgorithmus (80) für eine Bestimmung eines halben reduzierten Zyklus wenigstens drei aufeinanderfolgende erfasste lokale Extrema (LE) benötigt.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reduktionsalgorithmus (80) für das letzte der erfassten lokalen Extrema (LE) einen ganzen reduzierten Zyklus bestimmt.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergleichsdatenbank (80) einen mehrdimensionalen, insbesondere matrixartigen, Zusammenhang zwischen der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und den zugehörigen reduzierten Zykluswerten (RZW) einerseits und einer quantitativen und/oder qualitativen Ausprägung von wenigstens einem Alterungszustand (AZ) zu wenigstens einer Alterungsart andererseits aufweist.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vergleich mit der Vergleichsdatenbank (80) zu wenigstens zwei unterschiedlichen Alterungsarten erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritt der Ausgabe, während des Betriebs auf dem Prüfstand (200) durchgeführt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritt der Ausgabe, außerhalb des Prüfstands (200) und/oder nach Beendigung des Betriebs auf dem Prüfstand (200) durchgeführt werden.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nur die lokalen Extrema (LE) erfasst werden und/oder der Verlauf des elektrischen Potentials (EP) zwischen den erfassten Extrema (LE) für den weiteren Ablauf des Verfahrens verworfen wird.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Ausgabe des Alterungszustandes (AZ) wenigstens eine der folgenden Informationen mit ausgegeben wird:
 - Lastanforderung über wenigstens eine Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand (200)
 - Kontrollvorgaben über wenigstens einen Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand (200)
 - Zusätzliche Alterungseinflüsse
12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zur reduzierten Zyklenzahl (RZZ) eine erfasste Zyklenzahl (EZZ) bestimmt wird, welche alle erfassten Extrema (LE) berücksichtigt.
13. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen das Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen.
14. Kontrollvorrichtung (10) für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), **gekennzeichnet durch** ein Überwachungsmodul (20) für ein Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200), ein Erfassungsmodul (30) für ein Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP), ein Bestimmungsmodul (40) für ein Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE) und ein Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ), ein Vergleichsmodul (50) für einen Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112) und ein Ausgabemodul (60) für eine Ausgabe eines qualitativen und/oder eine quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs,

wobei das Überwachungsmodul (20), das Erfassungsmodul (30), das Bestimmungsmodul (40), das Vergleichsmodul (50) und/oder das Ausgabemodul (60) insbesondere für die Durchführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 12 ausgebildet sind.

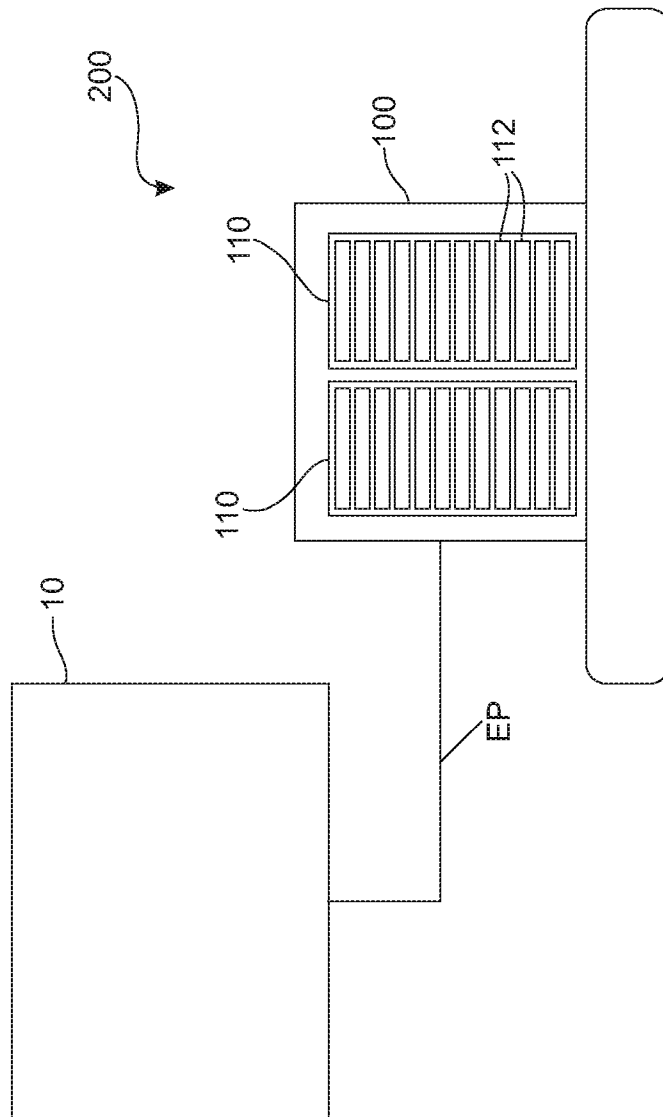


Fig. 1

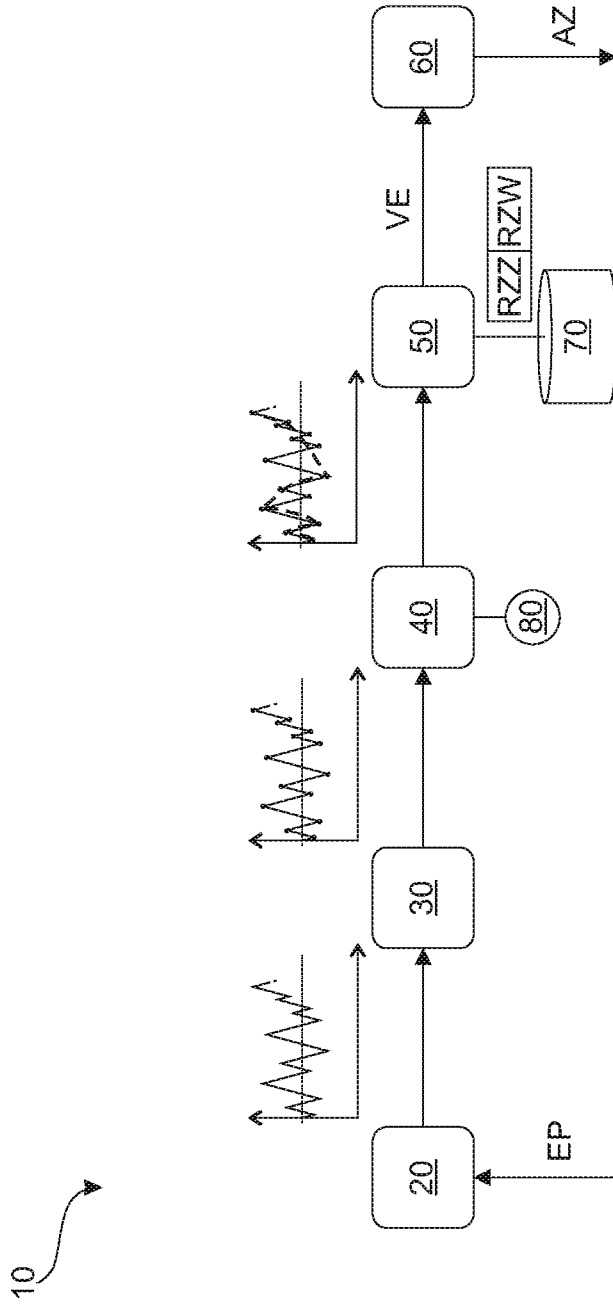


Fig. 2

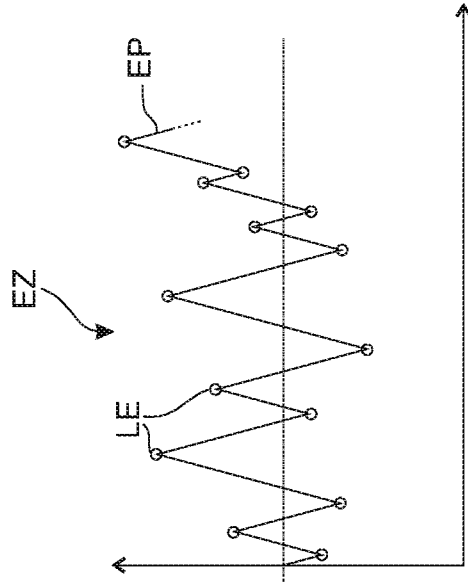


Fig. 4

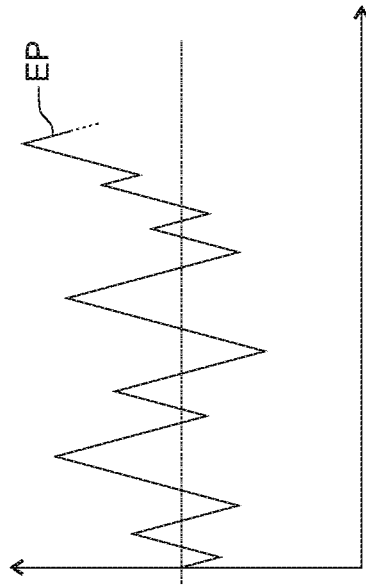


Fig. 3

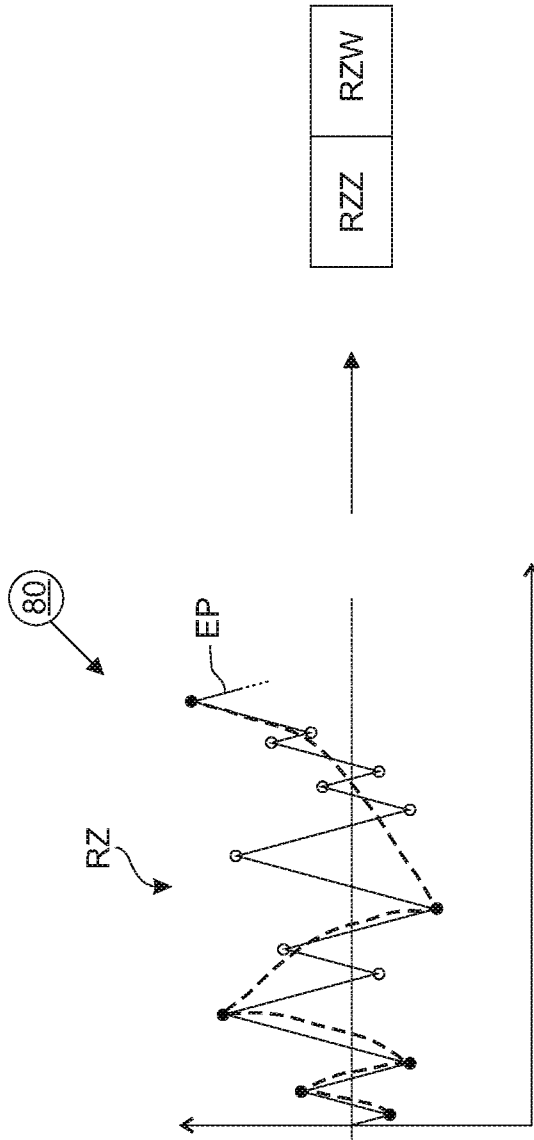


Fig. 5

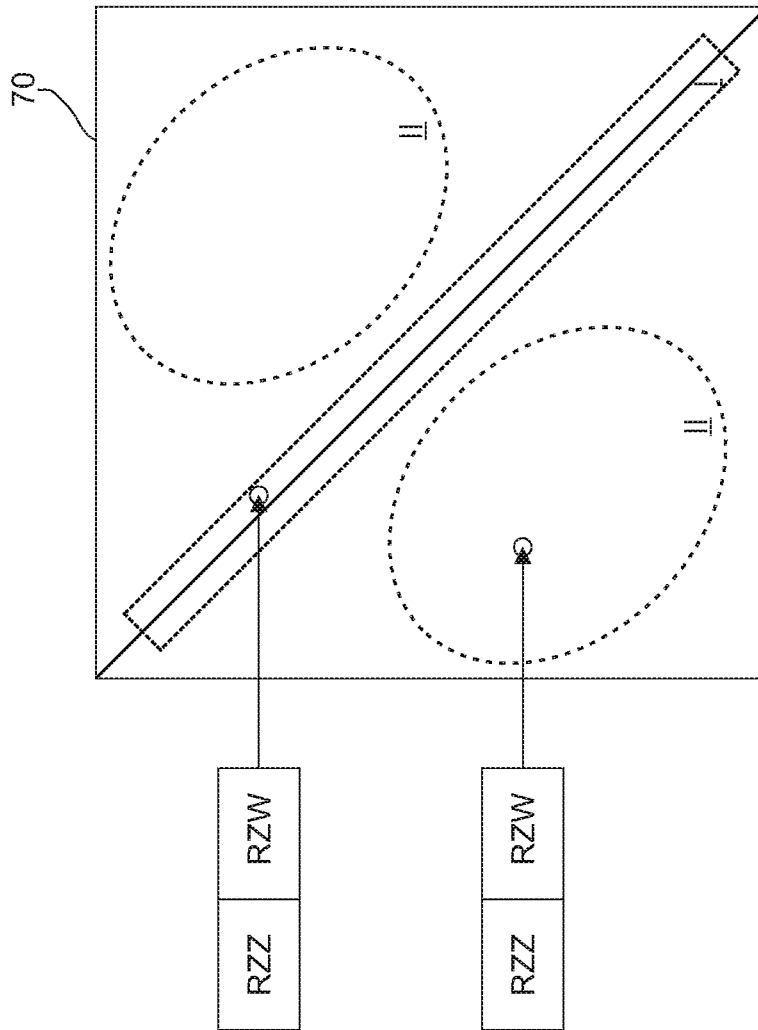


Fig. 6

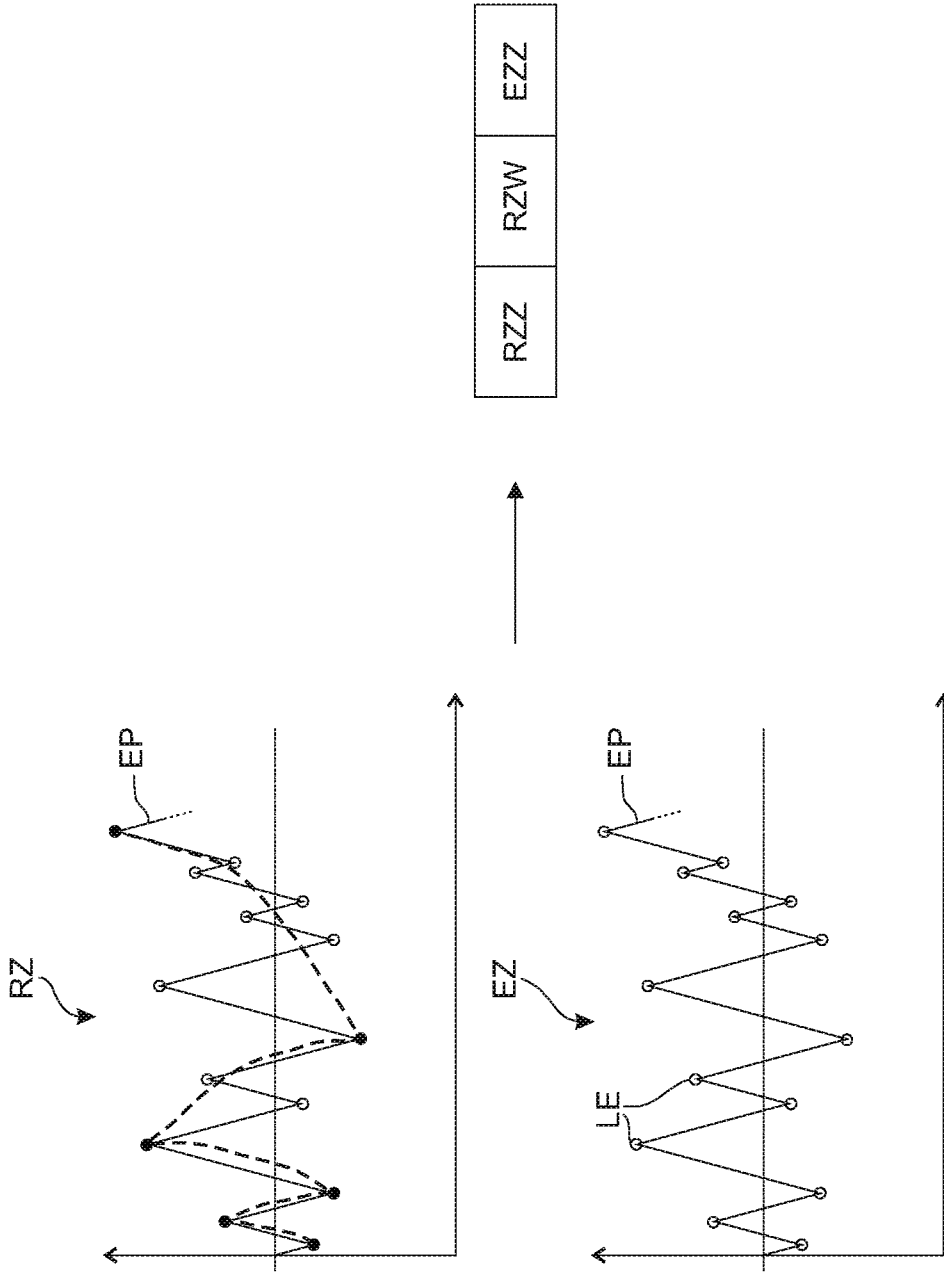


Fig. 7

Patentansprüche

1. Verfahren für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
 - Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200),
 - Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP),
 - Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE),
 - Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ),
 - Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112),
 - Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die lokalen Extrema (LE) abwechselnd in Form von lokalen Maxima und lokalen Minima erfasst werden.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Bestimmen der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) wenigstens ein Reduktionsalgorithmus (80), insbesondere aufweisend ein Rainflow-Counting, verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reduktionsalgorithmus (80) für eine Bestimmung eines halben reduzierten Zyklus wenigstens drei aufeinanderfolgende erfasste lokale Extrema (LE) benötigt.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reduktionsalgorithmus (80) für das letzte der erfassten lokalen Extrema (LE) einen ganzen reduzierten Zyklus bestimmt.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergleichsdatenbank (80) einen mehrdimensionalen, insbesondere matrixartigen, Zusammenhang zwischen der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und den zugehörigen reduzierten Zykluswerten (RZW) einerseits und einer quantitativen und/oder qualitativen Ausprägung von wenigstens einem Alterungszustand (AZ) zu wenigstens einer Alterungsart andererseits aufweist.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vergleich mit der Vergleichsdatenbank (80) zu wenigstens zwei unterschiedlichen Alterungsarten erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritt der Ausgabe, während des Betriebs auf dem Prüfstand (200) durchgeführt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte des Bestimmens und des Vergleichs, insbesondere auch der Schritt der Ausgabe, außerhalb des Prüfstands (200) und/oder nach Beendigung des Betriebs auf dem Prüfstand (200) durchgeführt werden.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nur die lokalen Extrema (LE) erfasst werden und/oder der Verlauf des elektrischen Potentials (EP) zwischen den erfassten Extrema (LE) für den weiteren Ablauf des Verfahrens verworfen wird.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Ausgabe des Alterungszustandes (AZ) wenigstens eine der folgenden Informationen mit ausgegeben wird:
- Lastanforderung über wenigstens einen Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand (200)
 - Kontrollvorgaben über wenigstens einen Teilverlauf des Betriebs auf dem Prüfstand (200)
 - Zusätzliche Alterungseinflüsse
12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zur reduzierten Zyklenzahl (RZZ) eine erfasste Zyklenzahl (EZZ) bestimmt wird, welche alle erfassten Extrema (LE) berücksichtigt.
13. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen das Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen.
14. Kontrollvorrichtung (10) für eine Bestimmung eines Alterungszustandes (AZ) einer Brennstoffzelle (112), eines Brennstoffzellenstapels (110) und/oder eines Brennstoffzellensystems (100) auf einem Prüfstand (200), **gekennzeichnet durch** ein Überwachungsmodul (20) für ein Überwachen des Verlaufs des elektrischen Potentials (EP) beim Betrieb auf dem Prüfstand (200), ein Erfassungsmodul (30) für ein Erfassen von lokalen Extrema (LE) im überwachten Verlauf des elektrischen Potentials (EP), ein Bestimmungsmodul (40) für ein Bestimmen einer reduzierten Zyklenzahl (RZZ) basierend auf erfassten Zyklen (EZ) der erfassten lokalen Extrema (LE) und ein Bestimmen von reduzierten Zyklenwerten (RZW) zu allen lokalen Extrema (LE) der reduzierten Zyklenzahl (RZZ), ein Vergleichsmodul (50) für einen Vergleich der reduzierten Zyklenzahl (RZZ) und der reduzierten Zyklenwerte (RZW) mit einer Vergleichsdatenbank (70) zu wenigstens einer Alterungsart von Brennstoffzellen (112) und ein Ausgabemodul (60) für eine Ausgabe eines qualitativen und/oder eines quantitativen Alterungszustandes (AZ) auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs,

wobei das Überwachungsmodul (20), das Erfassungsmodul (30), das Bestimmungsmodul (40), das Vergleichsmodul (50) und/oder das Ausgabemodul (60) für die Durchführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 12 ausgebildet sind.