

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50108/2019
(22) Anmeldetag: 13.02.2019
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2021

(51) Int. Cl.: **H01M 8/0432** (2016.01)
H01M 8/04746 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2006206405 A
JP 2007026927 A
WO 2019026156 A1
US 2014220691 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Soukup Nikolaus Dipl.Ing. BSc
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) Brennstoffzellensystem und Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators (2) in einem Brennstoffzellensystem (1) mit einer Einlass-Temperaturmesseinheit (3) in einem Einlassbereich (5) des Katalysators (2), aufweisend die Schritte: Messen von Einlasstemperaturen im Einlassbereich (5) über die Zeit mittels der Einlass-Temperaturmesseinheit (3) und Erstellen eines Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) anhand der gemessenen Einlasstemperaturen, Vergleichen des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f), oder wenigstens eines Vergleichswertes (α), der anhand des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert (G1a; G1d; β) zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses, und Ermitteln des Degradationszustandes des Katalysators (2) anhand des Vergleichsergebnisses, wobei für die Ermittlung des Degradationszustandes ein vordefinierbares Brennstoff/Luft-Verhältnis für den Katalysator (2) eingestellt wird, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (1) unterscheidet. Ferner betrifft die Erfindung ein Brennstoffzellensystem (1), ein Computerprogramm (7) sowie ein Speichermittel mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm (7) zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators (2) des Brennstoffzellensystems.

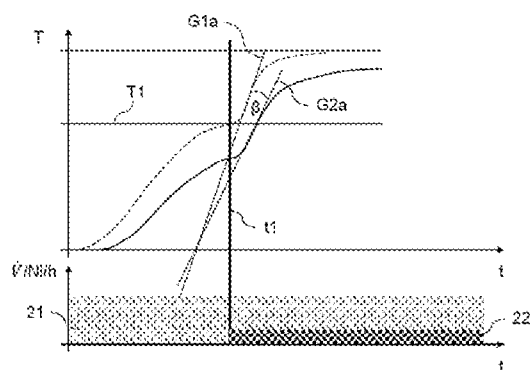


Fig. 1

Beschreibung

BRENNSTOFFZELLENSYSTEM UND VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINES DEGRADATIONSZUSTANDES EINES KATALYSATORS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem sowie ein Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators im Brennstoffzellensystem. Zudem betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt sowie ein Speichermittel mit einem darauf gespeicherten Computerprogrammprodukt zur Ermittlung eines Degradationszustandes des Katalysators.

[0002] Im Stand der Technik sind verschiedene Systeme zur Ermittlung des Degradationszustandes bzw. eines Alterungszustandes eines Katalysators in einem Brennstoffzellensystem bekannt. Wenn Katalysatoren degradieren, werden die aktive katalytische Fläche verkleinert und die Funktion, als reaktionsbeschleunigende Substanz zu wirken, verschlechtert. Das führt dazu, dass der Katalysator nicht mehr wie gewünscht funktioniert. Bei Oxidationskatalysatoren bedeutet dies, dass unverbranntes Brenngas durch den Katalysator strömen und entweichen kann. Dadurch können unerwünschte Emissionen entstehen. Gleichzeitig sinken der Brennstoffausnutzungsgrad und der Wirkungsgrad der zugehörigen Komponente sowie des gesamten Systems.

[0003] Der Degradationszustand eines Oxidationskatalysators wird im Stand der Technik mit unterschiedlichen Abgasanalysen erkannt. Hierbei kann beispielsweise erkannt werden, dass Brennstoff, insbesondere Brenngase nicht mehr vollständig oxidiert werden können. Ein weiterer Indikator dafür, dass ein Oxidationskatalysator nicht mehr seine ursprüngliche Kapazität aufweist, kann eine gemessene Verbrennungstemperatur stromabwärts des Katalysators sein. Für einen bekannten Betriebspunkt sinkt diese Temperatur ab, sobald nicht mehr der gesamte Brennstoff verbrannt wird.

[0004] Ein gattungsgemäßes Brennstoffzellensystem wird beispielsweise in der japanischen Patentanmeldung JP 2003-223916 A beschrieben, bei welchem der Degradationszustand eines Katalysators anhand von Temperaturmesswerten innerhalb des Katalysators sowie stromabwärts des Katalysators ermittelt wird.

[0005] Weitere Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators eines Brennstoffzellensystems sind beispielsweise aus der JP 2006206405 A und der JP 2007026927 A gezeigt.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators in einem Brennstoffzellensystem zur Verfügung zu stellen. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein zugehöriges Brennstoffzellensystem, ein Computerprogramm sowie ein Speichermittel zu schaffen.

[0007] Die voranstehende Aufgabe wird durch die Patentansprüche gelöst. Insbesondere wird die voranstehende Aufgabe durch das Verfahren gemäß Anspruch 1, das Computerprogramm gemäß Anspruch 8, das Speichermittel gemäß Anspruch 9 sowie das Brennstoffzellensystem gemäß Anspruch 10 gelöst. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogramm, dem erfindungsgemäßen Speichermittel, dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators in einem Brennstoffzellensystem mit einer Einlass-Temperaturmesseinheit in einem Einlassbereich des Katalysators und gegebenenfalls einer Auslass-Temperaturmesseinheit in einem Auslassbereich des Katalysators bereitgestellt. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Messen von Einlasstemperaturen im Einlassbereich über die Zeit mittels der Einlass-Temperaturmesseinheit und Erstellen eines Einlassgradienten anhand der gemessenen Einlasstemperaturen,
- Vergleichen des erstellten Einlassgradienten oder wenigstens eines Vergleichswertes, der anhand des erstellten Einlassgradienten ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses, und
- Ermitteln des Degradationszustandes des Katalysators anhand des Vergleichsergebnisses,

wobei für die Ermittlung des Degradationszustandes ein vordefinierbares Brennstoff/Luft-Verhältnis für den Katalysator eingestellt wird, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems unterscheidet.

[0009] Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass anhand der Temperaturgradienten eine besonders zuverlässige Aussage zum aktuellen sowie zum zukünftigen Degradationszustand des Katalysators getroffen werden kann. Insbesondere die Verwendung des Einlassgradienten hat sich hierbei als überraschend vorteilhaft herausgestellt.

[0010] Weiter ist es bei einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass für die Ermittlung des Degradationszustandes ein vordefinierbares Brennstoff/Luft-Verhältnis für den Katalysator eingestellt wird, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems unterscheidet. D. h., für die Ermittlung des Degradationszustandes wird das Brennstoffzellensystem erfindungsgemäß in einen spezifischen Betriebszustand versetzt, der sich von einem normalen Betriebszustand, in welchem das Brennstoffzellensystem zumindest überwiegend betrieben wird, wenigstens hinsichtlich des Brennstoff/Luft-Gemisches im Katalysator unterscheidet. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Brennstoff/Luft-Gemisch für den Katalysator auf einen festen oder im Wesentlichen festen Wert eingestellt. Bei einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems ändert sich das Brennstoff/Luft-Gemisch in der Regel kontinuierlich. Mit Hilfe des vordefinierten Tests, bei welchem eine vorgegebene oder vorgebbare Menge an Brennstoff, insbesondere Brenngas, mit einem definierten Lambda über eine vordefinierbare Zeit im Katalysator oxidiert wird, kann zuverlässig festgestellt werden, wie stark der Temperaturanstieg, also der jeweilige Gradient der Temperaturänderung, im Vergleich zu einem Referenzanstieg in Form des Referenzwertes zu Beginn der Lebensdauer, abweicht. Der Fortschritt der Degradation kann über einen geeigneten Algorithmus ermittelt werden. Das Brennstoff/Luft-Verhältnis für den Katalysator kann durch Bereitstellen eines geeigneten Referenzbrennstoffmassenstroms in den Katalysator eingestellt werden.

[0011] Von besonderem Vorteil kann es sein, wenn zusätzlich Auslasstemperaturen im Auslassbereich über die Zeit mittels der Auslass-Temperaturmesseinheit gemessen werden und ein Auslassgradient anhand der gemessenen Auslasstemperaturen erstellt wird, wobei zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses der erstellte Einlassgradienten und der erstellte Auslassgradient oder wenigstens ein Vergleichswert, der anhand des erstellten Einlassgradienten und des erstellten Auslassgradienten ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert verglichen wird.

[0012] Im Rahmen des Verfahrens werden insbesondere die Einlasstemperaturen sowie die Auslasstemperaturen von Fluiden, insbesondere von einem Brennstoffgemisch, am und/oder im Katalysator gemessen. Die Einlass-Temperaturmesseinheit und die Auslass-Temperaturmesseinheit können jeweils in Form eines Thermoelements ausgestaltet sein. Durch die Oxidation von Brennstoff bzw. eines Brenngases im Katalysator kann eine Temperaturerhöhung nicht nur im Katalysator, sondern auch im Einlassbereich des Katalysators erkannt bzw. gemessen werden. Ferner wurde herausgefunden, dass sich eine solche Temperaturerhöhung für einen definierten Katalysator, beispielsweise einen Abgas-Oxidationskatalysator in einem Nachbrenner des Brennstoffzellensystems, charakteristisch verhält.

[0013] Katalysatoren und insbesondere Oxidationskatalysatoren weisen die Eigenschaft auf, dass bei definierter Lebensdauer die effektivste Oxidation des Brenngases zu Beginn der Lebensdauer nicht im gesamten Katalysator stattfindet, sondern konzentriert im Eingangsbereich. Wenn der Katalysator degradiert, beispielsweise durch thermische Belastung am Eintritt oder

durch Katalysatorgifte, wie beispielsweise Chromablagerungen, kommt es zu dem Effekt, dass sich die Zone der effektivsten Verbrennung stromabwärts verschiebt. Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt diesen Effekt in Kombination mit dem Effekt, dass eine Oxidation im Einlassbereich anhand einer dort messbaren Temperaturerhöhung detektiert werden kann.

[0014] Unter dem Einlassbereich kann ein Gasraum direkt vor dem Katalysator bzw. stromaufwärts des Katalysators direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt am Katalysator verstanden werden. Unter dem Auslassbereich kann entsprechend ein Bereich direkt nach dem Katalysator bzw. stromabwärts des Katalysators direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt am Katalysator verstanden werden.

[0015] Der Einlassgradient wird in Form eines Einlasstemperaturgradienten, also einer Steigung in einem vordefinierbaren Abschnitt eines Graphen eines Temperaturverlaufs, der anhand der gemessenen Einlasstemperaturen über die Zeit ermittelt wird, erstellt. Der Auslassgradient wird in Form eines Auslasstemperaturgradienten, also einer Steigung in einem vordefinierbaren Abschnitt eines Graphen eines Temperaturverlaufs, der anhand der gemessenen Auslasstemperaturen über die Zeit ermittelt wird, erstellt.

[0016] Als Vergleichswert kann beispielsweise ein Winkel zwischen dem Einlassgradienten und dem Auslassgradienten ermittelt und mit dem Referenzwert in Form eines Referenzwinkels verglichen werden.

[0017] Das Messen der Einlasstemperaturen und der Auslasstemperaturen kann kontinuierlich oder mit Unterbrechungen in vordefinierbaren Zeitabständen durchgeführt werden. Eine kontinuierliche Messung hat den Vorteil, dass etwaige kritische Degradationszustände stets aktuell ermittelt werden können. Gezielte, nicht-kontinuierliche Messungen sind vorteilhaft hinsichtlich eines geringeren Rechenaufwandes.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass bei einem Verfahren zur Berechnung des Vergleichsergebnisses der Einlassgradient mit einem Referenz-Einlassgradienten verglichen wird und der Auslassgradient mit einem Referenz-Auslassgradienten verglichen wird. Anhand der kombinierten Betrachtung des Einlassgradienten sowie des Auslassgradienten im Vergleich mit den zugehörigen Referenzgradienten kann der Degradationszustand besonders genau ermittelt werden. Der wenigstens eine Referenzwert weist in diesem Fall den Referenz-Einlassgradienten sowie den Referenz-Auslassgradienten als Referenzgradienten auf.

[0019] Darüber hinaus ist es bei einem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, dass bei der Ermittlung des Degradationszustandes eine Degradation des Katalysators erkannt wird, wenn die Steigung des erstellten Einlassgradienten niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten ist und/oder wenn die Steigung des erstellten Auslassgradienten höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten ist. D. h., die Stärke der Degradation kann anhand einer Steigungsabweichung zwischen den erstellten Gradienten und den Referenzgradienten erkannt werden. Umso stärker die Degradation im Katalysator fortgeschritten ist, desto niedriger ist der Gradient der Temperaturerhöhung im Einlassbereich und desto größer ist der Gradient im Auslassbereich des Katalysators. Dies kann erfindungsgemäß zur zielgenauen Ermittlung des Degradationszustandes des Katalysators genutzt werden.

[0020] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren kann es ferner von Vorteil sein, wenn die Ermittlung des Degradationszustandes während einer Aufheizphase des Brennstoffzellensystems durchgeführt wird. Damit kann noch vor Beginn der Stromerzeugung durch das Brennstoffzellensystem eine mögliche Degradation des Katalysators erkannt werden und das Brennstoffzellensystem vor einem etwaigen Fehlbetrieb geschützt werden. Zusätzlich oder alternativ kann die Ermittlung des Degradationszustandes während eines Stromerzeugungsbetriebs des Brennstoffzellensystems durchgeführt werden. D. h., das erfindungsgemäße Verfahren kann grundsätzlich ohne wesentliche Beeinflussung des Normalbetriebs des Brennstoffzellensystems problemlos in diesen integriert werden. Damit ist das Verfahren besonders flexibel und entsprechend anwendungsfreundlich durchführbar.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausgestaltungsvariante der vorliegenden Erfindung ist es ferner möglich, dass bei einem Verfahren anhand des Vergleichsergebnisses eine Degradationsvorhersage zur Vorhersage eines inakzeptablen Degradationszustandes getroffen wird. D. h., unter Verwendung von geeigneten Algorithmen können der erstellte Einlassgradient und der erstellte Auslassgradient genutzt werden, um die weitere Abnutzung des Katalysators vorherzusagen. Dadurch kann ein Nutzer des Brennstoffzellensystems, beispielsweise ein Fahrer eines Fahrzeugs mit dem Brennstoffzellensystem, auf die baldige Abnutzung des Katalysators und/oder auf das Erfordernis eines entsprechenden Katalysatorwechsels hingewiesen werden. Dies kann insbesondere deshalb erreicht werden, da der Degradationszustand durch das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere anhand des Einlassgradienten sowie des Auslassgradienten, nicht nur absolut, sondern relativ, also in Form eines Wertes jenseits von nur gut oder schlecht, ermittelt wird.

[0022] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Computerprogramm zur Verfügung gestellt. Das Computerprogramm umfasst Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogramms durch einen Computer diesen veranlassen, das vorstehend im Detail beschriebene Verfahren auszuführen. Ferner wird ein Speichermittel mit einem solchen Computerprogramm, das auf dem Speichermittel gespeichert und entsprechend zum Durchführen eines wie vorstehend beschriebenen Verfahrens ausgestaltet ist, bereitgestellt. Damit bringen ein erfindungsgemäßes Computerprogramm sowie ein erfindungsgemäßes Speichermittel die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben worden sind. Das Computerprogramm kann als computerlesbarer Anweisungscode in jeder geeigneten Programmiersprache wie beispielsweise in JAVA, C++ oder C# oder Matlab implementiert sein. Das Computerprogramm kann auf einem computerlesbaren Speichermedium wie einer Datendisk, einem Wechsellaufwerk, einem flüchtigen oder nichtflüchtigen Speicher, oder einem eingebauten Speicher/Prozessor abgespeichert sein. Der Anweisungscode kann einen Computer oder andere programmierbare Geräte wie ein Steuergerät derart programmieren, dass die gewünschten Funktionen ausgeführt werden. Ferner kann das Computerprogramm in einem Netzwerk wie beispielsweise dem Internet bereitgestellt werden bzw. sein, von dem es bei Bedarf von einem Nutzer heruntergeladen werden kann. Das Computerprogramm kann sowohl mittels einer Software, als auch mittels einer oder mehrerer spezieller elektronischer Schaltungen, d. h. in Hardware, oder in beliebig hybrider Form, d. h. mittels Software-Komponenten und Hardware-Komponenten, realisiert werden bzw. sein.

[0023] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Brennstoffzellensystem zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators zur Verfügung gestellt. Das Brennstoffzellensystem weist einen Katalysator, eine Einlass-Temperaturmesseinheit in einem Einlassbereich des Katalysators zum Messen von Einlasstemperaturen im Einlassbereich über die Zeit, und gegebenenfalls eine Auslass-Temperaturmesseinheit in einem Auslassbereich des Katalysators zum Messen von Auslasstemperaturen im Auslassbereich über die Zeit, auf. Die Einlass-Temperaturmesseinheit kann somit stromaufwärts des Katalysators angeordnet sein und die gegebenenfalls vorgesehene Auslass-Temperaturmesseinheit kann entsprechend stromabwärts des Katalysators im Brennstoffzellensystem angeordnet sein. Ferner weist das Brennstoffzellensystem eine Recheneinheit zum Erstellen eines Einlassgradienten anhand der gemessenen Einlasstemperaturen sowie gegebenenfalls eines Auslassgradienten anhand der gemessenen Auslasstemperaturen und eine Vergleicheinheit zum Vergleichen des erstellten Einlassgradienten und gegebenenfalls des erstellten Auslassgradienten oder wenigstens eines Vergleichswertes, der anhand des erstellten Einlassgradienten und des gegebenenfalls erstellten Auslassgradienten ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert, auf. Die Recheneinheit ist zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses anhand des wenigstens einen Vergleichs sowie zur Ermittlung des Degradationszustandes des Katalysators anhand des Vergleichsergebnisses konfiguriert und ausgestaltet. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem ebenso die vorstehend zum Verfahren erwähnten Vorteile mit sich.

[0024] Entsprechend dem Verfahren kann bei einem Brennstoffzellensystem eine erfindungsgemäße Recheneinheit ausgestaltet und konfiguriert sein, zur Berechnung des Vergleichsergebnis-

ses, den Einlassgradienten mit einem Referenz-Einlassgradienten und den Auslassgradienten mit einem Referenz-Auslassgradienten zu vergleichen. Außerdem kann die Recheneinheit ausgestaltet und konfiguriert sein, bei der Ermittlung des Degradationszustandes eine Degradation des Katalysators zu erkennen, wenn die Steigung des erstellten Einlassgradienten niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten ist und/oder wenn die Steigung des erstellten Auslassgradienten höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten ist. Für die Ermittlung des Degradationszustandes ist eine Einstelleinheit zum Einstellen eines vordefinierbaren Brennstoff/Luft-Verhältnisses für den Katalysator, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems unterscheidet, bereitgestellt sein. Weiterhin kann eine Vorhersageeinheit zur Vorhersage eines inakzeptablen Degradationszustandes anhand des Vergleichsergebnisses bereitgestellt sein. Das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem kann sowohl für den mobilen, als auch für den stationären Betrieb genutzt werden.

[0025] Weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahmen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung zu verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind. Es zeigen jeweils schematisch:

- [0026]** Figur 1 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung,
- [0027]** Figur 2 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines zweiten Aspekts der vorliegenden Erfindung,
- [0028]** Figur 3 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines dritten Aspekts der vorliegenden Erfindung,
- [0029]** Figur 4 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines vierten Aspekts der vorliegenden Erfindung,
- [0030]** Figur 5 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines fünften Aspekts der vorliegenden Erfindung,
- [0031]** Figur 6 ein Kennliniendiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß eines sechsten Aspekts der vorliegenden Erfindung, und
- [0032]** Figur 7 ein Blockschaltbild zum Erläutern eines Brennstoffzellensystems gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] Elemente mit gleicher Funktion und Wirkungsweise sind in den Figuren 1 bis 7 jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0034] In den Figuren 1 bis 3 sind Kennliniendiagramme zum Erläutern von bevorzugten Ausführungsvarianten eines Verfahrens zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators 2 in einem, wie in Fig. 7 dargestellten, Brennstoffzellensystem 1 dargestellt. Das Ermitteln des Degradationszustandes wird mit einer Einlass-Temperaturmesseinheit 3 in Form eines ersten Thermoelements in einem Einlassbereich 5 des Katalysators 2 und einer Auslass-Temperaturmesseinheit 4 in Form eines zweiten Thermoelements in einem Auslassbereich 6 des Katalysators 2 durchgeführt. Genauer gesagt werden Einlasstemperaturen im Einlassbereich 5 über die Zeit mittels der Einlass-Temperaturmesseinheit 3 gemessen. Anschließend oder bereits währenddessen wird anhand der gemessenen Einlasstemperaturen ein, wie in Fig. 1 dargestellter, Einlassgradient G1a erstellt. Ebenso werden Auslasstemperaturen im Auslassbereich 6 über die Zeit mittels der Auslass-Temperaturmesseinheit 4 gemessen. Anschließend oder bereits währenddessen wird anhand der gemessenen Auslasstemperaturen ein, wie in Fig. 1 dargestellter, Auslassgradient G2a erstellt.

[0035] Die in Fig. 1 durchgeführten Messungen wurden an einem neuen oder neuwertigen Katalysator 2 durchgeführt und können anschließend als Referenzwerte genutzt werden. Wie durch das dargestellte Kennliniendiagramm gezeigt, wird der Katalysator 2 bis zu einem Zeitpunkt t1 mit Luft 21 auf eine vordefinierbare Betriebstemperatur T1 gebracht. Zum Zeitpunkt t1 wird Brennstoff 22 in bzw. auf den Katalysator 2 gegeben, sodass dort das gewünschte, vordefinierbare Brennstoff/Luft-Verhältnis entsteht. Durch die Beaufschlagung des Katalysators 2 mit Brennstoff

steigen die Temperaturen am Katalysator 2 ab dem Zeitpunkt t_1 , wie in Fig. 1 dargestellt, an. Wie in den Figuren 1 bis 3 dargestellt, wird für die Ermittlung des Degradationszustandes ein vordefinierbares Brennstoff/Luft-Verhältnis, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems 1 unterscheidet, für den Katalysator 2 über einen vordefinierbaren Zeitraum eingestellt.

[0036] Die gemäß Fig. 1 erstellten Gradienten werden anschließend als Referenzwerte verwendet. Entsprechende Referenzwerte können auch als vordefinierte Referenzwerte im Brennstoffzellensystem 1, beispielsweise in einem in Fig. 7 dargestellten Steuergerät 20 des Brennstoffzellensystems 1, gespeichert sein. D. h., diese Messungen müssen nicht in jedem Brennstoffzellensystem 1 durchgeführt werden.

[0037] Gemäß Fig. 2 werden ebenfalls Einlasstemperaturen im Einlassbereich 5 über die Zeit mittels der Einlass-Temperaturmesseinheit 3 gemessen. Anschließend oder bereits währenddessen wird anhand der gemessenen Einlasstemperaturen der in Fig. 2 dargestellte Einlassgradient G_{1b} erstellt. Ebenso werden Auslasstemperaturen im Auslassbereich 6 über die Zeit mittels der Auslass-Temperaturmesseinheit 4 gemessen. Anschließend oder bereits währenddessen wird anhand der gemessenen Auslasstemperaturen der in Fig. 2 dargestellte Auslassgradient G_{2b} erstellt.

[0038] Anschließend werden zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses der Einlassgradient G_{1b} mit einem Referenz-Einlassgradienten in Form des Einlassgradienten G_{1a} und der Auslassgradient G_{2b} mit einem Referenz-Auslassgradienten in Form des Auslassgradienten G_{2a} verglichen. Anschließend wird ein Degradationszustand des Katalysators 2 anhand des Vergleichsergebnisses ermittelt. Gemäß der in Fig. 2 dargestellten bzw. errechneten Gradienten wird bei der Ermittlung des Degradationszustandes eine leichte Degradation des Katalysators 2 erkannt, da die Steigung des erstellten Einlassgradienten G_{1b} leicht niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten G_{1a} ist und die Steigung des erstellten Auslassgradienten G_{2b} leicht höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten G_{2a} ist.

[0039] Fig. 3 zeigt ein weiteres Beispiel, gemäß welchem ein Einlassgradient G_{1c} und ein Auslassgradient G_{2c} erstellt werden, welche deutlich von den Referenzgradienten G_{1a} , G_{2a} abweichen. Genauer gesagt ist die Steigung des erstellten Einlassgradienten G_{1c} deutlich niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten G_{1a} und die Steigung des erstellten Auslassgradienten G_{2c} ist deutlich höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten G_{2a} . Damit kann erkannt bzw. ermittelt werden, dass der Katalysator 2 bereits stark abgenutzt ist.

[0040] Anhand des Vergleichsergebnisses wird ferner eine Degradationsvorhersage zur Vorhersage eines inakzeptablen Degradationszustandes getroffen. Diese Degradationsvorhersage kann einem Nutzer des Brennstoffzellensystems 1, beispielsweise einem Fahrer eines Fahrzeugs mit dem Brennstoffzellensystem 1, auf einem Display angezeigt werden. Genauer gesagt kann dies in Form eines Hinweises auf den aktuellen Degradationszustand des Katalysators 2 und/oder auf ein erforderliches Aus-tauschen oder Regenerieren des Katalysators 2 zu einem vordefinierbaren Zeitpunkt erfolgen.

[0041] Mit Blick auf Fig. 1 und Fig. 3 kann eine weitere Ausführungsform für ein Verfahren zur Ermittlung des Degradationszustandes des Katalysators 2 erkannt werden. So wird gemäß Fig. 1 ein Winkel zwischen dem Referenz-Einlassgradienten G_{1a} und dem Referenz-Auslassgradienten G_{2a} ermittelt, der gemäß Fig. 1 ca. 20° beträgt und als Referenzwert β in Form eines Referenzwinkels betrachtet werden kann. Gemäß Fig. 3 wird ebenfalls ein Winkel zwischen dem Einlassgradienten G_{1c} und dem Referenz-Auslassgradienten G_{2c} ermittelt, der gemäß Fig. 3 ca. 30° beträgt und als Vergleichswert α betrachtet werden kann. Anschließend wird der Vergleichswert α mit dem Referenzwert β zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses verglichen. Daraufhin wird der Degradationszustand des Katalysators 2 anhand des Vergleichsergebnisses ermittelt. Genauer gesagt wird ermittelt, dass der Katalysator 2 einen inakzeptablen Degradationszustand aufweist, da der Vergleichswert α um ein hohes bzw. entsprechend vordefinierbares Maß kleiner als der Referenzwert β ist.

[0042] Das gemäß den Figuren 1 bis 3 erläuterte Verfahren wird während einer Aufheizphase des Brennstoffzellensystems 1 durchgeführt. Mit Bezug auf die Figuren 4 bis 6 werden anschließend weitere Ausführungsvarianten beschrieben, gemäß welchen die Ermittlung des Degradationszustandes während eines Normalbetriebs bzw. eines Stromerzeugungsbetriebs des Brennstoffzellensystems 1 zwischen einem Zeitpunkt t1 und einem Zeitpunkt t2 durchgeführt wird.

[0043] Das Verfahren zur Ermittlung des Degradationszustandes wird insbesondere jeweils zwischen dem Zeitpunkt t1 und dem Zeitpunkt t2 durchgeführt. In diesem Zeitraum wird dem Katalysator 2 das vordefinierbare Luft/Brennstoff-Verhältnis zugeführt. Der Einlassgradient G1d und der Auslassgradient G2d in Fig. 4 entsprechen hierbei dem Einlassgradienten G1a und dem Auslassgradienten G2a in Fig. 1. Der Einlassgradient G1e und der Auslassgradient G2e in Fig. 5 entsprechen dem Einlassgradienten G1b und dem Auslassgradienten G2b in Fig. 2. Der Einlassgradient G1f und der Auslassgradient G2f in Fig. 6 entsprechen dem Einlassgradienten G1c und dem Auslassgradienten G2c in Fig. 3.

[0044] Mit Bezug auf Fig. 7 wird anschließend ein Brennstoffzellensystem 1 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beschrieben. Das als SOFC-System ausgestaltete Brennstoffzellensystem 1 weist einen Brennstoffzellenstapel 13 mit einem Anodenabschnitt 14 und einem Kathodenabschnitt 15 auf. Stromaufwärts des Kathodenabschnitts 15 ist ein Gebläse 17 zum Zuführen von Luft über einen Wärmetauscher 19 zum Kathodenabschnitt 15 ausgestaltet. Stromaufwärts des Anodenabschnitts 14 ist ein Reformier 12 zum Reformieren eines Brennstoffgemisches und zum Zuführen des reformierten Brennstoffgemisches zum Anodenabschnitt 14 ausgestaltet. Stromabwärts der Elektrodenabschnitte des Brennstoffzellenstapels 13 ist ein Nachbrenner 11 mit einem Katalysator 2 bzw. einem entsprechenden Katalysatorabschnitt des Nachbrenners 11 ausgestaltet. In einem Einlassbereich 5 des Katalysators 2 ist eine Einlass-Temperaturmesseinheit 3 angeordnet und in einem Auslassbereich 6 des Katalysators 2 ist eine Auslass-Temperaturmesseinheit 4 angeordnet. Die Einlass-Temperaturmesseinheit 3 und die Auslass-Temperaturmesseinheit 4 stehen jeweils mit einem Steuergerät 20 des Brennstoffzellensystems 1 in Kommunikationsverbindung. In dem Steuergerät 20 ist ein Computerprogramm 7 installiert, das Befehle umfasst, die bei der Ausführung des Computerprogramms 7 durch das Steuergerät dieses veranlassen, das vorstehend ausführlich beschriebene Verfahren auszuführen.

[0045] Das Steuergerät 20 weist ferner eine Recheneinheit 8 zum Erstellen eines Einlassgradienten G1b, G1c, G1e, G1f anhand der gemessenen Einlasstemperaturen sowie eines Auslassgradienten G2b, G2c, G2e, G2f anhand der gemessenen Auslasstemperaturen auf. Außerdem weist das Steuergerät eine Vergleicheinheit 16 zum Vergleichen des erstellten Einlassgradienten G1b, G1c, G1e, G1f und des erstellten Auslassgradienten G2b, G2c, G2e, G2f, oder wenigstens eines Vergleichswertes α , der anhand des erstellten Einlassgradienten G1b, G1c, G1e, G1f und des erstellten Auslassgradienten G2b, G2c, G2e, G2f ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert G1a, G1d, G2a, G2d, β , auf.

[0046] Die Recheneinheit 8 ist zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses anhand des wenigstens einen Vergleichs sowie zur Ermittlung des Degradationszustandes des Katalysators 2 anhand des Vergleichsergebnisses konfiguriert und ausgestaltet. Außerdem ist die Recheneinheit 8 ausgestaltet und konfiguriert, zur Berechnung des Vergleichsergebnisses, den Einlassgradienten mit einem Referenz-Einlassgradienten und den Auslassgradienten mit einem Referenz-Auslassgradienten zu vergleichen sowie bei der Ermittlung des Degradationszustandes eine Degradation des Katalysators 2 zu erkennen, wenn die Steigung des erstellten Einlassgradienten niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten ist und/oder wenn die Steigung des erstellten Auslassgradienten höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten ist.

[0047] Zudem weist das Steuergerät 20 für die Ermittlung des Degradationszustandes eine Einstelleinheit 9 zum Einstellen eines vordefinierbaren Brennstoff/Luft-Verhältnisses für den Katalysator 2, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems 1 unterscheidet, auf. Ebenfalls enthalten in der Steuereinheit ist eine Vorhersageeinheit 10 zur Vorhersage eines inakzeptablen Degradationszustandes anhand des Vergleichsergebnisses.

[0048] Abschließend ist zu beachten, dass die Erfindung neben den dargestellten Ausführungsformen noch weitere Gestaltungsgrundsätze zulässt. D. h., die Erfindung soll nicht auf die mit Bezug auf die Figuren erläuterten Ausführungsbeispiele beschränkt betrachtet werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Brennstoffzellensystem
- 2 Katalysator
- 3 Einlass-Temperaturmesseinheit
- 4 Auslass-Temperaturmesseinheit
- 5 Einlassbereich
- 6 Auslassbereich
- 7 Computerprogramm
- 8 Recheneinheit
- 9 Einstelleinheit
- 10 Vorhersageeinheit
- 11 Nachbrenner
- 12 Reformer
- 13 Brennstoffzellenstapel
- 14 Anodenabschnitt
- 15 Kathodenabschnitt
- 16 Vergleichseinheit
- 17 Gebläse
- 19 Wärmetauscher
- 20 Steuergerät
- 21 Luft
- 22 Brennstoff

- G1a Einlassgradient / Referenzwert
- G1b Einlassgradient
- G1c Einlassgradient
- G1d Einlassgradient / Referenzwert
- G1e Einlassgradient
- G1f Einlassgradient
- G2a Auslassgradient / Referenzwert
- G2b Auslassgradient
- G2c Auslassgradient
- G2d Auslassgradient / Referenzwert
- G2e Auslassgradient
- G2f Auslassgradient

- T1 Betriebstemperatur
- t1 Zeitpunkt
- t2 Zeitpunkt

- α Vergleichswert
- β Referenzwert

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators (2) in einem Brennstoffzellensystem (1) mit einer Einlass-Temperaturmesseinheit (3) in einem Einlassbereich (5) des Katalysators (2) und gegebenenfalls einer Auslass-Temperaturmesseinheit (4) in einem Auslassbereich (6) des Katalysators (2), aufweisend die Schritte:
 - Messen von Einlasstemperaturen im Einlassbereich (5) über die Zeit mittels der Einlass-Temperaturmesseinheit (3) und Erstellen eines Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) anhand der gemessenen Einlasstemperaturen,
 - Vergleichen des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) oder wenigstens eines Vergleichswertes (α), der anhand des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert (G1a; G1d; β) zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses, und
 - Ermitteln des Degradationszustandes des Katalysators (2) anhand des Vergleichsergebnisses

dadurch gekennzeichnet, dass

für die Ermittlung des Degradationszustandes ein vordefinierbares Brennstoff/Luft-Verhältnis für den Katalysator (2) eingestellt wird, das sich von einem Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (1) unterscheidet.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
- zusätzlich Auslasstemperaturen im Auslassbereich (6) über die Zeit mittels der Auslass-Temperaturmesseinheit (4) gemessen werden und ein Auslassgradient (G2b; G2c; G2e; G2f) anhand der gemessenen Auslasstemperaturen erstellt wird, wobei zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses der erstellte Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) und der erstellte Auslassgradient (G2b; G2c; G2e; G2f) oder wenigstens ein Vergleichswert (α), der anhand des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) und des erstellten Auslassgradienten (G2b; G2c; G2e; G2f) ermittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert (G1a; G1d; G2a; G2d; β) verglichen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
- zur Berechnung des Vergleichsergebnisses der Einlassgradient (G1b; G1c; G1e; G1f) mit einem Referenz-Einlassgradienten (G1a; G1d) verglichen wird und gegebenenfalls der Auslassgradient (G2b; G2c; G2e; G2f) mit einem Referenz-Auslassgradienten (G2a; G2d) verglichen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
- bei der Ermittlung des Degradationszustandes eine Degradation des Katalysators (2) erkannt wird, wenn die Steigung des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) niedriger als die Steigung des Referenz-Einlassgradienten (G1a; G1d) ist und/oder wenn die Steigung des erstellten Auslassgradienten (G2b; G2c; G2e; G2f) höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten (G2a; G2d) ist.
5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ermittlung des Degradationszustandes während einer Aufheizphase des Brennstoffzellensystems (1) durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ermittlung des Degradationszustandes während eines Stromerzeugungsbetriebs des Brennstoffzellensystems (1) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
anhand des Vergleichsergebnisses eine Degradationsvorhersage zur Vorhersage eines in-
akzeptablen Degradationszustandes getroffen wird.
8. Computerprogramm (7), umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerpro-
gramms (7) durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach einem der An-
sprüche 1 bis 7 auszuführen.
9. Speichermittel mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm (7) zum Durchführen ei-
nes Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
10. Brennstoffzellensystem (1) zur Ermittlung eines Degradationszustandes eines Katalysators
(2), aufweisend den Katalysator (2), eine Einlass-Temperaturmesseinheit (3) in einem Ein-
lassbereich des Katalysators (2) zum Messen von Einlasstemperaturen im Einlassbereich
(5) über die Zeit, eine Recheneinheit (8) zum Erstellen eines Einlassgradienten (G1b; G1c;
G1e; G1f) anhand der gemessenen Einlasstemperaturen, eine Vergleicheinheit (16) zum
Vergleichen des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) oder wenigstens eines
Vergleichswertes (a), der anhand des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) er-
mittelt wird, mit wenigstens einem Referenzwert (G1a; G1d; β), wobei die Recheneinheit (8)
zur Berechnung eines Vergleichsergebnisses anhand des wenigstens einen Vergleichs so-
wie zur Ermittlung des Degradationszustandes des Katalysators (2) anhand des Vergleichs-
ergebnisses konfiguriert und ausgestaltet ist
dadurch gekennzeichnet, dass
für die Ermittlung des Degradationszustandes eine Einstelleinheit (9) zum Einstellen eines
vordefinierbaren Brennstoff/Luft-Verhältnisses für den Katalysator (2), das sich von einem
Brennstoff/Luft-Verhältnis in einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (1) unter-
scheidet, bereitgestellt ist.
11. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Auslass-Temperaturmesseinheit (4) in einem Auslassbereich des Katalysators (2) zum
Messen von Auslasstemperaturen im Auslassbereich (6) über die Zeit vorgesehen ist, wobei
die Recheneinheit (8) zum Erstellen des Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) anhand
der gemessenen Einlasstemperaturen sowie eines Auslassgradienten (G2b; G2c; G2e; G2f)
anhand der gemessenen Auslasstemperaturen und die Vergleicheinheit zum Vergleichen
des erstellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) und des erstellten Auslassgradienten
(G2b; G2c; G2e; G2f) oder wenigstens eines Vergleichswertes (a), der anhand des erstellten
Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) und des erstellten Auslassgradienten (G2b; G2c;
G2e; G2f) ermittelt wird, vorgesehen ist.
12. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Recheneinheit (8) ausgestaltet und konfiguriert ist, zur Berechnung des Vergleichsergeb-
nisses den Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) mit einem Referenz-Einlassgradienten
(G1a; G1d) und den Auslassgradienten (G2b; G2c; G2e; G2f) mit einem Referenz-Auslass-
gradienten (G2a; G2d) zu vergleichen.
13. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Recheneinheit (8) ausgestaltet und konfiguriert ist, bei der Ermittlung des Degradations-
zustandes eine Degradation des Katalysators (2) zu erkennen, wenn die Steigung des er-
stellten Einlassgradienten (G1b; G1c; G1e; G1f) niedriger als die Steigung des Referenz-
Einlassgradienten (G1a; G1d) ist und/oder wenn die Steigung des erstellten Auslassgradi-
enten (G2b; G2c; G2e; G2f) höher als die Steigung des Referenz-Auslassgradienten (G2a;
G2d) ist.

14. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Vorhersageeinheit (10) zur Vorhersage eines inakzeptablen Degradationszustandes
anhand des Vergleichsergebnisses bereitgestellt ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

1/4

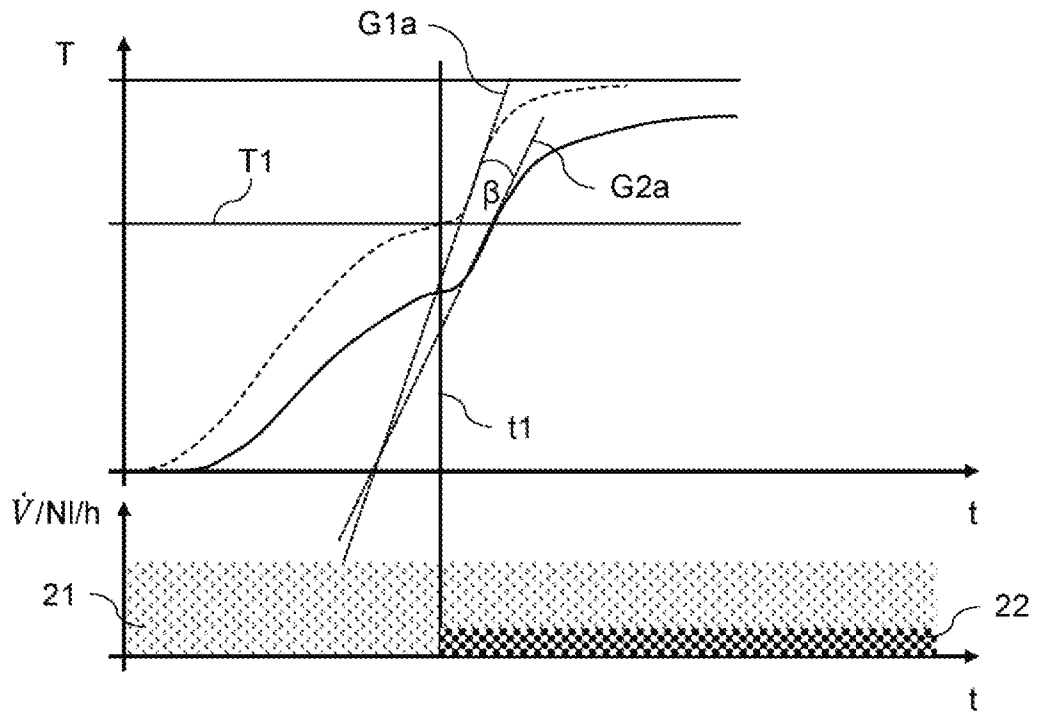


Fig. 1

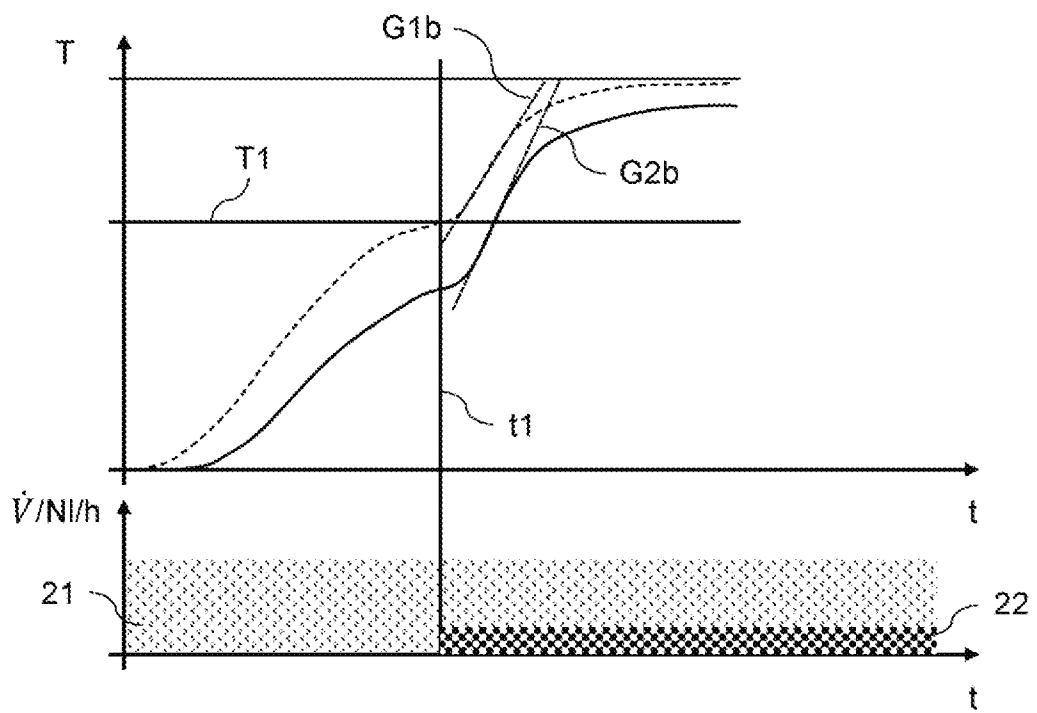


Fig. 2

2/4

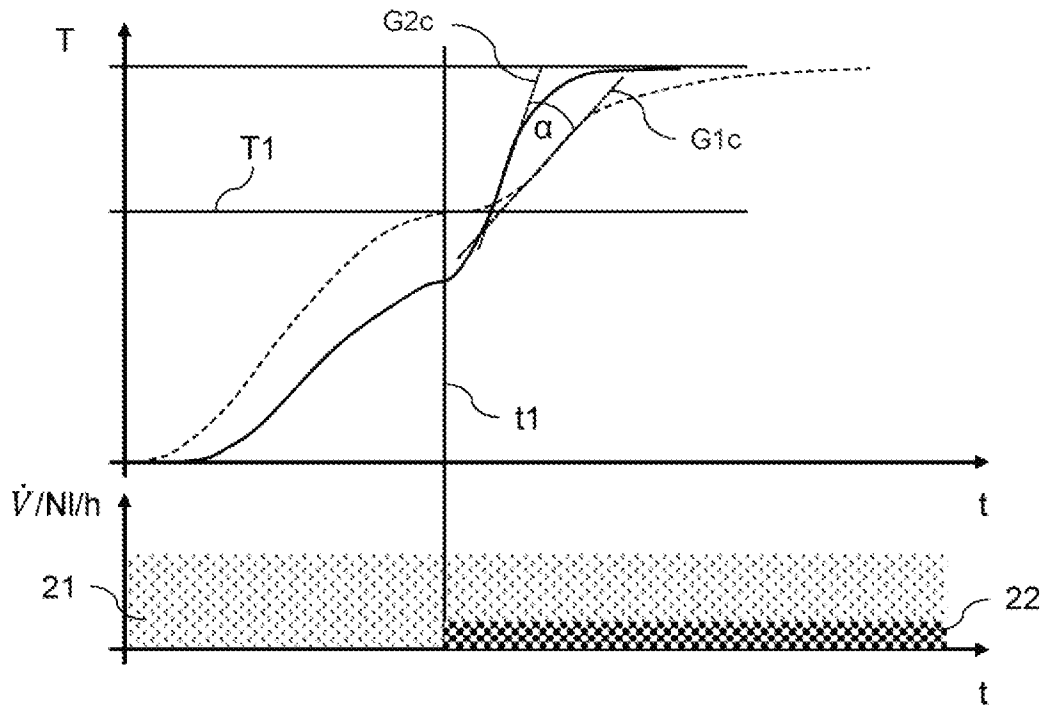


Fig. 3

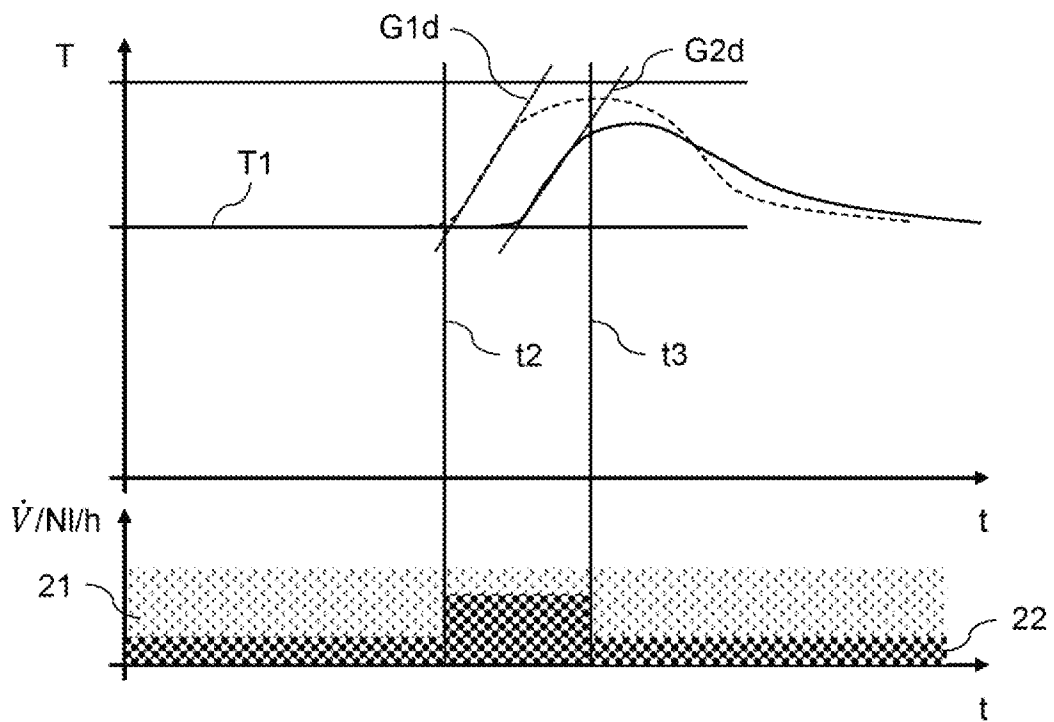


Fig. 4

3/4

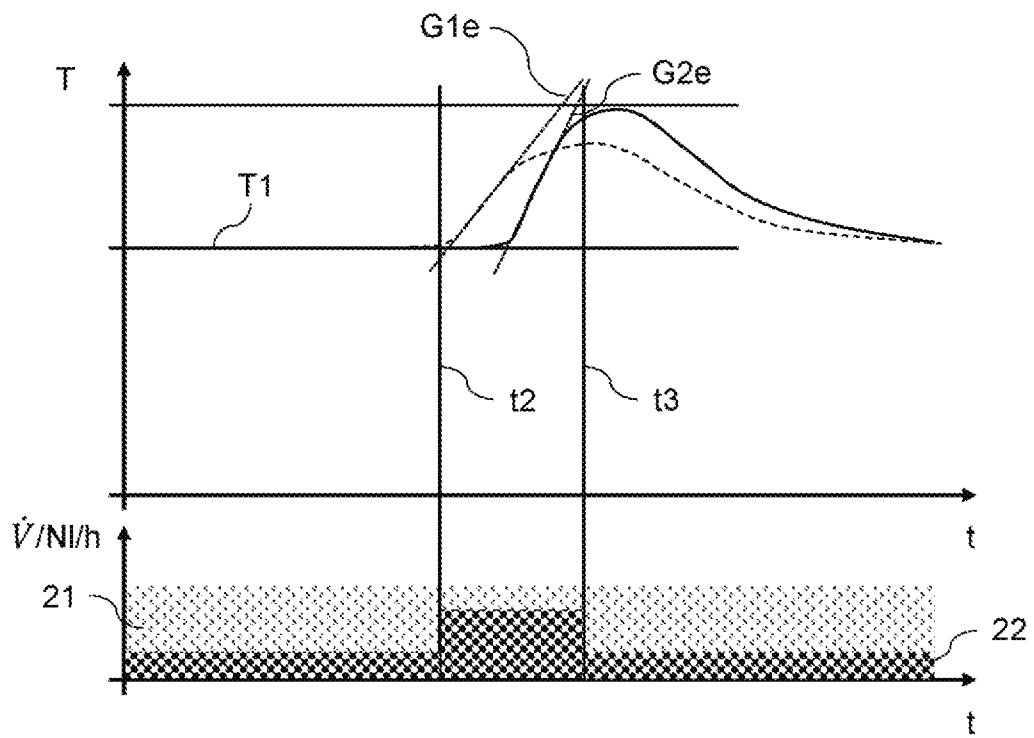


Fig. 5

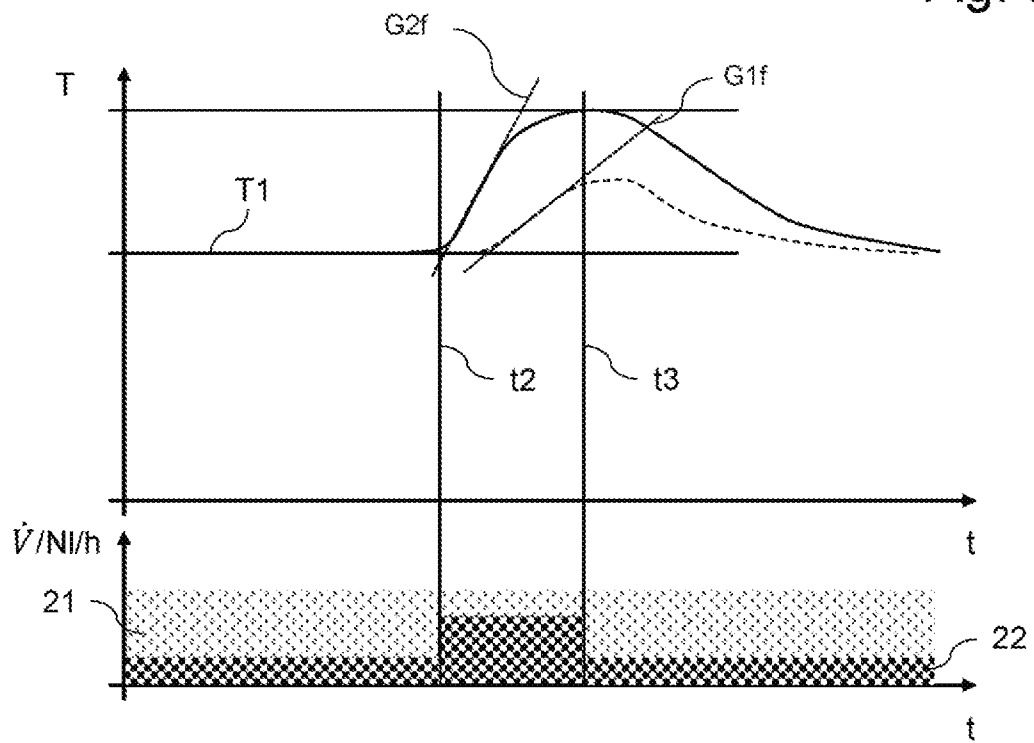


Fig. 6

