

Patentschrift

(21)

(51)

(56)

(73)

(72)

(74)

(54)

(57)



Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN UND PRÜFSTAND ZUR DURCHFÜHRUNG EINES PRÜFLAUFES FÜR EINE BRENNSTOFFZELLE

[0001] Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung eines Prüflaufs auf einem Prüfstand für eine Brennstoffzelle und einen Prüfstand hierfür.

[0002] Es gibt bekanntermaßen verschiedene Typen von Brennstoffzellen. Die Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell oder PEMFC) hat sich dabei als eine der vielversprechendsten Technologien herauskristallisiert, weil diese bei niedrigen Temperaturen betrieben werden kann, schnelle Ansprechzeit bietet, eine hohe Leistungsdichte aufweist und emissionsfrei (Reaktanden nur Wasserstoff und Sauerstoff) betrieben werden kann. Daneben gibt es allerdings noch eine Reihe anderer Brennstoffzellen Technologien, wie beispielsweise eine Alkalische Brennstoffzelle (AFC), eine Direktmethanol-Brennstoffzelle (DMFC), eine Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC), eine Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC), eine Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC), usw. Eine Brennstoffzelle verwendet für die Anode und für die Kathode je einen Reaktanden, z.B. Sauerstoff O_2 (auch in Form von Luft) und Wasserstoff H_2 , die elektrochemisch reagieren um elektrischen Strom zu erzeugen. Der Aufbau und die Funktionen der verschiedenen Brennstoffzellen sind hinreichend bekannt, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

[0003] Die angestrebte Haltbarkeit und Leistungsfähigkeit sowie Leistungsdichte, die für einen wirtschaftlichen und effizienten Einsatz von Brennstoffzellen zur Erzeugung elektrischer Energie, beispielsweise in einem Fahrzeug, notwendig sind, kann mit einer Brennstoffzelle jedoch nur dann erreicht werden, wenn die Reaktanden für den Betrieb konditioniert werden, die Zustandsgrößen der Reaktanden also bestimmte Werte aufweisen. Dabei kann es abhängig vom Typ der Brennstoffzelle notwendig sein nur einen der Reaktanden oder beide Reaktanden zu konditionieren. Oftmals werden bei der Konditionierung eine oder auch mehrere der folgenden Zustandsgrößen eines Reaktanden eingestellt: Druck, Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Massenstrom. Das erfordert natürlich entsprechende Nebenaggregate zum Verändern einer Zustandsgröße für den Betrieb der Brennstoffzelle. Solche Nebenaggregate für die Konditionierung eines Reaktanden können Verdichter, Wärmetauscher, Befeuchter, Trockner, Heiz- oder Kühleinrichtungen, Ventile, Pumpen, Rezirkulationsgebläse, usw. sein.

[0004] Im Betrieb der Brennstoffzelle ist auch die entnommene elektrische Leistung oftmals „konditioniert“, da der Brennstoffzellen-Stack nur eine bestimmte elektrische Spannung liefern kann, aber eine elektrische Leistung angefordert wird. Das kann beispielsweise mit Umrichtern oder elektrischen Zwischenspeichern (Batterien) als Nebenaggregate realisiert sein.

[0005] Im Betrieb der Brennstoffzelle werden diese Nebenaggregate von einer Brennstoffzellen-Steuereinheit (FCCU, Fuel Cell Control Unit) geregelt.

[0006] Wenn von einer Brennstoffzelle gesprochen wird, ist daher in der Regel das System aus dem Brennstoffzellen-Stack (also die Summe der einzelnen Zellen) und den notwendigen Nebenaggregaten, als auch der Brennstoffzellen-Steuereinheit, gemeint.

[0007] Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten einer Brennstoffzelle ist dabei durchaus komplex, was auch die Entwicklung einer Brennstoffzelle zu einer schwierigen Aufgabe macht. Allfällige Wechselwirkungen sind vor allem im dynamischen Betrieb der Brennstoffzelle sehr komplex. Die heutige Entwicklung von Brennstoffzellen erfolgt daher im Wesentlichen ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen dem Brennstoffzellen-Stack und den Nebenaggregaten oder zwischen den einzelnen Nebenaggregaten. Häufig werden geeignete Nebenaggregate ausgewählt und mit einem Brennstoffzellen-Stack zur Brennstoffzelle kombiniert. Nebenaggregate werden dazu in der Regel einzeln entwickelt und getestet. Bei diesem Vorgehen bleiben jedoch allfällig komplexe dynamische Wechselwirkungen beim Betrieb in einer Brennstoffzelle natürlich unberücksichtigt. Damit wird Optimierungspotential, vor allem hinsichtlich der dynamischen Steuerung und Regelung der Brennstoffzelle, in der heutigen

Entwicklung nicht ausgeschöpft, was zu Effizienzeinbußen führen kann. Dazu kommt, dass mögliche Fehl designs bestimmter Nebenaggregate, die erst im gesamten Verbund der Brennstoffzelle zum Vorschein kommen, nur mehr mit großem Aufwand, hohen Kosten und großer zeitlicher Verzögerung korrigiert werden können.

[0008] Die CN 104 062 596 A beschreibt ein Hardware-in-the-Loop Testsystem für eine Brennstoffzelle, bei der der Brennstoffzellen-Stack mit simulierten Nebenaggregaten betrieben wird. Das Entwicklungsziel ist dabei offenbar die Entwicklung des Brennstoffzellen-Stacks auf einem Prüfstand, ohne die verschiedenen physikalischen Nebenaggregate am Prüfstand vorsehen zu müssen. Damit kann aber nicht die dynamische Wechselwirkung der realen Nebenaggregate im realen Betrieb der Brennstoffzelle berücksichtigt werden, sodass dieses Testsystem für die Entwicklung der Brennstoffzelle zwar ein Fortschritt ist, aber das mögliche Entwicklungspotential zur Verbesserung der Brennstoffzelle nur bedingt ausschöpft.

[0009] Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, dynamische Wechselwirkungen von Nebenaggregaten mit einem Brennstoffzellen-Stack, oder untereinander, schon frühzeitig im Entwicklungsprozess für eine Brennstoffzelle berücksichtigen zu können, um die Entwicklung der Brennstoffzelle zu verbessern.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zumindest ein reales Nebenaggregat der Brennstoffzelle, das eine Zustandsgröße eines Reaktanden der Brennstoffzelle oder eine elektrische Zustandsgröße der Brennstoffzelle beeinflusst, am Prüfstand durch ein Emulationsmodul ersetzt wird, und für dieses Nebenaggregat ein dynamisches Simulationsmodell ausgeführt wird, das zur Durchführung des Prüflaufs das dynamische Verhalten des realen Nebenaggregats nachbildet, und das Emulationsmodul die durch das Simulationsmodell simulierte Änderung der Zustandsgröße am Prüfstand mit der Dynamik der Simulation einstellt. Durch die Verwendung eines dynamischen Simulationsmodells, das das dynamische Verhalten des Nebenaggregats nachbildet, kann das dynamische Verhalten des Gesamtverbundes (Brennstoffzellen-Stack samt aller Nebenaggregate) am Prüfstand einem dynamischen Prüflauf unterworfen werden, auch wenn nicht alle Nebenaggregate am Prüfstand real aufgebaut sind. Dabei muss nicht einmal ein einziges reales Nebenaggregat am Prüfstand vorhanden sein, aber zumindest ein reales Nebenaggregat am Prüfstand durch ein Emulationsmodul ersetzt sein. In der Minimalkonfiguration ist daher nur der Brennstoffzellen-Stack und ein Emulationsmodul am Prüfstand aufgebaut. Damit können die dynamischen Wechselwirkungen im Gesamtverbund mitberücksichtigt werden, womit das Entwicklungspotential für die Brennstoffzelle wesentlich besser ausgeschöpft werden kann. Insbesondere können damit durch die Simulationsmodelle auch Einflüsse der Nebenaggregate berücksichtigt werden, was es auch ermöglicht die Nebenaggregate gezielter für den Einsatz in einer bestimmten Brennstoffzelle zu entwickeln.

[0011] In einer vorteilhaften Ausgestaltung kann am Prüfstand zumindest ein reales Nebenaggregat verwendet werden, um zumindest eine weitere Zustandsgröße der Brennstoffzelle am Prüfstand zu beeinflussen. Das ermöglicht auch die Kombination von realen Nebenaggregaten und mit Simulationsmodell und Emulationshardware nachgebildeten Nebenaggregaten am Prüfstand.

[0012] Vorzugsweise wird die Brennstoffzelle am Prüfstand zur Durchführung des Prüflaufs mit einer elektrischen Last verbunden, um auch die Last der Brennstoffzelle im Prüflauf gezielt berücksichtigen zu können.

[0013] Die Simulation eines Nebenaggregates kann verbessert werden, wenn am Prüfstand zumindest ein Messsensor einen Messwert des Emulationsmoduls oder einen Messwert des zumindest einen realen Nebenaggregats oder der elektrischen Last erfasst und der zumindest eine Messwert in einem Simulationsmodell zur Durchführung des Prüflaufs verarbeitet wird.

[0014] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figur 1 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigt. Dabei zeigt

[0015] Fig.1 einen erfindungsgemäßen Prüfstand für eine Brennstoffzelle mit realen Nebenaggregaten und mit simulierten Nebenaggregaten.

[0016] Zunächst ist einleitend der Begriff „dynamisch“ im Sinne der Erfindung zu erläutern. Bei technischen Systemen unterscheidet man grundsätzlich zwischen einem stationären Betrieb und einem dynamischen Betrieb. Im stationären Betrieb wird ein gewünschter Betriebspunkt des technischen Systems eingestellt, beispielsweise indem verfügbare Aktuatoren des technischen Systems verstellt werden, um gewisse Regelgrößen zu verstellen. Nach dem Verstellen gibt es eine Einschwingphase in der das System sich um den gewünschten Arbeitspunkt einpendelt. Nachdem alle Einschwingvorgänge abgeklungen sind spricht man von einem stationären Betrieb. Im Beispiel einer Brennstoffzelle wird beispielsweise mit einem Massenflussregler der Massenfluss, mit einem Befeuchter die relative Feuchtigkeit und mit einer Temperiereinheit die Temperatur eines Reaktanden geändert (wobei natürlich auch beliebige andere Regelgrößen verändert werden können). Diese Änderung bewirkt natürlich eine Reaktion des technischen Systems, die sich jedoch nicht sofort einstellt, sondern sich erst nach einer gewissen Zeit, nach einer Einschwingphase und Stabilisierung des technischen Systems, einstellt. Dieser eingeschwungen Zustand des technischen Systems wird als stationärer Betriebspunkt bezeichnet. Es ist offensichtlich, dass keine absolute Zeit angegeben werden kann, wann das technische System diesen stationären Betriebspunkt erreicht, da das vom technischen System selbst, aber auch von den eingestellten Änderungen und von Betriebspunkt selbst abhängig sein kann. Stationäre Betriebspunkte werden oftmals bei der Entwicklung oder der Prüfung des technischen Systems auf einem Prüfstand angefahren und es werden dabei in den stationären Betriebspunkten benötigte Messungen am technischen System vorgenommen, um eine Rückmeldung über das Verhalten des technischen Systems zu erhalten. Die (Weiter)Entwicklung eines Brennstoffzellen-Stacks nach der CN 104 062 596 A ist ein typisches Beispiel für die Anwendung stationärer Betriebspunkte, da das Verhalten der Brennstoffzelle in gewissen Betriebspunkten getestet werden soll.

[0017] Im dynamischen Betrieb des technischen Systems, was in der Regel einem Realbetrieb entspricht, kommt es hingegen zu kontinuierlichen (im Sinne einer Regelung des technischen Systems umfasst das natürlich eine Änderung in gewissen diskreten Zeitabständen) Änderungen der Aktuatoren. Damit werden die Regelgrößen kontinuierlich geregelt und folgen gewissen Vorgaben. Das technische System erreicht dabei in der Regel keinen stationären Betriebspunkt und befindet sich damit in der Regel immer im nicht eingeschwungenen, transienten Zustand.

[0018] „Dynamisch“ im Sinne der gegenständlichen Erfindung bedeutet damit eine zeitliche Änderung einer Regelgröße, die so schnell ist, dass das technische System, auf die die Regelgröße wirkt, keinen stationären Betriebspunkt erreichen kann. Auch hier ist es natürlich nicht möglich in absoluten Zahlen anzugeben wie und in welchen zeitlichen Abständen eine Regelgröße geändert werden muss, um „dynamisch“ zu sein. Das kann auch von der Regelgröße selbst abhängig sein. Bei üblichen technischen Systemen, vor allem bei Brennstoffzellen wie in der gegenständlichen Erfindung, kann man aber davon ausgehen, dass eine Änderungsrate einer Regelgröße im Bereich von bis zu (einigen) Hundert Millisekunden als dynamisch anzusehen ist, weil technische Systeme üblicherweise eine deutlich größere Trägheit aufweisen. Im Falle der relativen Feuchtigkeit eines Reaktanden einer Brennstoffzelle, sind Änderungsraten im Bereich von einigen Sekunden noch als dynamisch anzusehen. Im Realbetrieb von Brennstoffzellen werden Regelgrößen typischerweise mit Zeitschritten im Bereich von Sekunden bis zu Millisekunden (je nach Regelgröße und nach Systemzustand) geregelt, womit die Regelgröße eine Änderung ebenfalls in diesem Zeitschritt erfahren kann.

[0019] Bei der gegenständlichen Erfindung geht es gerade um dieses dynamische Verhalten der Brennstoffzelle. In Fig.1 ist ein erfindungsgemäßer Prüfstand 1 zum Prüfen des dynamischen Verhaltens einer Brennstoffzelle 2. Am Prüfstand 1 ist ein Brennstoffzellen-Stack 3 aufgebaut, der zumindest eine Zelle umfasst. Die Brennstoffzelle 2 wird von einer Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU gesteuert. Der Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU wird in der realen Anwendung in der Regel von einer übergeordneten Steuereinheit (z.B. eine Antriebsstrang-Steuereinheit eines Fahrzeugs) ein elektrischer Strom I oder eine elektrische Leistung (oder seltener eine elektrische Spannung U), der von der Brennstoffzelle 2 angefordert wird, vorgegeben. Die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU ermittelt daraus die benötigten Stellgrößen

STG für die Nebenaggregate der Brennstoffzelle 2, die an den Nebenaggregaten eingestellt werden, um den angeforderten elektrischen Strom I oder die angeforderte elektrische Leistung (oder Spannung) zu erzeugen. Für die Erfindung wird davon ausgegangen, dass zumindest gewisse Nebenaggregate der Brennstoffzelle 2 nicht real am Prüfstand 1 vorhanden sind.

[0020] Am Prüfstand 1 sind daher eine Anzahl $m \geq 0$ von realen Nebenaggregaten NAm für den Betrieb der Brennstoffzelle, beispielsweise zum Konditionieren eines Reaktanden der Brennstoffzelle 2, angeordnet, um eine Zustandsgröße Zm der Brennstoffzelle, beispielsweise eines Reaktanden oder eine elektrische Zustandsgröße, zu beeinflussen. Eine Anzahl $n > 1$ von Nebenaggregaten der Brennstoffzelle sind aber nicht real am Prüfstand aufgebaut, sondern werden am Prüfstand 1 durch Emulationsmodule EMn ersetzt und durch die Emulationsmodule EMn nachgebildet. Dabei ist am Prüfstand 1 zumindest ein Emulationsmodul EMn als Ersatz für ein reales Nebenaggregat NAn vorgesehen. Damit wird durch ein Emulationsmodul EMn ebenfalls eine Zustandsgröße Zn der Brennstoffzelle, beispielsweise eines Reaktanden oder eine elektrische Zustandsgröße, beeinflusst. Hierbei kann es auch Querabhängigkeiten geben, d.h. dass eine Änderung einer Zustandsgröße Zm oder Zn , gleichzeitig auch eine Zustandsgröße Zm oder Zn beeinflusst und zu einer Änderung der anderen Zustandsgröße führt. „Real aufgebaut“ bedeutet damit, dass eine Komponente am Prüfstand 1 so wie in der realen Brennstoffzelle 2 verbaut angeordnet ist. „Nachgebildet“ bedeutet, dass am Prüfstand 1 mit einem Emulationsmodul EMn Emulationshardware vorhanden ist, die das reale Verhalten eines realen Nebenaggregats NAn realitätsnah nachbildet. In einer möglichen Ausgestaltung werden alle realen Nebenaggregate NAn der Brennstoffzelle 2 am Prüfstand 1 durch Emulationsmodule EMn nachgebildet.

[0021] Das dynamische Verhalten der nachgebildeten n Nebenaggregate NAn wird für jedes Emulationsmodul EMn mittels Simulationsmodellen Mn in einer Simulationseinheit 4 simuliert. Ein Simulationsmodell Mn kann ein mathematisches, physikalisches, empirisches, trainiertes, usw. Modell sein, dass in der Simulationseinheit 4 vorzugsweise als Software ausgeführt wird und das berechnet, wie sich eine Stellgröße STG auf eine Zustandsgröße Zk ($k=1, \dots, n, \dots, n+m$) der Brennstoffzelle 2, die mit dem jeweiligen Nebenaggregat beeinflusst wird, auswirkt. Diese berechnete Auswirkung wird dann mit dem zugehörigen Emulationsmodul EMn am Prüfstand 1 eingestellt, d.h. die jeweilige Zustandsgröße Zk so beeinflusst, dass diese den simulierten Wert annimmt.

[0022] Um das dynamische Verhalten der realen Nebenaggregate und auch dynamische Wechselwirkungen der realen Nebenaggregate untereinander oder mit dem Brennstoffzellen-Stack 3 realitätsnah nachbilden zu können, müssen zum einen die Emulationsmodule EMn ausreichend schnell sein, um schnellen dynamischen Änderungen einer Zustandsgröße Zk folgen zu können und zum anderen müssen die Simulationsmodelle Mn das dynamische Verhalten der realen Nebenaggregate ausreichend genau nachbilden. Ein Simulationsmodell Mn darf damit nicht nur einen stationären Betriebspunkt bei Änderung einer Stellgröße STG berechnen, sondern muss das dynamische Verhalten, also beispielsweise Anstiegszeiten, Überschwingen, usw., der Zustandsgröße Zk ebenso abbilden. Ein Emulationsmodul EMn muss damit zumindest die Dynamik der Simulation durch das Simulationsmodell Mn aufweisen, damit die Zustandsgröße Zk am Prüfstand 1 ausreichend schnell eingestellt werden und damit der Simulation folgen kann.

[0023] In einem Emulationsmodul EMn ist üblicherweise ein geeigneter Regler (in Fig.1 nicht dargestellt) implementiert, der die geforderte Änderung der Zustandsgröße Zk einstellt.

[0024] In einer Brennstoffzelle 2 sind natürlich auch eine Anzahl $p \geq 1$ von Messsensoren Sp vorgesehen, um bestimmte Messwerte MW zu erfassen, die für das Steuern der Brennstoffzelle 2 benötigt werden. Auch am Prüfstand 1 können entsprechende Messsensoren Sp angeordnet sein, die ihre Messwerte MW an die Simulationseinheit 4 liefern. Die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU verarbeitet beispielsweise diese Messwerte MW . Ebenso können aber die Simulationsmodelle Mn Messwerte MW verarbeiten, je nach Implementierung der Simulationsmodell Mn .

[0025] Die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU kann die reale, in der Brennstoffzelle 2 verbauete Steuereinheit sein oder kann auch in der Simulationseinheit 4, beispielsweise durch entsprechende Software, simuliert werden (angedeutet durch die strichlierte Linie in der Simulationseinheit 4). Damit kann auch die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU durch die Simulation in der Simulationseinheit 4 für einen Prüflauf am Prüfstand 1 geändert werden, um bestimmte Auswirkungen auf das Verhalten der Brennstoffzelle 2 zu überprüfen.

[0026] Die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU ist unabhängig davon ob reale Nebenaggregate NAM oder Emulationsmodule EMn gesteuert werden. Die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU muss diesen Unterschied für die Durchführung eines Prüflaufs PL nicht kennen.

[0027] Der Brennstoffzellen-Stack 3 kann außerdem am Prüfstand 1 mit einer elektrischen Last 5 verbunden sein, um einen bestimmten Lastzustand der Brennstoffzelle 2 nach einem vorgegebenen Prüflauf PL zu simulieren. Der Prüflauf PL wird beispielsweise von einem Prüfstandfahrer vorgegeben. Die Durchführung des Prüflaufs PL selbst kann dann vollautomatisiert durchgeführt werden. Die Last 5 ist beispielsweise als Umrichter ausgeführt, um einen bestimmten elektrischen Strom und/oder elektrische Spannung einzustellen. Zwischen der Last 5 und dem Brennstoffzellen-Stack 3 könnte natürlich auch noch ein Umrichter oder elektrischer Zwischenspeicher der Brennstoffzelle (als Nebenaggregat) vorgesehen sein. Auch ein solches Nebenaggregat könnte am Prüfstand 1 durch ein Simulationsmodell Mn in Kombination mit einem zugehörigen Emulationsmodul EMn nachgebildet werden.

[0028] Es könnte aber natürlich auch eine reale Last 5 am Prüfstand 1 aufgebaut sein, beispielsweise ein elektrischer Antriebsstrang eines Elektrofahrzeugs oder Hybridfahrzeugs, oder ein Teil eines solchen Antriebsstranges.

[0029] Dabei können mit Messsensoren S3 auch Messwerte MW der Last 5 erfasst und weiterverarbeitet werden.

[0030] Die Durchführung eines Prüflaufs PL wird von einer Prüfstandautomatisierungseinheit 6 gesteuert. Ein Prüflauf PL ist beispielsweise als zeitliche Abfolge von elektrischen Strömen und elektrischen Spannungen oder als zeitlicher Verlauf einer elektrischen Leistung, die an der Last 5 eingestellt wird, vorgegeben.

[0031] Zur Umsetzung des Prüflaufs liefert die Prüfstandautomatisierungseinheit 6 beispielsweise eine Leistungsanforderungsinformation (z.B. einen elektrischen Strom I) an die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU. Diese dient der Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU als Vorabinformation, um sich auf die entsprechenden Betriebsbedingungen vorbereiten zu können. Im Gegenzug liefert die Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU kontinuierlich die mit der Brennstoffzelle 2 aktuell maximal zur Verfügung stehende Leistung an die Prüfstandautomatisierungseinheit 6. Je nach Typ der Brennstoffzelle 2 wird die geforderte Leistungsanforderung nach einer gewissen Zeit erreicht. Die Lastanforderung an die Last 5 wird von der Prüfstandautomatisierungseinheit 6 basierend auf der Rückmeldung der Brennstoffzellen-Steuereinheit FCCU laufend limitiert. Die volle Leistungsanforderung wird erst dann freigegeben, wenn die Brennstoffzelle 2 die dafür notwendigen Betriebsbedingungen hergestellt hat. Damit ergibt sich eine Diskrepanz zwischen Leistungsanforderung und der Ist-Leistung. Je nach Art der Last 5 (beispielsweise Fahrzeugkonzept oder Applikationskonzept) wird die nicht zur Verfügung stehende Leistung zwischenzeitlich beispielsweise von einem Batteriesystem zur Verfügung gestellt oder überbrückt. Die Prüfstandautomatisierungseinheit 6 kann damit am Prüfstand 1 auch die Funktion einer übergeordneten Steuereinheit, wie sie bei einer realen Anwendung der Brennstoffzelle 2 vorhanden wäre, übernehmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung eines Prüflaufs auf einem Prüfstand (1) für eine Brennstoffzelle (2), wobei zumindest ein reales Nebenaggregat (NAn) der Brennstoffzelle (2), das eine Zustandsgröße (Zn) eines Reaktanden der Brennstoffzelle (2) oder eine elektrische Zustandsgröße der Brennstoffzelle (2) beeinflusst, am Prüfstand (1) durch ein Emulationsmodul (EMn) ersetzt wird, und für dieses Nebenaggregat (NAn) ein dynamisches Simulationsmodell (Mn) ausgeführt wird, das zur Durchführung des Prüflaufs das dynamische Verhalten des realen Nebenaggregats (NAn) nachbildet, und das Emulationsmodul (EMn) die durch das Simulationsmodell (Mn) simulierte Änderung der Zustandsgröße (Zn) am Prüfstand (1) mit der Dynamik der Simulation einstellt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Prüfstand (1) zusätzlich zumindest ein reales Nebenaggregat (NAm) verwendet wird, um zumindest eine weitere Zustandsgröße (Zm) der Brennstoffzelle (2) am Prüfstand (1) zu beeinflussen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennstoffzelle (2) am Prüfstand (1) zur Durchführung des Prüflaufs mit einer elektrischen Last (5) verbunden wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Prüfstand (1) zumindest ein Messsensor (Sp) einen Messwert (MW) des Emulationsmoduls (EMn) oder einen Messwert (MW) des zumindest einen realen Nebenaggregats (NAn) oder der elektrischen Last (5) erfasst und der zumindest eine Messwert (MW) in einem Simulationsmodell (Mn) zur Durchführung des Prüflaufs verarbeitet wird.
5. Prüfstand für eine Brennstoffzelle (2), wobei am Prüfstand (1) ein Brennstoffzellen-Stack (3) angeordnet ist und am Prüfstand (1) zumindest ein Emulationsmodul (EMn) vorgesehen ist, das ein reales Nebenaggregat (NAn) der Brennstoffzelle (2), das eine Zustandsgröße (Zn) eines Reaktanden der Brennstoffzelle (2) oder eine elektrische Zustandsgröße der Brennstoffzelle (2) beeinflusst, ersetzt, und am Prüfstand (1) eine Simulationseinheit (4) vorgesehen ist, in der ein dynamisches Simulationsmodell (Mn) implementiert ist, das das dynamische Verhalten des realen Nebenaggregats (NAn) nachbildet, und das Simulationsmodell (Mn) anhand eines vorgegebenen Prüflaufs eine Änderung der Zustandsgröße (Zn) berechnet und das Emulationsmodul (EMn) die Änderung der Zustandsgröße (Zn) am Prüfstand (1) einstellt.
6. Prüfstand nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Prüfstand (1) zusätzlich zumindest ein reales Nebenaggregat (NAn) vorgesehen ist, das zumindest eine weitere Zustandsgröße (Zm) der Brennstoffzelle (2) gemäß dem Prüflauf beeinflusst.
7. Prüfstand nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennstoffzelle (2) am Prüfstand (1) mit einer elektrischen Last (5) verbunden ist.
8. Prüfstand nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Prüfstand (1) zumindest ein Messsensor (Sp) vorgesehen ist, der einen Messwert (MW) des Emulationsmoduls (EMn) oder einen Messwert (MW) des zumindest einen realen Nebenaggregats (NAn) oder der elektrischen Last (5) erfasst und das Simulationsmodell (Mn) den zumindest einen Messwert (MW) zur Durchführung des Prüflaufs verarbeitet.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

1/1

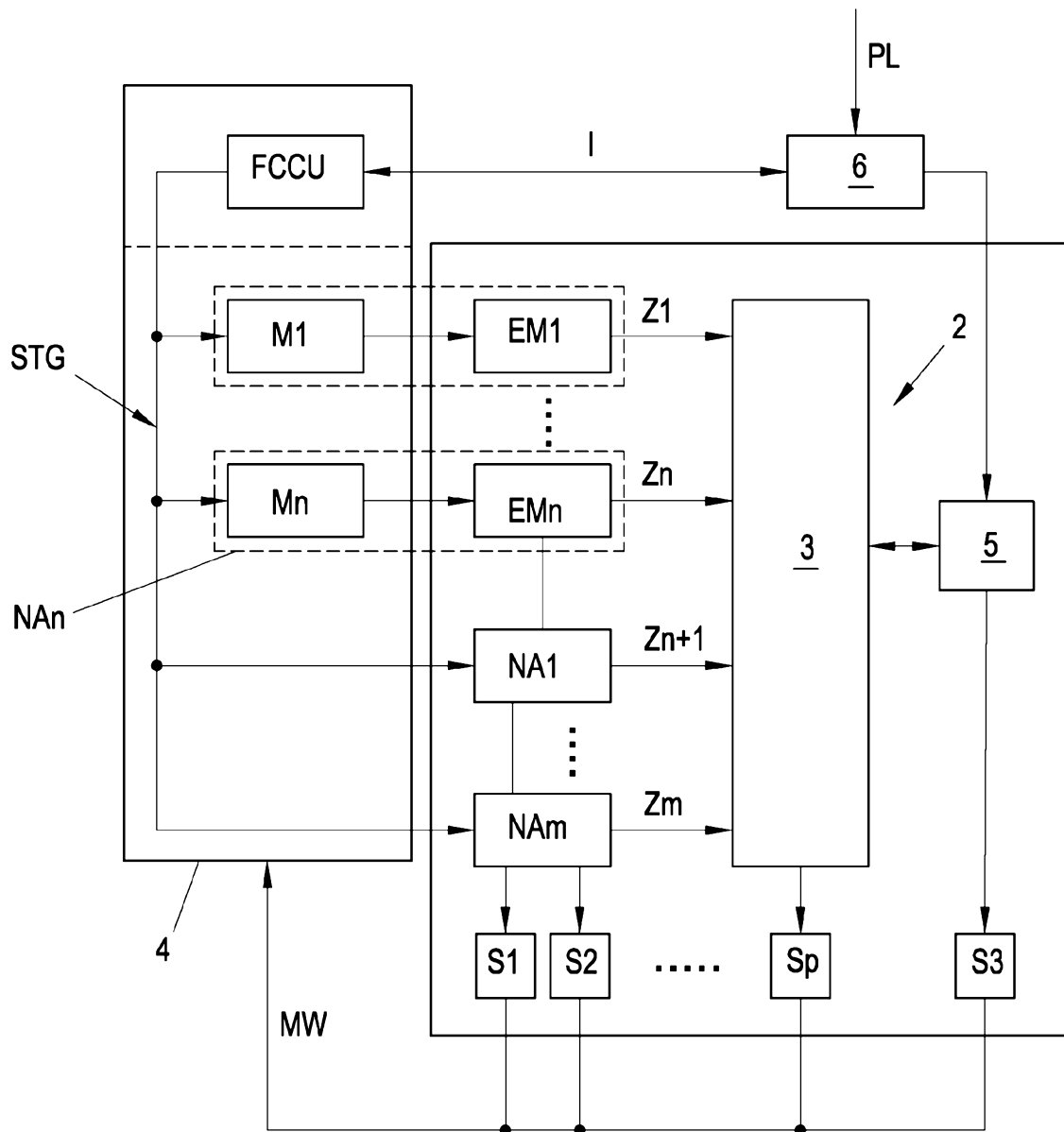


Fig. 1