



(10) **DE 10 2014 219 888 A1** 2016.05.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 219 888.7**

(22) Anmeldetag: **01.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **25.05.2016**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04 (2006.01)**

H01M 8/12 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Horstmann, Peter, 71229 Leonberg, DE; Wahl,
Stefanie, 71634 Ludwigsburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

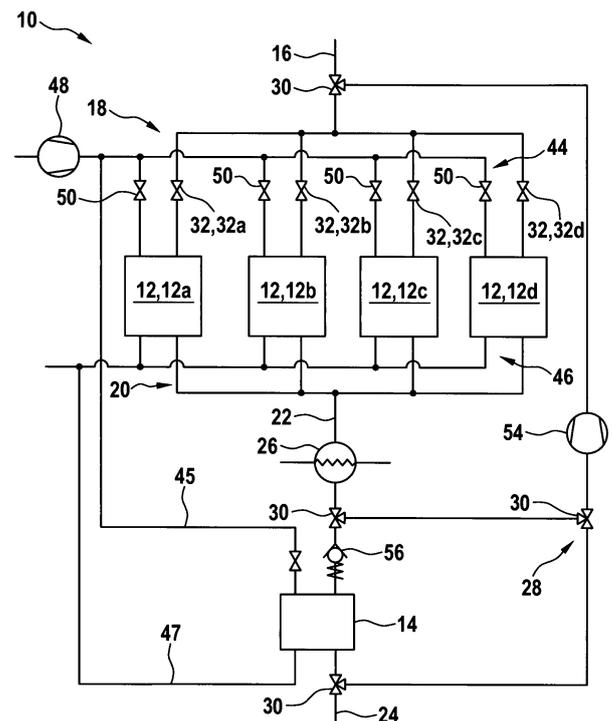
DE	102 56 281	A1
DE	10 2009 031 774	A1
EP	1 686 643	B1
EP	0 263 052	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem und Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems mit erhöhtem Wirkungsgrad**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (10) und ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, welches mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12), die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack (14), der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks (12) seriell durchströmt wird, aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem und ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, welches mindestens zwei Brennstoffzellenstacks, die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack, der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks seriell durchströmt wird, aufweist.

Stand der Technik

[0002] Die DE10256281A1 offenbart Brennstoffzellenstacks mit verschiedenen Betriebstemperaturen, welche zur Verbesserung des Feuchtigkeitsgehalts der Reaktionsgase bei PEM-Brennstoffzellen auf verschiedene Weise miteinander verschaltet werden.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem, welches mindestens zwei Brennstoffzellenstacks, die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack, der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks seriell durchströmt wird, aufweist, hat demgegenüber den Vorteil, dass die mindestens zwei Brennstoffzellenstacks und der mindestens eine zusätzliche Brennstoffzellenstack mindestens eine SOFC-Brennstoffzelle umfassen. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, ein Brennstoffzellensystem mit hohem Wirkungsgrad bei hohen Temperaturen, beispielsweise bei ca. 750 °C, zu betreiben. Dies ermöglicht vor allem den Einsatz des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, bei welchen neben Strom auch hohe Mengen an Wärme erzeugt werden sollen.

[0004] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Merkmale sind vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems möglich. So ist ein Wärmetauscher zur Abkühlung von Abgas angeordnet. Dadurch kann die durch das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem erzeugte Wärme besonders effizient abgegriffen und genutzt werden.

[0005] Es ist von Vorteil, wenn der Wärmetauscher zur Abkühlung von Abgas stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks und stromaufwärts des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks angeordnet ist. Dadurch kann das aus den mindestens zwei Brennstoffzellenstacks kommende Abgas noch vor Eintritt in den mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack auf eine geeignete Temperatur abgekühlt werden.

[0006] In Bevorzugter Weise, ist eine Anodenabgasrezirkulation angeordnet. Durch die Anodenabgasrezirkulation kann im Abgas enthaltener, unverbrauchter Brennstoff rückgeführt werden, wodurch der Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems zusätzlich erhöht wird.

[0007] Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Anodenabgasrezirkulation beginnend und/oder endend stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks und/oder des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks angeordnet ist. So wird eine flexible Rückführung von Abgas ermöglicht, die je nach Betriebsart des Brennstoffzellensystems angepasst sein kann.

[0008] Ferner ist stromaufwärts zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks mindestens ein Ventil angeordnet. Dadurch kann das Durchströmen durch die jeweiligen Brennstoffzellenstacks gezielt beeinflusst und an herrschende Betriebsbedingungen angepasst werden.

[0009] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, welches mindestens zwei Brennstoffzellenstacks, die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack, der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks seriell durchströmt wird, aufweist. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Leistung mindestens eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks in Abhängigkeit eines Leistungsbedarfs moduliert wird.

[0010] Es ist von Vorteil, wenn die Modulation mittels einer Steuereinheit gesteuert oder geregelt wird. So kann die Leistungsbedarfsabhängige Modulation auf technisch einfache und effiziente Weise umgesetzt werden.

[0011] In bevorzugter Weise, wird das Durchströmen der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks mittels mindestens eines Ventils, insbesondere mittels Schließen und/oder Öffnen mindestens eines Ventils, moduliert. So kann die vom Brennstoffzellensystem bereitgestellte Leistung auf elegante Weise über das Durchströmen der Brennstoffzellenstacks an den Leistungsbedarf angepasst werden.

[0012] Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei sinkendem Leistungsbedarf das Durchströmen zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks gedrosselt oder unterbunden wird. So kann das Durchströmen einzelner Brennstoffzellenstacks angepasst oder sogar vollständig vermieden werden, wenn keine entsprechende Leistungsbereitstellung benötigt wird. Dadurch wird vor allem die Lebensdauer einzelner Brennstoffzellenstacks erhöht.

[0013] Es ist vorteilhaft, wenn der zumindest eine der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks, während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, auf einer im Wesentlichen betriebstauglichen Temperatur, insbesondere von 600 °C, gehalten wird. So wird ein dynamischer und flexibler Einsatz der Brennstoffzellenstacks ermöglicht.

[0014] Es ist bevorzugt, wenn der zumindest eine der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks, während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, kathodenseitig mit heißer Luft durchströmt wird. Entsprechend muss keine zusätzliche Erwärmungseinheit verbaut werden, welche die Brennstoffzellenstacks betriebsbereit hält.

[0015] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform, weist das Brennstoffzellensystem mindestens eine Anodenabgasrezirkulation auf, wobei eine Rezirkulationsrate über mindestens einen Verdichter in der mindestens einen Anodenabgasrezirkulation an das Durchströmen der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks angepasst wird. So können die im Brennstoffzellensystem vorliegenden Druckverhältnisse an die Modulation gezielt angepasst werden.

Zeichnungen

[0016] In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems schematisch dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

[0017] Fig. 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

[0018] Fig. 2 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems mit einer Steuereinheit.

Beschreibung

[0019] Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems **10**, welches mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**, im gezeigten Ausführungsbeispiel vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack **14**, der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** seriell durchströmt wird, aufweist. Die mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**, im gezeigten Ausführungsbeispiel die vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, und der mindestens eine zusätzliche Brennstoffzellenstack **14** umfassen mindestens eine SOFC-Brennstoffzelle. Durch den Einsatz von SOFC-Brennstoffzellen ist es möglich das Brennstoffzellensystem **10** bei hohen Temperaturen, beispielsweise bei 750 °C, zu betreiben. Dadurch

können neben Strom auch hohe Mengen an Wärme erzeugt werden. Dies ermöglicht einen Einsatz des Brennstoffzellensystems bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, bei welchen neben Strom auch hohe Mengen an Wärme produziert werden sollen.

[0020] Der Brennstoff wird über eine Zufuhrleitung **18** der Brennstoffzellenanordnung **10** zugeführt. Anschließend gelangt der Brennstoff über parallel zueinander verlaufende Leitungen **18** zu den Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, wo er unter Erzeugung von Strom und Wärme zumindest im Wesentlichen elektrochemisch umgesetzt wird.

[0021] Wie erläutert umfassen die Brennstoffzellenstacks **12** SOFC-Brennstoffzellen, die bei hohen Temperaturen von 750 °C betrieben werden. Sowohl die parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12**, als auch der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** seriell durchströmte Brennstoffzellenstack **14** sind baugleich und weisen einen Arbeitsbereich im selben Temperaturbereich von 600 °C bis 850 °C auf.

[0022] Des Weiteren umfassen zumindest die parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** jeweils einen in die mindestens eine SOFC-Brennstoffzelle integrierten Reformier zur Reformierung des Brennstoffes, welcher nicht bildlich dargestellt ist. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird Erdgas als Brennstoff verwendet, welches durch die integrierten Reformier in den Brennstoffzellenstacks **12** zu Wasserstoff reformiert wird. Alternativ ist es auch denkbar, dass jeweils ein Reformier strömungstechnisch vor die mindestens eine SOFC-Brennstoffzelle in einem jeden Brennstoffzellenstack **12** oder vor jeden der Brennstoffzellenstacks **12** oder vor die Brennstoffzellenanordnung **10** angeordnet wird.

[0023] Das bei der Umsetzung des Brennstoffes entstehende Abgas verlässt die Brennstoffzellenstacks **12** über ebenfalls parallel verlaufende Leitungen **20** und wird in der Abgasleitung **22** zusammengeführt.

[0024] Wie Fig. 1 entnommen werden kann, ist ein Wärmetauscher **26** zur Abkühlung des Abgases angeordnet. Durch diesen wird das aus der Abgasleitung **22** kommende Abgas abgekühlt. Die dabei abgreifbare Wärme wird beispielsweise für einen bildlich nicht dargestellten Heizkreislauf oder zur Erwärmung von Brauchwasser verwendet. Zusätzlich ist es auch denkbar, dass die Wärme intern im Brennstoffzellensystem **10** zur Vorwärmung der im Brennstoffzellensystem **10** strömenden Fluide genutzt wird.

[0025] Der Wärmetauscher **26** ist zur Abkühlung des Abgases stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12** und stromaufwärts des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks **14** angeordnet. So wird das Abgas vor Eintritt in den zu-

sätzlichen Brennstoffzellenstack **14** auf eine für den Brennstoffzellenstack **14** betriebstaugliche Temperatur abgekühlt, wodurch temperaturbedingte Schäden in dem zusätzlichen Brennstoffzellenstack **14** vermieden werden.

[0026] Durch den zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** seriell durchströmten, zusätzlichen Brennstoffzellenstack **14** wird der gegebenenfalls im Abgas enthaltene, nicht umgesetzte Brennstoff nachträglich umgesetzt. Dadurch wird der Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems **10** effizient erhöht. Anschließend verlässt der nahezu vollständig umgesetzte Brennstoff das Brennstoffzellensystem **10** über die Abgasleitung **24**.

[0027] Des Weiteren ist eine Anodenabgasrezirkulation **28** angeordnet. Durch die Anodenabgasrezirkulation **28** wird ein Teil des Abgases rezirkuliert und der Zufuhrleitung **16** wieder zugeführt. Das im Abgas enthaltene Wasser wird zur Dampfreformierung in den jeweiligen Reformern verwendet. Desweiteren kann der Teil des im Abgas enthaltenen Brennstoffes, welcher nicht in den zueinander parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** umgesetzt wurde, zumindest im Wesentlichen nachträglich umgesetzt werden.

[0028] Die Anodenabgasrezirkulation **28** ist beginnend und/oder endend stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks und/oder des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks **14** angeordnet. Mit Hilfe von Dreiwegeventilen **30** kann je nach Betriebsart oder Betriebszustand des Brennstoffzellensystems **10** eine entsprechende Konfiguration für eine Anodenabgasrezirkulation **28** gewählt werden.

[0029] Im Normalbetrieb werden die Dreiwegeventile **30** so eingestellt, dass die Anodenabgasrezirkulation **28** stromabwärts der parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** und stromaufwärts des zusätzlichen Brennstoffzellenstacks **14** beginnt, d.h. einen entsprechenden Teil des Abgases nach Abkühlung durch den Wärmetauscher **26** abzweigt, und stromaufwärts der parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** endet, d.h. die abgezweigten Abgase der Zufuhrleitung **16** zuführt.

[0030] Alternativ ist es aber auch denkbar, dass die Anodenabgasrezirkulation **28** stromabwärts des zusätzlichen Brennstoffzellenstacks **14** beginnt und entweder stromaufwärts der parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** endet oder stromabwärts der parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** und stromaufwärts des zusätzlichen Brennstoffzellenstacks **14**.

[0031] Des Weiteren ist stromaufwärts zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**,

im gezeigten Ausführungsbeispiel der vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, mindestens ein Ventil **32**, im Ausführungsbeispiel sind vier Ventile **32a**, **32b**, **32c**, **32d**, angeordnet. Dadurch ist es möglich das Durchströmen für einen jeden Brennstoffzellenstack **12** zu kontrollieren.

[0032] Das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem wird so betrieben, dass die Leistung mindestens eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**, im Ausführungsbeispiel der vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, in Abhängigkeit eines Leistungsbedarfs moduliert wird.

[0033] Unter einer Modulation ist zu verstehen, dass das Durchströmen von Brennstoff durch einen oder mehrere der Brennstoffzellenstacks **12** so beeinflusst wird, dass sich die Leistung des gesamten Brennstoffzellensystems **10** an den Leistungsbedarf anpasst.

[0034] Die Modulation wird mittels einer Steuereinheit **34** gesteuert oder geregelt. Eine entsprechende Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems **10** mit einer Steuereinheit ist in **Fig. 2** gezeigt.

[0035] Der Leistungsbedarf bzw. die Leistungsanforderung für das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem **10** wird der Steuereinheit **34** über eine Leitung **36** vorgegeben.

[0036] Über Bussysteme **38**, **40**, welche mit den Brennstoffzellenstacks **12**, **14** des Brennstoffzellensystems **10** verbunden sind, ermittelt die Steuereinheit **34** die momentan bereitgestellte Leistung des Brennstoffzellensystems **10**, vergleicht diese mit dem vorgegebenen Leistungsbedarf und moduliert daraufhin das Durchströmen von Brennstoff durch die mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**, im Ausführungsbeispiel durch mindestens einen der vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, um diesen an den Leistungsbedarf anzupassen. Das Durchströmen der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12** wird mittels des mindestens einen Ventils **32**, im Ausführungsbeispiel mittels mindestens einem der vier Ventile **32a**, **32b**, **32c**, **32d**, insbesondere mittels Schließen und/oder Öffnen des mindestens einen Ventils **32**, moduliert. Die Ventile **32** werden ebenfalls durch ein Bussystem **42** gesteuert oder geregelt.

[0037] Bei sinkendem Leistungsbedarf wird das Durchströmen zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks **12**, im Ausführungsbeispiel zumindest eines der mindestens vier Brennstoffzellenstacks **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, gedrosselt oder unterbunden. Dadurch kann die Nutzung einzelner Brennstoffzellenstacks auf Minimum beschränkt werden, welches dem tatsächlichen Leistungsbedarf ent-

spricht, wodurch wiederum die Lebensdauer der Brennstoffzellenstacks erhöht wird.

[0038] Unter einem sinkenden Leistungsbedarf kann sowohl ein sich kontinuierlich, als auch ein sich diskontinuierlich ändernder Leistungsbedarf verstanden werden.

[0039] Bei einem kontinuierlich sinkenden Leistungsbedarf wird vorerst die Brennstoffzufuhr für den Brennstoffzellenstack **12d** entsprechend durch das Ventil **32d** kontinuierlich gedrosselt. Ist das Ventil **32d** vollständig geschlossen, d.h. die Brennstoffzufuhr vollständig unterbunden, so wird bei Bedarf die Brennstoffzellenzufuhr für den nächsten Brennstoffzellenstack **12c** durch das Ventil **32c** gedrosselt. Entsprechend wird nacheinander mit den zwei übrigen Brennstoffzellenstacks **12b**, **12a** mit den Ventilen **32b**, **32a** verfahren. Die Leistung wird dabei so weit reduziert, bis eine minimale Leistung erreicht ist, bei welcher ein sicherer Betrieb noch gewährleistet werden kann. Durch das kontinuierliche Regeln der Brennstoffzufuhr wird das Brennstoffzellensystem auf schonende Art und Weise betrieben.

[0040] Die Reihenfolge der Brennstoffzellenstacks **12**, bei denen nacheinander das Durchströmen gedrosselt oder unterbunden wird erfolgt wie vorangehend beschrieben, jedoch ist es auch denkbar, dass die Reihenfolge variiert wird, um die Brennstoffzellenstacks **12** gleichmäßig abzunutzen.

[0041] Bei einem kontinuierlich steigenden Leistungsbedarf werden die Ventile **32** entsprechend kontinuierlich geöffnet, insofern sie nicht schon vollständig geöffnet sind bzw. eine maximal mögliche Leistungsbereitstellung erreicht ist.

[0042] Auch bei einem sich diskontinuierlich ändernden Leistungsbedarf wird die entsprechende Einstellung für die Ventile **32** ebenfalls kontinuierlich vorgenommen um eine das Brennstoffzellensystem schonende Regelung zu gewährleisten.

[0043] Alternativ ist es aber auch denkbar, dass die Regelung diskontinuierlich stattfindet. So ist es möglich, dass die entsprechende Einstellung für die Ventile **32** diskontinuierlich vorgenommen wird. Dies kann beispielsweise dadurch bewerkstelligt werden, dass zumindest eines der Ventile **32** vollständig geschlossen wird und kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn aus Sicherheitsgründen eine Brennstoffzufuhr zu zumindest einem der Brennstoffzellenstacks **12** unterbunden werden soll.

[0044] Des Weiteren wird der Brennstoffzellenstacks **12**, bei dem das Durchströmen gedrosselt oder unterbunden wird, während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, auf einer im Wesent-

lichen betriebstauglichen Temperatur, insbesondere von 600 °C, gehalten.

[0045] Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird dies dadurch erreicht, dass der entsprechende Brennstoffzellenstacks **12**, während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, kathodenseitig mit heißer Luft durchströmt wird. So bleibt jeder Brennstoffzellenstack **12** betriebsbereit und dynamisch einsetzbar, auch wenn er nicht von Brennstoff durchströmt wird.

[0046] Die heiße Luft wird den parallel zueinander durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** über die Luftzufuhrleitungen **44** zugeführt und über die Luftabfuhrleitungen **46** abgeführt. Für den zusätzlichen, nachgeschalteten Brennstoffzellenstack **14** wird die Luft über zusätzliche Leitungen **45**, **47**, welche mit den Luftzufuhr- und Luftabfuhrleitungen **44**, **46** entsprechend verbunden sind, zu- und abgeführt. Der Luftstrom wird ebenfalls durch die Steuereinheit **34** gesteuert bzw. geregelt. Die Steuerung bzw. Regelung des Luftstroms wird mittels einer Pumpe **48** und Ventilen **50** gesteuert. Die Ventile **50** sind wie auch die Ventile **32** über das Bussystem **42** mit der Steuereinheit **34** verbunden. Die Pumpe **48** wird über ein weiteres Bussystem **52** angesteuert.

[0047] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Pumpe **48** in den Luftzufuhrleitungen **44** angeordnet. Alternativ ist es aber auch denkbar, dass die Pumpe **48** in den Luftabfuhrleitungen **46** angeordnet ist.

[0048] Wie schon erläutert weist das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem **10** mindestens eine Anodenabgasrezirkulation **28** auf, wobei eine Rezirkulationsrate über mindestens einen Verdichter **54**, im gezeigten Ausführungsbeispiel über eine Pumpe **54**, in der Anodenabgasrezirkulation **28** an das Durchströmen der Brennstoffzellenstacks **12** angepasst wird. Der Rezirkulationsstrom wird so angepasst, dass dem nachgeschalteten seriell durchströmten Brennstoffzellenstack **14** stets derselbe Volumenstrom zugeführt wird.

[0049] Für das gezeigte Ausführungsbeispiel ist die Rezirkulationsrate r durch

$$r = \frac{\dot{V}_r}{\dot{V}_{12a} + \dot{V}_{12b} + \dot{V}_{12c} + \dot{V}_{12d}}$$

beschrieben, wobei \dot{V}_r der durch die Anodenabgasrezirkulation rezirkulierte Volumenstrom und \dot{V}_{12a} , \dot{V}_{12b} , \dot{V}_{12c} , \dot{V}_{12d} der durch die einzelnen parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** fließende Volumenstrom sind.

[0050] Der Volumenstrom durch den nachgeschalteten, seriell durchströmten Brennstoffzellenstack **14** ergibt sich durch

$$\dot{V}_{14} = (1 - r) \cdot (\dot{V}_{12a} + \dot{V}_{12b} + \dot{V}_{12c} + \dot{V}_{12d}).$$

[0051] Die beschriebenen Gleichungen sind in der Steuereinheit **34** hinterlegt und werden für die Steuerung und Regelung des Brennstoffzellensystems **10** in analytischer Weise berücksichtigt.

[0052] Wird das Durchströmen durch einen der Brennstoffzellenstacks **12** unterbunden, so reduziert sich der gesamte Volumenstrom, wodurch die Rezirkulationsrate ebenfalls reduziert wird. In analoger Weise wird die Rezirkulationsrate erhöht, wenn ein zusätzliches Durchströmen durch einen der Brennstoffzellenstacks **12** ermöglicht wird.

[0053] Um ein ansaugen von Gasen aus dem nachgeschalteten Brennstoffzellenstack **14** zu vermeiden ist ein Rückschlagventil **56** stromaufwärts des Brennstoffzellenstacks **14** angeordnet.

[0054] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Komponenten, wie z.B. die Brennstoffzellenstacks **12**, **14**, die Ventile **32**, die Ventile **48** und die Pumpen **46**, **52** über Bussysteme **40**, **42**, **50**, **54** mit der Steuereinheit verbunden. Es ist aber auch denkbar, dass alle Komponenten über ein gemeinsames Bussystem mit der Steuereinheit verbunden sind und/oder über einzelne Leitungen.

[0055] In einem alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht und nicht bildlich dargestellt ist, ist es denkbar, dass das Durchströmen der Brennstoffzellenstacks **12** mittels mindestens eines zusätzlichen Gebläses, welches beispielsweise stromaufwärts und/oder stromabwärts der Brennstoffzellenstacks **12** angeordnet ist, moduliert wird. Dadurch gibt es zusätzlich die Möglichkeit, dass die Brennstoffzellenstacks **12** gleich betrieben werden, d.h. dass jedem Brennstoffzellenstack **12** derselbe Volumenstrom zugeführt wird. Vorzugsweise sind die Ventile **32** dabei vollständig geöffnet, jedoch kann auch durch die Ventile **32** das Durchströmen der Brennstoffzellenstacks **12** angepasst werden. Zusätzlich kann mittels des mindestens einen zusätzlichen Gebläses die Rezirkulationsrate variiert bzw. angepasst werden.

[0056] In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht und nicht bildlich dargestellt ist, ist es denkbar, statt einzelnen Brennstoffzellenstacks **12**, **14** einzelne Stackmodule anzuordnen, die wiederum Brennstoffzellenstacks umfassen, welche parallel und/oder seriell zueinander durchströmt werden. So ist es auch denkbar, dass das Durchströmen sowohl einzelner Stackmodule, als auch einzelner Brennstoffzellenstacks er-

findungsgemäß geregelt oder gesteuert werden können.

[0057] In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht und nicht bildlich dargestellt ist, ist es denkbar, dass die Brennstoffzellenstacks **12** anodenseitig, parallel zueinander durchströmt werden, und/oder der eine zusätzliche Brennstoffzellenstack **14** anodenseitig zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** seriell durchströmt wird.

[0058] In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht, ist es denkbar die Leistung über die Luftzufuhr zu modulieren. So kann die Leistung der Brennstoffzellenstacks **12**, **14** über die Luftzufuhr mittels der Ventile **50** und/oder der Pumpe **48** geregelt oder gesteuert werden.

[0059] In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht, ist es denkbar, dass mit Hilfe der Ventile **30** die Anodenabgasrezirkulation **28** so modifiziert wird, dass sie als Bypass fungiert. Dies kann beispielsweise dann erfolgen, wenn man davon ausgehen kann, dass der gesamte Brennstoff schon in den parallel zueinander durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** umgesetzt wird. So kann mit Hilfe des Bypasses Abgas an dem zusätzlichen Brennstoffzellenstack **14** vorbei strömen ohne umgesetzt zu werden, wodurch der zusätzliche Brennstoffzellenstack **14** geschont wird.

[0060] In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel, welches von den Figuren ausgeht, ist es denkbar, dass nicht jeder der Brennstoffzellenstacks **12**, **14** baugleich ist. So können SOFC-Brennstoffzellen für verschiedene Brennstoffzellenstacks **12**, **14** beliebig eingesetzt werden. Es kann beispielsweise der zusätzliche Brennstoffzellenstack **14** SOFC-Brennstoffzellen umfassen, während die zueinander parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks **12** PEM-Brennstoffzellen umfassen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10256281 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (10), welches

- mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12), die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und
- mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack (14), der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks (12) seriell durchströmt wird, aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) und der mindestens eine zusätzliche Brennstoffzellenstack (14) mindestens eine SOFC-Brennstoffzelle umfassen.

2. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wärmetauscher (26) zur Abkühlung von Abgas angeordnet ist.

3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher (26) zur Abkühlung von Abgas stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) und stromaufwärts des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks (14) angeordnet ist.

4. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anodenabgasrezirkulation (28) angeordnet ist.

5. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anodenabgasrezirkulation (28) beginnend und/oder endend stromabwärts der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) und/oder des mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstacks (14) angeordnet ist.

6. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromaufwärts zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) mindestens ein Ventil (32) angeordnet ist.

7. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10), insbesondere eines Brennstoffzellensystems nach einem der Ansprüche 1 bis 6, welches

- mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12), die zueinander parallel mit Brennstoff durchströmt werden, und
- mindestens einen zusätzlichen Brennstoffzellenstack (14), der zu den parallel durchströmten Brennstoffzellenstacks (12) seriell durchströmt wird, aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung mindestens eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) in Abhängigkeit eines Leistungsbedarfs moduliert wird.

8. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modulation mittels einer Steuereinheit (34) gesteuert oder geregelt wird.

9. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Durchströmen der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) mittels mindestens eines Ventils (32), insbesondere mittels Schließen und/oder Öffnen mindestens eines Ventils (32), moduliert wird.

10. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei sinkendem Leistungsbedarf das Durchströmen zumindest eines der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) gedrosselt oder unterbunden wird.

11. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12), während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, auf einer im Wesentlichen betriebstauglichen Temperatur, insbesondere von 650 °C, gehalten wird.

12. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12), während des Drosselns oder Unterbindens des Durchströmens, kathodenseitig mit heißer Luft durchströmt wird.

13. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (10) mindestens eine Anodenabgasrezirkulation (28) aufweist, wobei eine Rezirkulationsrate über mindestens einen Verdichter (54) in der mindestens einen Anodenabgasrezirkulation (28) an das Durchströmen der mindestens zwei Brennstoffzellenstacks (12) angepasst wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

