

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50308/2017  
(22) Anmeldetag: 13.04.2017  
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2020

(51) Int. Cl.: **H01M 8/18** (2006.01)  
**C25B 1/04** (2006.01)  
**C25B 15/02** (2006.01)  
**C25B 15/08** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 1941078 B1  
WO 2016161999 A1  
EP 1957694 B1

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

(72) Erfinder:  
Schauperl Richard Dipl.Ing. (FH)  
8010 Graz (AT)  
Defner Beppino BSc  
8010 Graz (AT)  
Rechberger Jürgen Dipl.Ing.  
8010 Graz (AT)

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

### (54) Brennstoffzellensystem für einen SOEC-Betriebszustand

(57) Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (1) mit Anoden- (1a) und Kathodenabschnitt (1b) zum Durchführen einer Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems (100), eine Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) zum Zuführen von Kathodenzuführgas zum Kathodenabschnitt (1b), eine Kathodenabschnitt-Abgasleitung (3) zum Abführen von Kathodenabgas vom Kathodenabschnitt (1b), einen Kathodenabgas-Wärmetauscher (4), der in der Kathodenabschnitt-Abgasleitung (3) angeordnet ist und zum Erhitzen des Kathodenzuführgases mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) in thermischer Wirkverbindung steht, einen Brenner (7) zum Erzeugen eines erhitzten Brennerabgases durch Verbrennung eines Gasmisches, das Sauerstoff und Brennstoff aufweist, mit einer Brenner-Abgasleitung (6), in welcher ein Brennerabgas-Wärmetauscher (5) angeordnet und zum Erhitzen des Kathodenzuführgases thermisch übertragend mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) verbunden ist, wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit (8, 9) mit Sauerstoff-Zuführleitung (10) zum Zuführen des Sauerstoffs in den Brenner (7), und wenigstens eine Brennstoffquelle (11, 12) mit einer Brennstoff-Zuführleitung (13) zum Zuführen des Brennstoffs in den Brenner (7) und einem Brennstoffbehälter (22) zum Speichern von Brennstoff. Ferner betrifft die Erfindung ein Betriebsverfahren für ein Brennstoffzellensystem (100) sowie ein Kraftfahrzeug mit Brennstoffzellensystem (100).

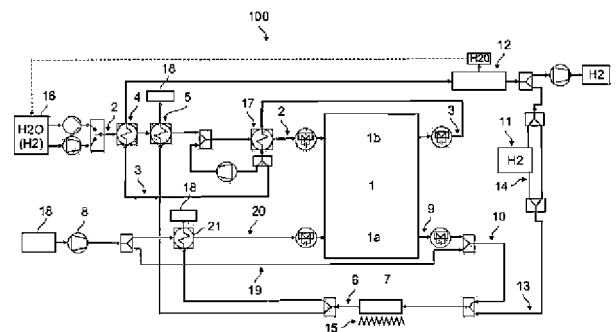


Fig. 1

## Beschreibung

### BRENNSTOFFZELLENSYSTEM FÜR EINEN SOEC-BETRIEBSZUSTAND

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem, insbesondere ein SOFC-System, das in einem SOEC-Betriebszustand betreibbar ist. Das Brennstoffzellensystem weist hierzu einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt zum Durchführen einer Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff auf. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Erhitzen eines Brennstoffzellenstapels in einem Brennstoffzellensystem, das in einem SOEC-Betriebszustand betrieben wird. Außerdem betrifft die Erfindung ein Kraftfahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem, das im SOEC-Betriebszustand betreibbar ist.

**[0002]** SOEC-Systeme sind im Stand der Technik bekannt. Aus der WO 2016/097261 A1 geht beispielsweise ein SOEC-System hervor, bei welchem mittels eines SOEC-Reaktors Wasserstoff erzeugbar ist.

**[0003]** Aus der US 2016/0248137 A1 geht ein reversibel betreibbares, stationäres SOFC-System hervor. D.h., das SOFC-System ist auch als SOEC-System betreibbar. Wenn elektrische Energie benötigt wird und Brennstoff vorhanden ist, kann das dargestellte Brennstoffzellensystem als SOFC-System betrieben werden, um auf elektrochemische Weise Strom zu erzeugen. Wenn hingegen Brennstoff benötigt wird und elektrische Energie vorhanden ist, kann das Brennstoffzellensystem als SOEC-System betrieben werden, um auf elektrochemische Weise Wasserstoff zu erzeugen. Wichtig bei SOFC/SOEC-Systemen ist die Temperierung des Brennstoffzellenstapels auf eine ausreichend hohe Temperatur, sodass ein effizienter Betrieb des Brennstoffzellensystems gewährleistet werden kann. Dies ist insbesondere beim Start des Brennstoffzellensystems problematisch. Gemäß US 2016/0248137 A1 wird für eine Temperierung des Brennstoffzellenstapels vorgeschlagen, Brenngas aus einem Speichertank zu verbrennen, um den Brennstoffzellenstapel dadurch zu erhitzen. Ein solcher Speichertank ist bei dem dargestellten stationären System schwer und nimmt einen großen Bauraum ein. Insbesondere bei mobilen Anwendungen gilt es allerdings, den Bauraum und das Gewicht für ein Brennstoffzellensystem möglichst gering zu halten.

**[0004]** Ein SOEC-System ist beispielsweise auch in der EP 1 941 078 B1 offenbart.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, der voranstehend beschriebenen Problematik zumindest teilweise Rechnung zu tragen. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein kompaktes Brennstoffzellensystem, ein Verfahren zum Betreiben des Brennstoffzellensystems sowie ein Kraftfahrzeug zur Verfügung zu stellen, mittels welchen ein Brennstoffzellenstapel in einem SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems effizient erhitzt werden kann.

**[0006]** Die voranstehende Aufgabe wird durch die Patentansprüche gelöst. Insbesondere wird die voranstehende Aufgabe durch das Brennstoffzellensystem gemäß Anspruch 1, das Verfahren gemäß Anspruch 10 sowie das Kraftfahrzeug gemäß Anspruch 15 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 Brennstoffzellensystem beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, dem erfindungsgemäßen Kraftfahrzeug und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

**[0007]** Gemäß eines ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung wird ein Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt, das einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt zum Durchführen einer Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems aufweist. Das Brennstoffzellensystem weist ferner eine Kathodenabschnitt-Zuführleitung zum Zuführen von Kathodenzuführgas zum Kathodenabschnitt sowie eine Kathodenabschnitt-Abgasleitung zum Abfüh-

ren von Kathodenabgas vom Kathodenabschnitt auf. Außerdem weist das Brennstoffzellensystem einen Kathodenabgas-Wärmetauscher, der in der Kathodenabschnitt-Abgasleitung angeordnet ist und zum Erhitzen des Kathodenzuführgases mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung in thermischer Wirkverbindung steht, auf. Das Brennstoffzellensystem weist weiterhin einen Brenner zum Erzeugen eines erhitzten Brennerabgases durch eine Verbrennung eines Gasgemisches, das Sauerstoff und Brennstoff aufweist, mit einer Brenner-Abgasleitung, in welcher ein Brennerabgas-Wärmetauscher angeordnet und zum Erhitzen des Kathodenzuführgases thermisch übertragend mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung verbunden ist, auf. Darüber hinaus weist das Brennstoffzellensystem wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit mit einer Sauerstoff-Zuführleitung zum Zuführen des Sauerstoffs in den Brenner, und wenigstens eine Brennstoffquelle mit einer Brennstoff-Zuführleitung zum Zuführen des Brennstoffs in den Brenner und einem Brennstoffbehälter zum Speichern von Brennstoff, auf.

**[0008]** Durch den Brenner und insbesondere die erfindungsgemäße Anordnung desselben stromaufwärts, insbesondere direkt stromaufwärts, des Brennerabgas-Wärmetauschers, kann das Kathodenzuführgas auf effiziente Weise erhitzt werden. Dadurch kann wiederum der Brennstoffzellenstapel und somit auch das Brennstoffzellensystem auf effiziente Weise auf die gewünschte Temperatur gebracht werden.

**[0009]** Durch die Kombination des Kathodenabgas-Wärmetauschers mit dem Brennerabgas-Wärmetauscher lässt sich das Kathodenzuführgas besonders flexibel, bei Bedarf insbesondere besonders schnell, erhitzen. Unter dem Brennstoffzellensystem ist ein SOFC/SOEC-System zu verstehen, d.h., ein Brennstoffzellensystem, das in einem SOEC-Betriebszustand zur Brennstoffherzeugung sowie in einem SOFC-Betriebszustand zur Stromerzeugung betreibbar ist.

**[0010]** Durch die Anordnung des Brenners weist das vorliegende Brennstoffzellensystem eine kompakte Bauweise auf. Dadurch kann das Brennstoffzellensystem vorteilhaft im mobilen Einsatz betrieben werden.

**[0011]** Unter dem SOEC-Betriebszustand kann ein Regenerationsbetrieb des Brennstoffzellensystems verstanden werden. Stromabwärts des Brennerabgas-Wärmetauschers wird das Brennerabgas direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt in die Umgebung des Brennstoffzellensystems ausgelassen. Eine Weiterführung des Brennerabgases ist also nicht notwendig. Dies ist förderlich für die Kompaktheit des Brennstoffzellensystems.

**[0012]** Die Kathodenabschnitt-Zuführleitung ist zum Zuführen des Kathodenzuführgases zum Kathodenabschnitt entsprechend stromaufwärts des Kathodenabschnitts angeordnet. Die Kathodenabschnitt-Abgasleitung ist zum Abführen des Kathodenabgases vom Kathodenabschnitt entsprechend stromabwärts des Kathodenabschnitts angeordnet.

**[0013]** Die Brenner-Abgasleitung ist vorzugsweise am Brenner und/oder zumindest abschnittsweise außerhalb des Brenners angeordnet. Genauer gesagt weist das Brennstoffzellensystem den Brenner und die Brenner-Abgasleitung, die stromabwärts des Brenners und zumindest abschnittsweise stromaufwärts des Brennerabgas-Wärmetauschers für eine Fluidverbindung zwischen dem Brenner und dem Brennerabgas-Wärmetauscher angeordnet ist, auf.

**[0014]** Die Sauerstoff-Zuführleitung ist vorzugsweise an der Sauerstoffbereitstellungseinheit und/oder zumindest abschnittsweise außerhalb der Sauerstoffbereitstellungseinheit angeordnet. Genauer gesagt weist das Brennstoffzellensystem die Sauerstoffbereitstellungseinheit und die Sauerstoff-Zuführleitung auf, wobei die Sauerstoff-Zuführleitung stromabwärts der Sauerstoffbereitstellungseinheit und zumindest abschnittsweise stromaufwärts des Brenners für eine Fluidverbindung zwischen dem Brenner und der Sauerstoffbereitstellungseinheit angeordnet ist.

**[0015]** Die Brennstoff-Zuführleitung ist vorzugsweise an der Brennstoffquelle und/oder zumindest abschnittsweise außerhalb der Brennstoffquelle angeordnet. Genauer gesagt weist das Brennstoffzellensystem die Brennstoffquelle und die Brennstoff-Zuführleitung auf, wobei die Brennstoff-Zuführleitung stromabwärts der Brennstoffquelle und zumindest abschnittsweise stromaufwärts des Brenners für eine Fluidverbindung zwischen dem Brenner und der Brennstoffquelle angeordnet ist.

**[0016]** Unter einer Leitung ist vorliegend insbesondere ein Leitungssystem zu verstehen, das mehrere Leitungsabschnitte aufweisen kann. So kann die Kathodenabschnitt-Zuführleitung einen Leitungsabschnitt, der stromaufwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers angeordnet ist, und einen Leitungsabschnitt, der stromabwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers angeordnet ist, aufweisen. Selbiges trifft in analoger Weise auf die anderen Leitungen des vorliegenden Brennstoffzellensystems zu. Ein Bauteil wie ein Wärmetauscher in einer Leitung kann dahingehend verstanden werden, dass das Bauteil in thermischer und/oder fluidtechnischer Verbindung mit der entsprechenden Leitung steht.

**[0017]** Weiterhin ist vorgesehen, dass bei einem Brennstoffzellensystem die wenigstens eine Brennstoffquelle einen Brennstoffbehälter zum Speichern von Brennstoff aufweist. Durch den Brennstoffbehälter kann der Brennstoff auf zuverlässige Weise zur Verfügung gestellt werden. Unter dem Brennstoffbehälter ist ein Behälter zu verstehen, der zumindest teilweise, vorzugsweise ausschließlich oder im Wesentlichen ausschließlich mit Brennstoff, vorzugsweise Wasserstoff oder Methan, gefüllt ist. Durch den Brennstoff im Brennstoffbehälter kann insbesondere bei einem Startvorgang des Brennstoffzellensystems, in welchem im SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems noch kein Brennstoff erzeugt wurde, das Kathodenzuführgas zuverlässig erhitzt werden.

**[0018]** Ferner ist es möglich, dass bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die wenigstens eine Brennstoffquelle zumindest eine Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit, insbesondere einen Kondensator, aufweist, die bzw. der stromabwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers angeordnet ist. Demnach ist es vorliegend möglich, unter Verwendung des Kathodenabgases Brennstoff zu erzeugen, der durch den Brenner verbrannt werden kann und als entsprechend erhitztes Brennerabgas wieder zum Erhitzen des Kathodenabgases genutzt werden kann. Dadurch könnte grundsätzlich auf den vorstehend beschriebenen Brennstoffbehälter verzichtet werden, womit entsprechende Kosten, Gewicht und benötigter Bauraum reduziert werden könnten. Zumindest kann dadurch eine Brennstoffmenge, die im Brennstoffbehälter noch vor dem Betrieb des Brennstoffzellensystems gespeichert ist, reduziert werden und der Brennstoffbehälter kann entsprechend klein ausgestaltet sein. Der Kondensator ist zum Aufspalten des Kathodenabgases, insbesondere in Wasser und Wasserstoff, ausgestaltet. Der erzeugte Wasserstoff kann anschließend separat gespeichert oder für die Verbrennung im Brenner genutzt werden. Für das Zuführen des Brennstoffs vom Kondensator zum Brenner steht der Kondensator mit dem Brenner über die Brennstoffzuführleitung in Fluidverbindung.

**[0019]** Außerdem ist es möglich, dass bei einem Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung der Brennstoffbehälter stromabwärts der wenigstens einen Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit angeordnet ist. D.h., der Brennstoffbehälter steht mit der Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit in Fluidverbindung oder zwischen dem Brennstoffbehälter und der Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit ist die Fluidverbindung durch geeignete Leitungsventile zumindest herstellbar. Dies hat den Vorteil, dass Brennstoff, der durch die Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit erzeugt und zum Brenner geleitet wird, im Brennstoffbehälter gespeichert werden kann.

**[0020]** Von besonderem Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Brennstoffbehälter in einer Bypassleitung, die einen Bypass zur Brennstoff-Zuführleitung bildet, angeordnet ist. Bei einer solchen Konfiguration ist es möglich, den Brenner direkt mit dem Brennstoff, der durch die Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit erzeugt wird, und/oder mit dem Brennstoff aus dem Brennstoffbehälter zu versorgen. Dadurch kann der Brenner entsprechend flexibel mit Brennstoff versorgt werden. Ein Umschalten zwischen der Bypassleitung und der Brennstoffzuführleitung kann durch eine Ventilsteuerung des Brennstoffzellensystems realisiert werden. So ist es möglich, dass stromaufwärts des Brennstoffbehälters in der Bypassleitung ein erstes Bypassventil zum Freigeben und Schließen der Bypassleitung stromaufwärts des Brennstoffbehälters angeordnet ist. Wenn das erste Bypassventil geschlossen ist, kann ein Zuführen von Brennstoff in den Brennstoffbehälter unterbunden werden. In diesem Fall kann der Brennstoff von der Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit über die Brennstoff-Zuführleitung direkt zum Brenner geleitet werden. Zudem kann es von Vorteil sein,

wenn in der Bypassleitung stromabwärts des Brennstoffbehälters ein zweites Bypassventil zum Freigeben und Schließen der Bypassleitung angeordnet ist. Wenn das erste Bypassventil geöffnet ist und das zweite Bypassventil geschlossen ist, kann Brennstoff von der Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit in den Brennstoffbehälter, von dort aus jedoch nicht weiter zum Brenner geleitet werden. Das zweite Bypassventil ist hierfür vorzugsweise direkt am Brennstoffbehälter angeordnet. In dieser Schaltkonstellation kann der Brennstoffbehälter mit Brennstoff gefüllt werden. Weiterhin kann es von Vorteil sein, wenn in der Brennstoffzuführleitung ein Brennstoffventil zum Freigeben und Schließen der Brennstoffzuführleitung angeordnet ist. Hierdurch sind weitere vorteilhafte Schaltkonstellationen möglich. Wenn beispielsweise das erste Bypassventil geöffnet, das zweite Bypassventil geschlossen und das Brennstoffventil geöffnet sind, kann der Brenner mit Brennstoff versorgt und gleichzeitig der Brennstoffbehälter mit Brennstoff gefüllt werden. Bei einem Startbetrieb des Brennstoffzellensystems sind vorzugsweise das erste Bypassventil und das Brennstoffventil geschlossen und das zweite Bypassventil ist geöffnet, sodass dem Brenner Brennstoff aus dem Brennstoffbehälter zugeführt werden kann.

**[0021]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltungsvariante der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass bei einem Brennstoffzellensystem der Brenner eine Heizvorrichtung, insbesondere eine elektrische Heizvorrichtung zum Erhitzen des Brenners aufweist. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung hat sich herausgestellt, dass es für die Verbrennung des Gasgemisches im Brenner von Vorteil ist, wenn dieser eine bestimmte Betriebstemperatur aufweist. Durch die Heizvorrichtung kann diese Betriebstemperatur auf schnelle und zuverlässige Weise realisiert werden. Bei der bestimmten Betriebstemperatur kann das Brennstoffgemisch im Brenner besonders effizient verbrannt werden. Dies führt zu einer entsprechend effizienten Erhitzung des Brennerabgas-Wärmetauschers und somit auch des Kathodenzuführungsgases. Die Heizvorrichtung ist für die gewünschte thermische Wechselwirkung zwischen dem Brenner und der Heizvorrichtung vorzugsweise direkt am oder im Brenner angeordnet.

**[0022]** Zudem kann es von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit eine Fluidfördereinheit aufweist, die zum Bereitstellen von Sauerstoff aus der Umgebung des Brennstoffzellensystems direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt stromaufwärts des Brenners angeordnet ist. Die Fluidfördereinheit kann ein Gebläse oder eine Pumpe sein, die Umgebungsluft in die Sauerstoffzuführleitung saugt bzw. pumpt. Durch die direkte oder im Wesentlichen direkte Bereitstellung des Sauerstoffs, also der Luft, am Brenner, kann die Verbrennung im Brenner besonders flexibel und spontan gesteuert werden. Darunter, dass die Fluidfördereinheit direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt stromaufwärts des Brenners angeordnet ist, ist vorzugsweise zu verstehen, dass stromaufwärts des Brenners keine oder im Wesentlichen keine chemischen oder thermischen Funktionsbauteile angeordnet sind. Hierfür steht der Brenner bevorzugt mit einer Brennstoffzellenstapel-Bypassleitung in Fluidverbindung, die den Brenner direkt oder im Wesentlichen direkt mit dem Gebläse bzw. der Pumpe verbindet. Die Brennstoffzellenstapel-Bypassleitung bildet einen Bypass zum Brennstoffzellenstapel.

**[0023]** Darüber hinaus ist es möglich, dass bei einem Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung die wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit in Form des Anodenabschnitts ausgestaltet ist, wobei der Anodenabschnitt zum Bereitstellen von sauerstoffhaltigem Fluid am Brenner stromaufwärts des Brenners angeordnet ist. Unter Verwendung des Anodenabgases kann ein sauerstoffhaltiges Gas verwendet werden, welches ohnehin im Brennstoffzellensystem vorliegt bzw. erzeugt wird. Unter Verwendung des Anodenabgases kann die Verbrennung im Brenner entsprechend effizient durchgeführt werden.

**[0024]** Außerdem kann es von Vorteil sein, wenn der Brenner bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem einen Brennerkatalysator für die Verbrennung des Gasgemisches aufweist. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung hat sich herausgestellt, dass durch einen Brennerkatalysator, insbesondere wenigstens einen Oxidationskatalysator, eine besonders effiziente Verbrennung im Brenner realisiert werden kann. Von besonderem Vorteil hat sich hierbei die bereits vorstehend beschriebene Heizvorrichtung zum Erhitzen des Brenners und somit auch

des Brennerkatalysators herausgestellt. Sobald der Brennerkatalysator mittels der Heizvorrichtung auf die gewünschte Betriebstemperatur gebracht wurde, kann im Brenner mittels des Brennerkatalysators eine besonders effiziente sowie effektive Verbrennung stattfinden.

**[0025]** Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Erhitzen des Brennstoffzellenstapels in einem wie vorstehend im Detail beschriebenen Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- [0026]** - Zuführen des Kathodenzuführungsgases durch die Kathodenabschnitt-Zuführleitung zum Kathodenabschnitt,
- [0027]** - Zuführen von Sauerstoff durch die Sauerstoffzuführleitung zum Brenner,
- [0028]** - Zuführen von Brennstoff durch die Brennstoffzuführleitung zum Brenner,
- [0029]** - Verbrennen eines Gasgemisches, welches den zugeführten Sauerstoff sowie den zugeführten Brennstoff aufweist, im Brenner, und
- [0030]** - Zuführen eines Brennerabgases, das aus der Verbrennung des Gasgemisches resultiert, durch die Brenner-Abgasleitung vom Brenner zum Brennerabgas-Wärmetauscher zum Erhitzen des Kathodenzuführungsgases.

**[0031]** Damit bringt ein erfindungsgemäßes Verfahren die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem beschrieben worden sind. Das Kathodenzuführungsgas wird vorzugsweise durch eine Pumpe zum Kathodenabschnitt geführt. Das Kathodenzuführungsgas ist im SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems vorzugsweise Wasser oder ein wasserhaltiges Fluid. Der Sauerstoff wird vorzugsweise mittels einer Pumpe oder durch ein Gebläse zum Brenner geführt. Das Gasgemisch wird bevorzugt mittels des Brennerkatalysators im Brenner verbrannt. Das Brennerabgas wird durch den Brennerabgas-Wärmetauscher in thermische Wirkverbindung mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung gebracht, wodurch das Kathodenzuführungsgas erhitzt bzw. erwärmt werden kann. Das Erhitzen des Brennstoffzellenstapels findet erfindungsgemäß insbesondere auf indirekte Weise über das Erhitzen des Kathodenzuführungsgases statt, durch welches der Brennstoffzellenstapel bzw. zumindest der Kathodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels erhitzt wird.

**[0032]** Gemäß einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass bei einem Verfahren der Brenner für die Verbrennung des Gasgemisches auf eine vordefinierte Temperatur, insbesondere auf eine Brennerkatalysator-Aktivierungstemperatur, bei welcher eine vordefinierte katalytische Wirkung des Brennerkatalysators erzielt wird, vorgeheizt wird. Bei Versuchen, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung durchgeführt wurden, hat sich herausgestellt, dass sich der Brenner unter Verwendung eines Brennerkatalysators sowie einer definierten hohen Betriebstemperatur besonders effizient betreiben lässt. Der Brenner wird vorzugsweise auf eine Brennerkatalysator-Aktivierungstemperatur erhitzt, die in einem Bereich zwischen 100°C und 300°C, insbesondere in einem Bereich zwischen 150°C und 250°C, besonders bevorzugt bei ca. 200°C, liegt. Der Brenner wird insbesondere elektrisch erhitzt. Dies ist besonders platzsparend und effektiv umsetzbar.

**[0033]** Weiterhin ist es möglich, dass bei einem erfindungsgemäßen Verfahren das Kathodenzuführungsgas, nach und/oder während des Erhitzens des Kathodenzuführungsgases durch das Brennerabgas, mittels des Kathodenabgas-Wärmetauschers und/oder mittels eines Abgasbrenners zum Verbrennen des Kathodenabgases, der stromabwärts des Kathodenabschnitts und stromaufwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers angeordnet ist, zusätzlich erhitzt wird. Dadurch kann das Kathodenzuführungsgas schnell auf die gewünschte Betriebstemperatur erhitzt werden. Hierbei kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Erhitzen des Brennstoffzellenstapels mehrstufig durchgeführt werden. D.h., zunächst wird der Brenner bzw. der Oxidationskatalysator darin durch die Heizvorrichtung auf die gewünschte Betriebstemperatur von beispielsweise ca. 200 °C erhitzt. Anschließend kann das Gasgemisch, das beispielsweise Wasserstoff und Sauerstoff oder Methan und Sauerstoff aufweist, im Rahmen einer exothermen Reaktion verbrannt werden. Danach kann das durch den Brenner erzeugte Brennerabgas, beispielsweise

ein Wasserdampf-Luft-Gemisch, über den Brennerabgas-Wärmetauscher das Kathodenzuführgas sowie ein Anodenzuführgas erhitzen, bis der Brennstoffzellenstapel eine Aktivierungstemperatur von beispielsweise ca. 450 °C erreicht hat. Eine weitere Temperaturerhöhung kann nun am Brennstoffzellenstapel durch die dort stattfindenden exothermen Reaktionen realisiert werden.

**[0034]** Von weiterem Vorteil kann es hierbei sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren ein Betriebszustand des Brennstoffzellensystems ermittelt wird und, wenn festgestellt wird, dass sich der Betriebszustand in einem Soll-Betriebszustand befindet, das Zuführen des Brennstoffs zum Brenner beendet wird. Der Soll-Betriebszustand kann einem Betriebszustand entsprechen, in welchem der Brennstoffzellenstapel eine vordefinierte Soll-Temperatur aufweist oder der Brennstoffzellenstapel eine vordefinierte Leistung aufweist. Sobald ein solcher Soll-Betriebszustand erreicht ist, wird weniger Leistung am Brenner bzw. dem darin befindlichen Oxidationskatalysator benötigt. Durch ein Beenden des Zuführens des Brennstoffs kann nun Brennstoff gespart werden. Der Brennstoff könnte nun, wie vorstehend beschrieben, im Brennstoffbehälter gesammelt werden. Das Beenden des Zuführens des Brennstoffs wird vorzugsweise kontinuierlich durchgeführt. D.h., das Zuführen wird nicht schlagartig, sondern insbesondere abhängig vom Betriebszustand des Brennstoffzellensystems kontinuierlich oder stufenweise bzw. im Wesentlichen stufenweise beendet. So kann umso weniger Brennstoff zum Brenner geführt werden, je stärker sich der Brennstoffzellenstapel aufheizt bzw. je höher die Leistung am Brennstoffzellenstapel wird.

**[0035]** Darüber hinaus ist es möglich, dass bei einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung als Brennstoff Methan oder Wasserstoff verwendet wird, das stromaufwärts des Brenners, insbesondere mittels des Kondensors, erzeugt wird. Der Brennstoff besteht demnach überwiegend, vorzugsweise ausschließlich oder im Wesentlichen ausschließlich aus Wasserstoff oder Methan. Unter Verwendung einer dieser beiden Stoffe kann eine besonders wirksame Verbrennung im Brenner durchgeführt werden. Der Wasserstoff kann durch den Kondensator zur Verfügung gestellt werden. Methan kann im SOEC-Betriebszustand durch eine Co-Elektrolyse von Wasser und Kohlendioxid und eine anschließende katalytische Methanisierung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid, ggf. zuzüglich Kohlendioxid, erzeugt werden.

**[0036]** Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung wird ein Kraftfahrzeug mit einem wie vorstehend im Detail beschriebenen Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt, das zum Durchführen eines wie vorstehend beschriebenen Verfahrens konfiguriert und ausgestaltet ist. Damit bringt auch ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf die erfindungsgemäße Vorrichtung beschrieben worden sind. Das Kraftfahrzeug kann als reines Brennstoffzellenfahrzeug oder als Hybridelektrofahrzeug mit einer Brennkraftmaschine sowie dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt werden.

**[0037]** 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:

**[0038]** Figur 1 ein Blockschaubild zum Darstellen eines Brennstoffzellensystems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und

**[0039]** Figur 2 ein Temperaturdiagramm zum Erläutern eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0040]** Fig. 1 zeigt ein Blockschaubild zum Darstellen eines Brennstoffzellensystems 100. Das in Fig. 1 dargestellte Brennstoffzellensystem 100 weist einen Brennstoffzellenstapel 1 mit einem Anodenabschnitt 1a und einem Kathodenabschnitt 1b zum Durchführen einer Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems 100 auf. Neben dem SOEC-Betriebszustand zur Brennstoffherzeugung, vorliegend zur Wasserstoffherzeugung, lässt sich das dargestellte Brennstoffzellensystem 100 auch in einem SOFC-Betriebszustand zur Stromerzeugung betreiben.

**[0041]** Das Brennstoffzellensystem 100 weist ferner eine Kathodenabschnitt-Zuführleitung 2 zum Zuführen von Kathodenzuführgas zum Kathodenabschnitt 1b sowie eine Kathodenabschnitt-Abgasleitung 3 zum Abführen von Kathodenabgas vom Kathodenabschnitt 1b auf. Als Kathodenzuführgas wird Wasser bzw. ein wasserhaltiges Fluid verwendet.

**[0042]** In der Kathodenabgas-Zuführleitung 2 sind ein Kathodenabgas-Wärmetauscher 4, ein Brennerabgas-Wärmetauscher 5 sowie ein Abgasbrenner 17 angeordnet. Durch eine Kathodenabschnitt-Abgasleitung 3 kann Kathodenabgas zum Abgasbrenner 17 geleitet werden. Dort kann das Kathodenabgas, vorzugsweise mittels eines Abgasbrennerkatalysators im Abgasbrenner 17, verbrannt werden. Das verbrannte Kathodenabgas kann nun weiter durch die Kathodenabschnitt-Abgasleitung 3 zum Kathodenabgas-Wärmetauscher 4 geführt werden, an welchem es in thermische Wirkverbindung mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung 2 gebracht wird und entsprechend zum Erhitzen des Kathodenzuführgases genutzt werden kann.

**[0043]** Der Brennerabgas-Wärmetauscher 5 ist stromabwärts eines Brenners 7 angeordnet. Der Brenner 7 ist zum Erzeugen eines erhitzten Brennerabgases durch eine Verbrennung eines Gasgemisches, das Sauerstoff und Brennstoff in Form von Wasserstoff aufweist, ausgestaltet. Der Brenner 7 steht mit einer Brenner-Abgasleitung 6 in Verbindung, in welcher auch der Brennerabgas-Wärmetauscher 5 angeordnet ist. Die Brenner-Abgasleitung 6 ist zum Erhitzen des Kathodenzuführgases thermisch übertragend mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung 2 verbunden.

**[0044]** Das in Fig. 1 dargestellte Brennstoffzellensystem 100 weist außerdem zwei Sauerstoffbereitstellungseinheiten 8, 9 mit einer Sauerstoff-Zuführleitung 10 zum Zuführen des Sauerstoffs in den Brenner 7 auf. Die eine Sauerstoffbereitstellungseinheit 8 ist als Gebläse zum direkten Zuführen von Frisch- bzw. Umgebungsluft aus der Umgebung 18 des Brennstoffzellensystems 100 zum Brenner 7 ausgestaltet. Die Umgebungsluft kann dem Brenner 7 über eine Brennstoffzellenstapel-Bypassleitung 19 zugeführt werden. Die andere Sauerstoffbereitstellungseinheit 9 kann als der Anodenabschnitt 1a bzw. ein Anodenausgang 9 verstanden werden, durch welchen dem Brenner 7 ebenfalls ein sauerstoffhaltiges Gas zugeführt werden kann.

**[0045]** Das Brennstoffzellensystem 100 weist zudem zwei Brennstoffquellen 11, 12 mit einer Brennstoff-Zuführleitung 13 zum Zuführen des Brennstoffs in den Brenner 7 auf. Eine Brennstoffquelle ist in Form eines Kondensators 12 ausgestaltet, der für eine Umwandlung von Kathodenabgas in Wasser und Wasserstoff ausgestaltet ist. Das erzeugte Wasser kann zu einer Kathodengasquelle geführt werden. Der erzeugte Wasserstoff kann aus dem Brennstoffzellensystem 100 heraus, zum Brenner 7 oder in einen Brennstoffbehälter 11 geführt werden. Der Brennstoffbehälter 11 ist demnach stromabwärts des Kondensators 12 angeordnet. Der Brennstoffbehälter 11 kann als eine weitere bzw. die zweite Brennstoffquelle verstanden werden. Der Brennstoffbehälter 11 kann bereits vor einem Start des Brennstoffzellensystems 100 mit einer definierten Menge an Brennstoff gefüllt sein.

**[0046]** Der Brennstoffbehälter 11 ist in einer Bypassleitung 14, die einen Bypass zur Brennstoff-Zuführleitung 13 bildet, angeordnet. Zwischen der Bypassleitung 14 und der Brennstoff-Zuführleitung 13 kann durch eine wie vorstehend beschriebene Ventilsteuerung umgeschaltet werden.

**[0047]** Am Brenner 7 ist eine Heizvorrichtung 15 in Form einer elektrischen Heizvorrichtung zum Erhitzen des Brenners 7 angeordnet. Der Brenner 7 weist einen Brennerkatalysator in Form eines Oxidationskatalysators für die Verbrennung des Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisches auf. Für die Verbrennung ist der Brenner 7 bzw. der Oxidationskatalysator im Brenner 7 durch die Heizvorrichtung 15 auf eine Aktivierungstemperatur von ca. 200 °C erhitzbar.

**[0048]** Wie in Fig. 1 zu erkennen, kann das Brennerabgas nicht nur zum Erhitzen des Kathodenzuführgases, sondern auch zum Erhitzen des Anodenzuführgases verwendet werden. Hierfür kann das Brennerabgas über einen zweiten Zweig der Brenner-Abgasleitung 6 zu einem Anodenzuführgas-Wärmetauscher 21 zum Erhitzen des Anodenzuführgases geleitet werden. Der Anodenzuführgas-Wärmetauscher 20 steht hierfür mit einer Anodenabschnitt-Zuführleitung 20 in thermischer Wirkverbindung.

**[0049]** Mit Bezug auf Fig. 2 wird anschließend ein Verfahren zum Erhitzen des Brennstoffzellenstapels 1 beschrieben. Die Temperatur bzw. der Temperaturverlauf des Brennstoffzellenstapels 1 wird durch den Graphen T1 dargestellt.

**[0050]** Wie durch den Graphen P1 dargestellt, wird zunächst der Brenner 7 bzw. der Oxidationskatalysator darin mittels der elektrischen Heizvorrichtung 15 auf die gewünschte Temperatur von ca. 200 °C gebracht. Der Brennstoffzellenstapel 1 wird hierbei bereits leicht erhitzt. Nun kann die Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff in Form einer exothermen Reaktion im Brenner 7 beginnen. Hierfür wird dem Brenner 7 durch eine der Wasserstoffquellen 11, 12 Wasserstoff und durch eine der Sauerstoffbereitstellungseinheiten 8, 9 Sauerstoff zugeführt. Die exotherme Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff ist in Fig. 2 durch den Graphen P2, welcher den entsprechenden Heizleistungsverlauf zeigt, dargestellt. Das durch diese Reaktion erzeugte Wasserdampf-Luft-Gemisch kann nun über den Brennerabgas-Wärmetauscher 5 sowie den Anodenzuführgas-Wärmetauscher 21 das Kathodenzuführgas sowie das Anodenzuführgas und somit den Brennstoffzellenstapel 1 erhitzen. Vorliegend wird der Brennstoffzellenstapel 1 dadurch auf eine Aktivierungstemperatur von ca. 450°C erhitzt. Diese Temperaturerhöhung ist am mittleren Abschnitt des Graphen T1 zu erkennen. Eine weitere Temperaturerhöhung des Brennstoffzellenstapels 1 wird nun durch exotherme Reaktionen am Brennstoffzellenstapel 1 bzw. in der Nähe desselben, beispielsweise im Abgasbrenner 17, erzeugt. Die zugehörige Heizleistung wird durch den Graphen P3 dargestellt. In dieser Phase, in welcher das Brennstoffzellensystem 100 einen Soll-Betriebszustand erreicht hat, kann die Wasserstoffzufuhr zum Brenner 7 gedrosselt oder beendet werden.

**[0051]** Die Erfindung lässt neben den dargestellten Ausführungsformen noch weitere Gestaltungsgrundsätze zu. So kann der Brenner 7 mit Methan an Stelle von Wasserstoff als Brennstoff gespeist werden. Die elektrische Heizvorrichtung 15 kann auch innerhalb des Brenners 7, insbesondere innerhalb des Brennerkatalysators angeordnet sein. Dadurch kann der Brennerkatalysator besonders effizient erhitzt werden.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Brennstoffzellenstapel
- 1a Anodenabschnitt
- 1b Kathodenabschnitt
- 2 Kathodenabschnitt-Zuführleitung
- 3 Kathodenabschnitt-Abgasleitung
- 4 Kathodenabgas-Wärmetauscher
- 5 Brennerabgas-Wärmetauscher
- 6 Brenner-Abgasleitung
- 7 Brenner
- 8 Sauerstoffbereitstellungseinheit
- 9 Sauerstoffbereitstellungseinheit
- 10 Sauerstoffzuführleitung
- 11 Brennstoffquelle
- 12 Brennstoffquelle
- 13 Brennstoffzuführleitung
- 14 Bypassleitung
- 15 Heizvorrichtung
- 16 Kathodengasquelle
- 17 Abgasbrenner (Wärmetauscher)
- 18 Umgebung
- 19 Brennstoffzellenstapel-Bypassleitung
- 20 Anodenabschnitt-Zuführleitung
- 21 Anodenzuführungsgas-Wärmetauscher
- 22 Brennstoffbehälter
  
- 100 Brennstoffzellensystem

## Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (100), aufweisend:
  - einen Brennstoffzellenstapel (1) mit einem Anodenabschnitt (1a) und einem Kathodenabschnitt (1b) zum Durchführen einer Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem SOEC-Betriebszustand des Brennstoffzellensystems (100),
  - eine Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) zum Zuführen von Kathodenzuführungsgas zum Kathodenabschnitt (1b),
  - eine Kathodenabschnitt-Abgasleitung (3) zum Abführen von Kathodenabgas vom Kathodenabschnitt (1b),
  - einen Kathodenabgas-Wärmetauscher (4), der in der Kathodenabschnitt- Abgasleitung (3) angeordnet ist und zum Erhitzen des Kathodenzuführungsgases mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) in thermischer Wirkverbindung steht,
  - einen Brenner (7) zum Erzeugen eines erhitzten Brennerabgases durch eine Verbrennung eines Gasgemisches, das Sauerstoff und Brennstoff aufweist, mit einer Brenner-Abgasleitung (6), in welcher ein Brennerabgas-Wärmetauscher (5) angeordnet und zum Erhitzen des Kathodenzuführungsgases thermisch übertragend mit der Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) verbunden ist,
  - wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit (8, 9) mit einer Sauerstoff-Zuführleitung (10) zum Zuführen des Sauerstoffs in den Brenner (7), und
  - wenigstens eine Brennstoffquelle (11, 12) mit einer Brennstoff-Zuführleitung (13) zum Zuführen des Brennstoffs in den Brenner (7) und einem Brennstoffbehälter (22) zum Speichern von Brennstoff.
2. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Brennstoffquelle (11, 12) zumindest eine Kathodenabgas- Nachbehandlungseinheit (12), insbesondere einen Kondensator, aufweist, die bzw. der stromabwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers (4) angeordnet ist.
3. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffbehälter (22) stromabwärts der wenigstens einen Kathodenabgas-Nachbehandlungseinheit (12) angeordnet ist.
4. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffbehälter (22) in einer Bypassleitung (14), die einen Bypass zur Brennstoff-Zuführleitung (13) bildet, angeordnet ist.
5. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brenner (7) eine Heizvorrichtung (15), insbesondere eine elektrische Heizvorrichtung (15) zum Erhitzen des Brenners (7) aufweist.
6. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit (8, 9) eine Fluidfördereinheit aufweist, die zum Bereitstellen von Sauerstoff aus der Umgebung des Brennstoffzellensystems (100) direkt oder zumindest im Wesentlichen direkt stromaufwärts des Brenners (7) angeordnet ist.
7. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Sauerstoffbereitstellungseinheit (8, 9) in Form des Anodenabschnitts (1a) ausgestaltet ist, wobei der Anodenabschnitt (1a) zum Bereitstellen von sauerstoffhaltigem Fluid am Brenner (7) stromaufwärts des Brenners (7) angeordnet ist.

8. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brenner (7) einen Brennerkatalysator für die Verbrennung des Gasgemisches aufweist.
9. Verfahren zum Erhitzen des Kathodenzuführgases in einem Brennstoffzellensystem (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, aufweisend die Schritte:
  - Zuführen des Kathodenzuführgases durch die Kathodenabschnitt-Zuführleitung (2) zum Kathodenabschnitt (1b),
  - Zuführen von Sauerstoff durch die Sauerstoffzuführleitung (10) zum Brenner (7),
  - Zuführen von Brennstoff durch die Brennstoffzuführleitung (13) zum Brenner (7),
  - Verbrennen eines Gasgemisches, welches den zugeführten Sauerstoff sowie den zugeführten Brennstoff aufweist, im Brenner (7), und
  - Zuführen eines Brennerabgases, das aus der Verbrennung des Gasgemisches resultiert, durch die Brenner-Abgasleitung (6) vom Brenner (7) zum Brennerabgas-Wärmetauscher (5) zum Erhitzen des Kathodenzuführgases.
10. Verfahren (100) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brenner (7) für die Verbrennung des Gasgemisches auf eine vordefinierte Temperatur, insbesondere auf eine Brennerkatalysator-Aktivierungstemperatur, bei welcher eine vordefinierte katalytische Wirkung des Brennerkatalysators erzielt wird, vorgeheizt wird.
11. Verfahren (100) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kathodenzuführgas, nach und/oder während des Erhitzens des Kathodenzuführgases durch das Brennerabgas, mittels des Kathodenabgas-Wärmetauschers (4) und/oder mittels eines Abgasbrenners (17) zum Verbrennen des Kathodenabgases, der stromabwärts des Kathodenabschnitts (1b) und stromaufwärts des Kathodenabgas-Wärmetauschers (4) angeordnet ist, zusätzlich erhitzt wird.
12. Verfahren (100) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Betriebszustand des Brennstoffzellensystems (100) ermittelt wird und, wenn festgestellt wird, dass sich der Betriebszustand in einem Soll-Betriebszustand befindet, das Zuführen des Brennstoffs zum Brenner (7) beendet wird.
13. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Brennstoff Methan oder Wasserstoff verwendet wird, das stromaufwärts des Brenners (7), insbesondere mittels des Kondensators, erzeugt wird.
14. Kraftfahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, das zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 9 bis 13 konfiguriert und ausgestaltet ist.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

1/2

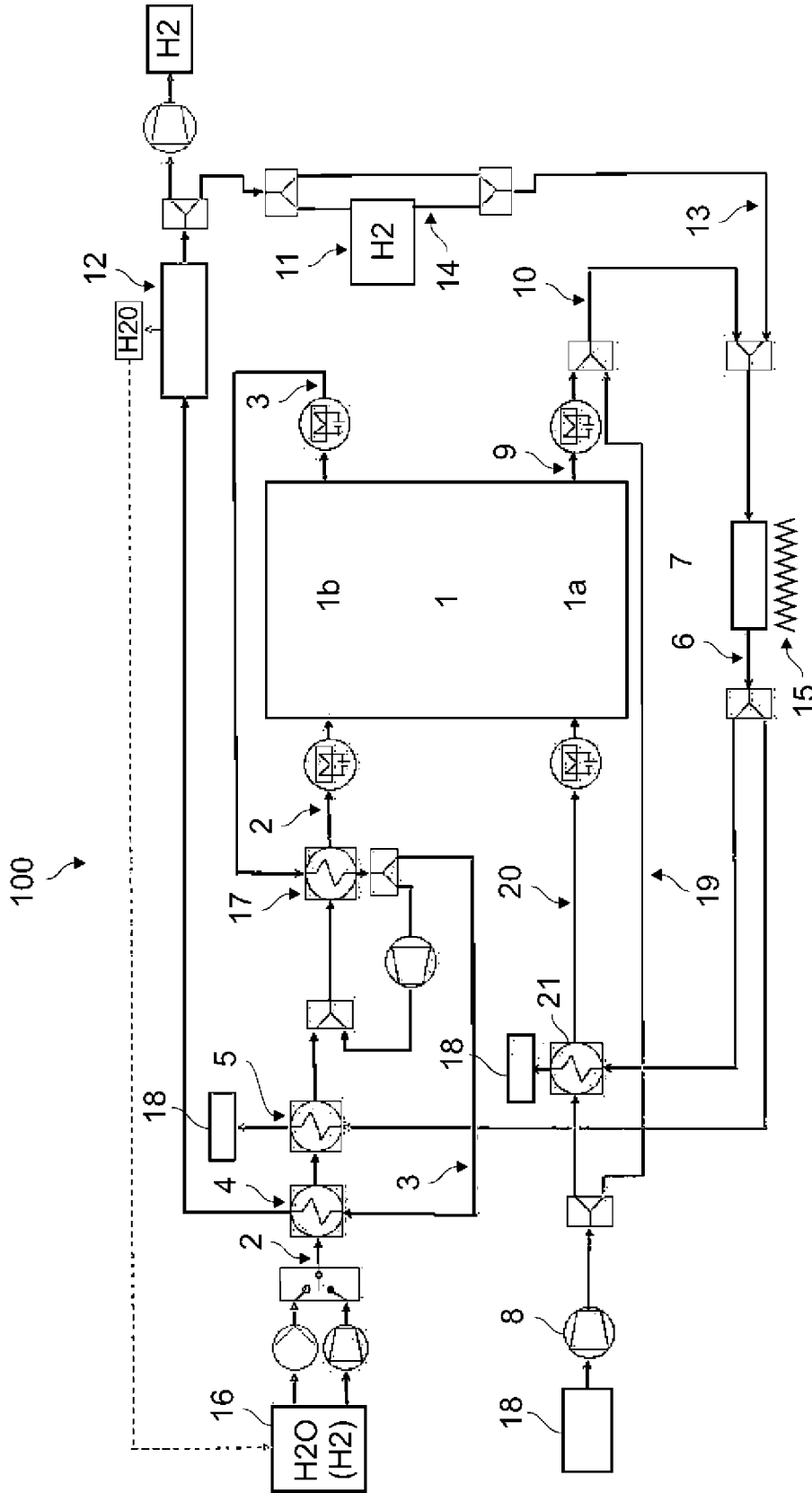


Fig. 1

2/2

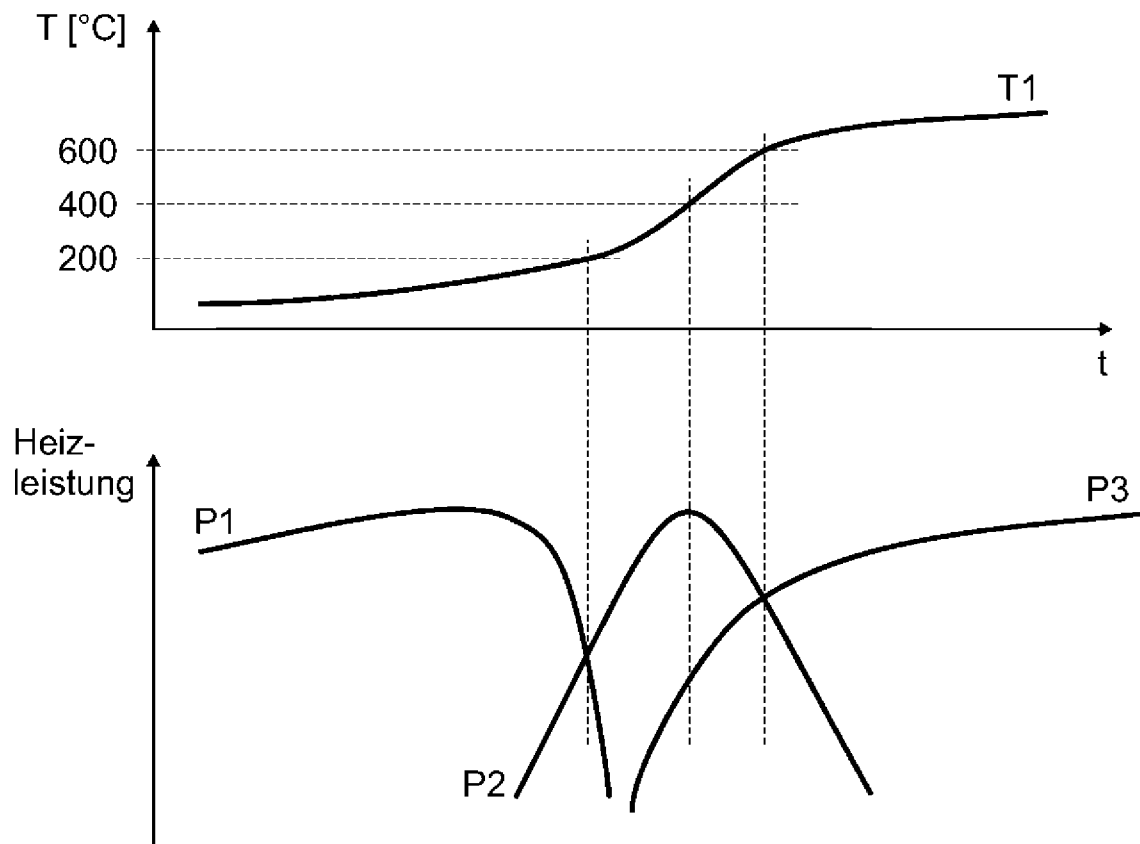


Fig. 2