

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50355/2018
(22) Anmeldetag: 26.04.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2020

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04029** (2016.01)
H01M 8/04701 (2016.01)
H01M 8/124 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2014056660 A1
US 2002006538 A1
EP 2215679 B1

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

(72) Erfinder:
Soukup Nikolaus Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)
Hauth Martin Dr.
8020 Graz (AT)

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

(54) Brennstoffzellensystem

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem umfassend eine Brennstoffversorgungseinheit, zumindest eine Hochtemperaturbrennstoffzelle mit einer Kathode und einer Anode und einem zwischen Kathode und Anode angeordneten Elektrolyt. Die Kathode weist eine Kathodenzuleitung und die Anode eine Anodenzuleitung auf, wobei die Anode über die Anodenzuleitung mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist. Weiterhin ist in der Anodenzuleitung eine Reformierungsvorrichtung angeordnet. Ferner ist eine Anodenabgasleitung zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode vorgesehen. Das Brennstoffzellensystem weist einen Abgaswärmetauscher zur Kühlung von Abgas und eine Rezirkulationsfördereinrichtung zum Rückführen von Anodenabgas zu der Reformierungsvorrichtung auf. Dabei sind die Rezirkulationsfördereinrichtung und der Abgaswärmetauscher zur jeweiligen Kühlung über einen gemeinsamen Kühlkreislauf fluidkommunizierend miteinander verbunden, der einen zentralen Kühlfluidspeicher als Fluidquelle mit einem Wärmetauscher aufweist und in dem Kühlfluid in einer Kühlleitung zirkulierbar ist. Der Kühlkreislauf weist ferner wenigstens eine Pumpe zur Förderung von Kühlfluid auf. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems.

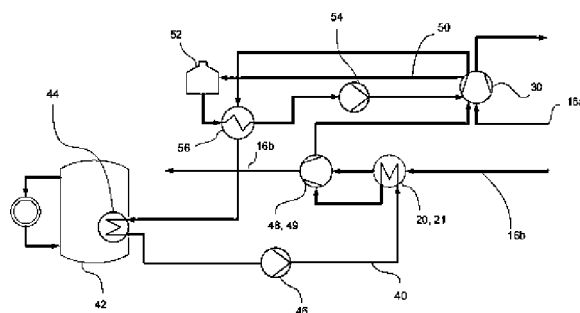


Fig. 1

Beschreibung

BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

[0001] Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem sowie ein Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems. Das Brennstoffzellensystem umfasst eine Brennstoffversorgungseinheit, zumindest eine Hochtemperaturbrennstoffzelle mit einer Kathode und einer Anode und einem zwischen Kathode und Anode angeordneten Elektrolyten, wobei die Kathode eine Kathodenzuleitung aufweist und die Anode eine Anodenzuleitung aufweist und die Anode über die Anodenzuleitung mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist. In der Anodenzuleitung ist eine Reformierungsvorrichtung angeordnet, und es ist weiterhin eine Anodenabgasleitung zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode vorgesehen.

[0002] Mittels der zumindest einen Hochtemperaturbrennstoffzelle kann elektrischer Strom aus Kathodenluft und Brenn- bzw. Reformatgas erzeugt werden. Eine derartige Brennstoffzelle ist dabei üblicherweise aus einer Vielzahl einzelner Brennstoffzellenelemente zusammengesetzt, die aufeinander gestapelt sind und als Brennstoffzellenstapel bezeichnet werden. Unter einer Brennstoffzelle, insbesondere einer Hochtemperaturbrennstoffzelle, versteht der Fachmann beispielsweise eine Festoxidbrennstoffzelle (englisch: Solid Oxide Fuel Cell, SOFC). Festoxidbrennstoffzellen werden bei Betriebstemperaturen von etwa 650 °C bis 1000 °C betrieben.

[0003] Der Elektrolyt dieses Zelltyps besteht aus einem festen keramischen Werkstoff, der in der Lage ist, Sauerstoffionen zu leiten, für Elektronen jedoch isolierend wirkt. An beiden Seiten der Elektrolytschicht sind die Elektroden, insbesondere Kathode und Anode angebracht. Sie sind gasdurchlässige elektrische Leiter. Der sauerstoffionenleitende Elektrolyt ist beispielsweise als dünne Membran ausgeführt, um bei den genannten hohen Temperaturen die Sauerstoffionen energiearm transportieren zu können. Die dem Elektrolyt abgewandte, äußere Seite der Kathode wird von Luft (nachfolgend unter anderem als Kathodengas bezeichnet) umgeben, die äußere Anodenseite von Brenn- bzw. Reformatgas. Ungenutzte Luft und ungenutztes Brenngas sowie Verbrennungsprodukte werden beispielsweise durch Absaugen abgeleitet.

[0004] Zum Erzeugen von Reformatgas kann das Brennstoffzellensystem mit einer Reformierungsvorrichtung ausgestattet sein, die aus einem Kraftstoff, meist einem Kohlenwasserstoff wie beispielsweise Erdgas, Diesel oder einem Alkohol, sowie gegebenenfalls aus Reformierluft und/oder Wasserdampf das Reformatgas erzeugt. Das Reformatgas enthält dann unter anderem Wasserstoffgas und Kohlenmonoxid. Die Reformierung kann dabei in einer separaten Reformervorrichtung oder aber in der Brennstoffzelle selbst erfolgen. Das Brennstoffzellensystem kann außerdem mit einer Luftversorgungseinrichtung ausgestattet sein, die mittels einer Luftfördereinrichtung aus einer Umgebung des Brennstoffzellensystems Umgebungsluft ansaugt und diese beispielsweise in Reformierluft und Kathodenluft unterteilt. Die Reformierluft kann dann der Reformervorrichtung zugeführt werden, während die Kathodenluft über die Kathodenzuleitung zugeführt werden kann.

[0005] Bei Brennstoffzellensystemen der eingangs beschriebenen Art steht Abgas mit einer ausreichend hohen Temperatur zur Verfügung. Insbesondere bei SOFC-Systemen steht Anodenabgas mit einer Temperatur von ungefähr 350 °C zur Verfügung. Nachteilig an bekannten Lösungen ist insbesondere, dass viel von der in der Brennstoffzelle gewonnenen Energie als Abwärme über das Brennstoffzellenstapelabgas bzw. Abgas ungenutzt in die Umgebung entweicht. Wird in dem Brennstoffzellensystem eine Rezirkulationseinrichtung verwendet, so ist eine hydraulische Verschaltung der Wärmerückgewinnung aufwendig, wobei auch noch zusätzliche Wärmetauscher benötigt werden. Ein weiterer Nachteil ist der exergetische Verlust, der bei der Vermischung von Warmwasser mit unterschiedlichen Temperaturen entsteht, wenn die Abwärmegewinnung in unterschiedlichen Kreisläufen stattfindet.

[0006] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Brennstoffzellensystem mit einer verbesserten und effizienten Kühlung bereitzustellen. Ferner

ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems bereitzustellen.

[0007] Voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1, sowie durch ein Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems mit den Merkmalen des Anspruchs 8. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, so dass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch ein Brennstoffzellensystem umfassend eine Brennstoffversorgungseinheit, zumindest eine Hochtemperaturbrennstoffzelle mit einer Kathode und einer Anode und einem zwischen Kathode und Anode angeordneten Elektrolyten. Die Kathode weist eine Kathodenzuleitung und die Anode eine Anodenzuleitung auf, wobei die Anode über die Anodenzuleitung mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist. Weiterhin ist in der Anodenzuleitung eine Reformierungsvorrichtung angeordnet. Ferner ist eine Anodenabgasleitung zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode vorgesehen. Ein verbleibender brennbarer Anteil des Anodenabgases ist in einem Brenner mit einem Restsauerstoff des Kathodenabgases vollständig verbrennbar, wodurch Abgas entsteht. Das Brennstoffzellensystem weist einen Abgaswärmetauscher zur Kühlung des Abgases und eine Rezirkulationsfördereinrichtung zum Rückführen von Anodenabgas oder Abgas zu der Reformierungsvorrichtung auf. Dabei sind die Rezirkulationsfördereinrichtung und der Abgaswärmetauscher zur jeweiligen Kühlung über einen gemeinsamen Kühlkreislauf fluid-kommunizierend miteinander verbunden, der einen zentralen Kühlfluidspeicher als Fluidquelle mit einem Wärmetauscher aufweist und in dem Kühlfluid in einer Kühlleitung zirkulierbar ist. Der Kühlkreislauf weist ferner wenigstens eine insbesondere regelbare Pumpe zur Förderung von Kühlfluid auf. Die Regelung des Massenstromes des Kühlfluids erfolgt folglich vorzugsweise über eine regelbare Pumpe. Eine andere vorteilhafte Lösung ist eine Regelung über ein Regelventil in Kombination mit einer Pumpe.

[0009] Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der zentrale Kühlfluidspeicher als Warmwasserspeicher ausgebildet ist und über den gemeinsamen Kühlkreislauf die Abwärme des Brennstoffzellensystems über den Warmwasserspeicher mit dem Wärmetauscher erfolgt.

[0010] Im Rahmen der Erfindung kann die Rezirkulationsfördereinrichtung beispielsweise als Rezirkulationsgebläse ausgebildet sein, um das Brennstoffzellensystem mit Rezirkulation, insbesondere mit einer Rückführung von Anodenabgas, betreiben zu können. Das Rezirkulationsgebläse kann Temperaturen von bis zu 600 °C im Betrieb ausgesetzt sein.

[0011] Das Kühlfluid kann vorzugsweise durch Wasser gebildet sein. Für die Verwendung von Luftgebläsen kann die Kühlung je nach Anwendung auch durch eine Luftkühlung erfolgen. Insbesondere bei der Verwendung eines Rezirkulationsgebläses ist eine Kühlung mit Wasser als Kühlfluid zu bevorzugen.

[0012] Unter Abgas wird im Rahmen der Erfindung insbesondere Anoden- und Kathodenabgas oder durch Kathodenabgas vollständig verbranntes Anodenabgas verstanden werden. Es kann jedoch auch sein, dass Abgas Anodenabgas oder Anodenabgas Abgas ist.

[0013] Weiterhin wird im Rahmen der Erfindung heißes Anodenabgas von der Anode der Hochtemperaturbrennstoffzelle in der Anodenabgasleitung, insbesondere mittelbar, zu dem Abgaswärmetauscher gefördert. Stromabwärts der Hochtemperaturbrennstoffzelle wird das heiße Anodenabgas von der Anode in der Anodenabgasleitung zu einem Brenner geführt. Im Brenner wird das Anodenabgas mit dem Sauerstoff des Kathodenabgases oxidiert und es entsteht Abgas. Das Abgas wird nachfolgend auf zwei Pfade aufgeteilt: Mit dem Abgas werden sowohl der Luftwärmetauscher, als auch die Reformierungsvorrichtung beheizt. Das Abgas wird stromabwärts dieser beiden Komponenten wieder vermischt und in den Abgaswärmetauscher geför-

dert. Dabei kann das zugeführte Abgas im Abgaswärmetauscher, der vorzugsweise im Gegenstrom betrieben wird, abgekühlt werden und in einer Abgasleitung den Abgaswärmetauscher als gekühltes Abgas wieder verlassen. Hierzu kann beispielsweise der Abgaswärmetauscher mit Kühlfluid, insbesondere Wasser, mit einer Temperatur von ungefähr 30°C versorgt werden, um das heiße Abgas abzukühlen. Diese niedrige Temperatur von ca. 30°C im Bereich des Abgaswärmetauschers im Kühlkreislauf wird vorzugsweise gewählt, da diese der Rücklaufftemperatur von modernen Warmwasserbereitungsanlagen entspricht und damit hohe thermische Wirkungsgrade erreichbar sind. Dabei kommt es im Bereich des Abgaswärmetauschers zu einer Kondensatbildung aus dem Anodenabgas. Dieses kann beispielsweise abgeführt oder für eine spätere Dampfreformierung bereitgestellt werden. Generell bietet die Kühlung mit einer niedrigen Temperatur den Vorteil, dass die Effizienz gesteigert werden kann. Ferner wird eine niedrige Temperatur benötigt, um das Abgas soweit wie möglich abzukühlen, damit die Betriebstemperaturen der stromabwärts folgenden Komponenten des Brennstoffzellensystems nicht nachteilig überschritten werden.

[0014] Die Erfindung hat weiterhin den Vorteil, dass aufgrund der fluidkommunizierenden Verbindung der Rezirkulationsfördereinrichtung und des Abgaswärmetauschers der Kühlkreislauf der Abgaswärmenutzung und der Kühlkreislauf der Gebläsekühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung miteinander gekoppelt werden. Mit anderen Worten wird das Kühlfluid, welches für die Kühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung verwendet wird, im gleichen Kühlkreislauf zirkuliert, mit dem auch das Abgas gekühlt wird. Dies hat den Vorteil, dass durch die erfindungsgemäße Kopplung auf eine weitere Pumpe und einen weiteren Wärmetauscher in einem separaten Kühlkreislauf verzichtet werden kann. Da die Wärmeübertragung in einem Wärmetauscher bekanntermaßen verlustbehaftet ist, können durch den Verzicht auf einen weiteren Wärmetauscher in einem separaten Kühlkreislauf die Wärmeverluste reduziert werden. Somit wird durch die Kopplung der Kühlung generell die Effizienz der Kühlung gesteigert. Weiterhin können durch den Verzicht auf eine weitere Pumpe und einen weiteren Wärmetauscher in einem separaten Kühlkreislauf signifikant Kosten für das Brennstoffzellensystem eingespart werden.

[0015] Die Erfindung hat ferner den Vorteil, dass die Abwärme der einzelnen Komponenten, insbesondere der Rezirkulationsfördereinrichtung, verwendet werden kann, um mehr Wärmeenergie in einem nachgeschalteten Heiz-Warmwasserkreislauf bzw. einem Heiz-/ Brauchwassersystem bereit zu stellen und damit die Gesamteffizienz zu steigern. Weiterhin kann durch die erfindungsgemäße Kühlung sichergestellt werden, dass beispielhaft die Betriebstemperatur des Anodenabgases in der Rezirkulationsfördereinrichtung nicht zu hoch wird, um Beschädigungen zu verhindern und einen ordnungsgemäßen Betrieb der Rezirkulationsfördereinrichtung sicher zu stellen.

[0016] Vorzugsweise kann bei dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem vorgesehen sein, dass die Rezirkulationsfördereinrichtung im Kühlkreislauf dem Abgaswärmetauscher nachgeordnet, insbesondere direkt nachgeordnet, ist, so dass Kühlfluid von dem Abgaswärmetauscher zu der Rezirkulationsfördereinrichtung förderbar ist. Mit anderen Worten kann der Abgaswärmetauscher die erste Komponente im Kühlkreislauf darstellen, wobei das Kühlfluid mittels der Pumpe direkt aus dem Kühlfluidspeicher in den Abgaswärmetauscher gefördert wird. Von dem Abgaswärmetauscher kann das Kühlfluid nachgeschaltet in die Rezirkulationsfördereinrichtung gefördert werden.

[0017] Die vorgeschaltete Anordnung des Abgaswärmetauschers hat den Vorteil, dass das Kühlfluid mit der niedrigsten Temperatur im Kühlkreislauf, insbesondere ca. 30°C als Eintrittstemperatur in den Abgaswärmetauscher, zur Verfügung steht. Für die Kühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung wird eine derartig niedrige Eintrittstemperatur des Kühlfluids nicht mehr benötigt. Somit kann vorteilhafterweise eine effiziente Kühlung des Abgaswärmetauschers erreicht werden und das Wasser optimal aus dem heißen Anodenabgas kondensiert werden. Beispielhaft kann die Austrittstemperatur aus dem Abgaswärmetauscher ungefähr 65 °C betragen. Insgesamt kann somit die Temperatur des Kühlfluids in einem Abgaswärmetauscherabschnitt des Kühlkreislaufs, in dem der Abgaswärmetauscher angeordnet ist, in einem Tempera-

turbereich von 30 °C bis 65 °C liegen, wobei die Eintrittstemperatur vorzugsweise in einem Bereich von 30 °C bis 35 °C und die Austrittstemperatur vorzugsweise in einem Bereich von 60 °C bis 65 °C liegt. Je nach Art des nachgeschalteten Warmwasserverbrauchers können die Eintritts- und Austrittstemperaturen variieren und auch bis zu 90 °C betragen.

[0018] Besonders bevorzugt kann ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem dahingehend ausgebildet sein, dass in dem Kühlkreislauf ein Sauggebläse zwischen dem Abgaswärmetauscher und der Rezirkulationsfördereinrichtung angeordnet ist, wobei das Sauggebläse mit Kühlfluid des Kühlkreislaufs kühlbar ist. Insbesondere kann das Sauggebläse mit Wasser des Kühlkreislaufs gekühlt werden, welches im Kühlkreislauf zirkuliert wird. Die Verwendung eines Sauggebläses ermöglicht insbesondere auch den Betrieb des Brennstoffzellensystems mit Unterdruck. Der Betrieb mit Unterdruck hat den Vorteil, dass bei einem ungeplanten Versagen einer Komponente des Brennstoffzellensystems kein Prozessgas in die Umgebung entweichen kann bzw. kein Prozessgas an die Umgebung abgegeben wird, sondern Luft über das Sauggebläse in das Brennstoffzellensystem angesaugt wird. Durch die niedrige Eintrittstemperatur des Kühlfluids von etwa 30 °C in den Abgaswärmetauscher kann erreicht werden, dass das Abgas bis auf etwa 35 °C gekühlt werden kann. Die Anordnung des Sauggebläses zwischen dem Abgaswärmetauscher und der Rezirkulationsfördereinrichtung im Kühlkreislauf hat daher den Vorteil, dass die Temperatur des Kühlfluids im Sauggebläse höher ist als die Temperatur des geförderten Abgases.

[0019] Vorzugsweise weist die Temperatur des Kühlfluids in einem Sauggebläseabschnitt des Kühlkreislaufs, in dem das Sauggebläse angeordnet ist, zur Kühlung des Sauggebläses im Betriebszustand des Brennstoffzellensystems einen Wert, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 65 °C, auf, der die Temperatur des Anodenabgases übersteigt. Da das Sauggebläse im Betrieb das Anodenabgas fördern muss, welches nahezu 100 % relative Feuchtigkeit aufweisen kann, kann es insbesondere zu einer Kondensation kommen, wenn das Sauggebläse lokal zu kalt ist. Dies wird damit erreicht, dass die Temperatur des Kühlfluids wärmer ist als die Temperatur des geförderten Abgases. Es ergibt sich der Vorteil, dass somit verhindert werden kann, dass es lokal im Sauggebläse zu Taupunktunterschreitungen und somit zu Kondensation kommt, welche schädlich für das Sauggebläse wäre. Vorzugsweise liegt die Eintrittstemperatur des Kühlfluids in das Sauggebläse bei ungefähr 40°C.

[0020] Generell ist es möglich, die Komponenten des Kühlkreislaufs, wie beispielsweise den Abgaswärmetauscher, das Sauggebläse oder die Rezirkulationsfördereinrichtung derart im Kühlkreislauf anzuordnen, dass eine festgelegte Eintritts- bzw. Austrittstemperatur innerhalb der jeweiligen Komponente des Kühlkreislaufs eingestellt werden kann. Die Reihenfolge der Komponenten des Kühlkreislaufs ist daher variabel veränderbar bzw. einstellbar.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Rezirkulationsfördereinrichtung als ein Turbokompressor mit einer Gleitlagerung ausgebildet ist, wobei die Gleitlagerung zur Schmierung mit einem Schmiermittelkreislauf, insbesondere einem Ölkreislauf, verbunden ist. Der Einsatz des Schmiermittelkreislaufs hat den Vorteil, dass Lagerschäden vermieden werden können und ein ordnungsgemäßer Betrieb des Turbokompressors gewährleistet werden kann.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass der Schmiermittelkreislauf eine Schmiermittelquelle, wenigstens eine Schmiermittelpumpe und wenigstens einen Schmiermittelwärmetauscher aufweist, wobei der Schmiermittelwärmetauscher mit dem Kühlkreislauf gekoppelt ist, wodurch das Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs durch das Kühlfluid kühlbar ist. Mit anderen Worten kann das beispielhaft verwendete Öl als Schmiermittel für die Gleitlagerung mit dem Kühlfluid, insbesondere dem Wasser, des Kühlkreislaufs in dem Schmiermittelwärmetauscher vorteilhafterweise rückgeköhlt werden, damit das Öl nicht überhitzt. Insbesondere kann das Schmiermittel mittels der Kühlung durch das Kühlfluid auf einer Temperatur im Bereich von 60 °C bis 80°C eingestellt werden. Somit kann effizient vermieden werden, dass sich das Schmiermittel zersetzt bzw. thermische Schäden aufweist. Weiterhin kann es günstig sein wenn der Schmiermittelkreislauf zusätzlich die oder wenigstens eine Re-

zirkulationsfördereinrichtung mit Schmiermittel versorgt.

[0023] Es kann weiterhin bevorzugt vorgesehen sein, dass die Abwärme des Anodenabgases aus dem Abgaswärmetauscher sowie die Abwärme aus der Rezirkulationsfördereinrichtung in einem weiteren Wärmetauscher an ein Heiz- / Brauchwassersystem zur Nutzung der Abwärme überführt wird. Beispielsweise kann das Heiz- / Brauchwassersystem durch den zentralen Kühlfluidspeicher und den zugehörigen Wärmetauscher gebildet sein. Die Abwärme kann dabei intern in dem Wärmetauscher übergeben werden. Es sind hierbei weitere Systeme mit mehreren Wärmetauschern oder Komponenten denkbar, um die Abwärme auszukoppeln.

[0024] Weiter vorzugsweise sind zwei Pumpen im Kühlkreislauf angeordnet, wobei eine erste Pumpe zwischen dem Kühlfluidspeicher und dem Abgaswärmetauscher und eine zweite Pumpe zwischen dem Schmiermittelwärmetauscher und dem Sauggebläse angeordnet ist, wobei mittels der Pumpen der Kühlfluidstrom einstellbar ist. Wenn das Brennstoffzellensystem beispielsweise mit dem Heiz- / Brauchwassersystem gekoppelt ist, kann es an bestimmten Betriebspunkten innerhalb des Systems notwendig sein, den Massenstrom des Kühlfluids zu regulieren, insbesondere zu reduzieren. Damit kann die Temperaturspreizung innerhalb des Kühlkreislaufs effizient eingestellt bzw. im Betrieb eingehalten werden. Beispielhaft kann es bei derartigen Betriebspunkten bei den Gebläsen, insbesondere dem Sauggebläse oder der Rezirkulationsfördereinrichtung vorkommen, dass der erforderliche Massenstrom des Kühlfluids nicht mehr erreicht wird und die Kühlung des Gebläses nicht ausreichend funktioniert. Um dies zu vermeiden kann mittels einer zweiten Pumpe im Kühlkreislauf ein Kühlzirkulationskreis optimal eingestellt werden, wobei der Massenstrom des Kühlfluids bedarfsweise bei Bedarf erhöht bzw. gesenkt werden kann. Der Kühlfluidspeicher ist insbesondere als Warmwasserspeicher ausgebildet.

[0025] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems nach einem der vorhergehenden Ausführungsformen, umfassend die folgenden Schritte:

[0026] - Zirkulieren von Kühlfluid mittels der wenigstens einer Pumpe in dem Kühlkreislauf;

[0027] - Förderung von Kühlfluid von einem Abgaswärmetauscher zu einer Rezirkulationsfördereinrichtung.

[0028] Dies hat den Vorteil, dass aufgrund der fluidkommunizierenden Verbindung bzw. Förderung von Kühlfluid von dem Abgaswärmetauscher zur Rezirkulationsfördereinrichtung der Fluidkreislauf der Anodenabgaswärmenutzung und der Fluidkreislauf der Gebläsekühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung miteinander gekoppelt werden. Durch die Kopplung kann auf eine weitere Pumpe und einen weiteren Wärmetauscher in zwei separaten Kühlkreisläufen verzichtet werden kann, wodurch die Wärmeverluste reduziert werden.

[0029] Weiter vorzugsweise kann das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfassen:

[0030] - Kühlung eines Sauggebläses zwischen dem Abgaswärmetauscher und der Rezirkulationsfördereinrichtung mit Kühlfluid des Kühlkreislaufs.

[0031] Dies hat den Vorteil, dass auch die im Sauggebläse entstehende Abwärme im selben Kühlkreislauf genutzt werden kann. Weiterhin kann durch die Anordnung des Sauggebläses zwischen dem Abgaswärmetauscher und der Rezirkulationsfördereinrichtung im Kühlkreislauf eine niedrige Eintrittstemperatur in das Sauggebläse erreicht werden, wodurch eine optimale Betriebstemperatur des Sauggebläses zur Gewährleistung des Unterdrucks ermöglicht werden kann.

[0032] In einer weiteren Ausführungsform kann das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfassen:

[0033] - Einstellung der Temperatur des Kühlfluids in einem Sauggebläseabschnitt des Kühlkreislaufs, in dem das Sauggebläse angeordnet ist, auf einen Wert, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 65 °C, der die Temperatur des Anodenabgases übersteigt.

[0034] Die Einstellung der Temperatur im Sauggebläseabschnitt hat den Vorteil, dass somit verhindert werden kann, dass es lokal im Sauggebläse zu Taupunktunterschreitungen und somit zu Kondensation kommt, welche schädlich für das Sauggebläse wäre.

[0035] In einer weiteren Ausführungsform kann das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfassen:

[0036] - Kopplung des Kühlkreislaufs mit einem Schmiermittelkreislauf, wodurch ein Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs durch das Kühlfluid gekühlt wird.

[0037] Demnach kann effizient vermieden werden, dass sich das Schmiermittel zu stark erhitzt, bzw. sich zersetzt und thermische Schäden aufweist.

[0038] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von nicht einschränkenden Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren dargestellt sind. Darin zeigen

[0039] Fig. 1 eine schematische Ansicht einer ersten Variante eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

[0040] Fig. 2 eine schematische Ansicht einer zweiten Variante eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems, und

[0041] Fig. 3 eine schematische Ansicht einer dritten Variante eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

[0042] In den nachfolgenden Figuren sind aus Gründen der Übersichtlichkeit gleichartige Elemente mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0043] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems, wobei der Kühlkreislauf im Detail dargestellt ist. Das Brennstoffzellensystem 10 weist eine nicht dargestellte Brennstoffversorgungseinheit, zumindest eine nicht dargestellte Hochtemperaturbrennstoffzelle 12 mit einer Kathode 14 und einer Anode 16 und einem zwischen Kathode 14 und Anode 16 angeordneten Elektrolyten 18 auf. Die Kathode 14 weist eine nicht dargestellte Kathodenzuleitung 15 auf, wobei Luft bzw. Sauerstoff der Kathode 14 zugeführt werden kann. Die Anode 16 weist eine Anodenzuleitung 16a auf, wobei die Anode 16 über die Anodenzuleitung 16a mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist. In der Anodenzuleitung 16a ist eine nicht dargestellte Reformierungsvorrichtung 62 angeordnet. Weiterhin ist eine Anodenabgasleitung 16b zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode 16 vorgesehen. Die Anodenabgasleitung 16b und die Anodenzuleitung 16a können einen Anodengaskreislauf bilden.

[0044] Das Brennstoffzellensystem 10 weist einen Abgaswärmetauscher 20 zur Kühlung von Abgas und eine Rezirkulationsfördereinrichtung 30 zum Rückführen von Anodenabgas zu der Reformierungsvorrichtung 62 auf. Der Abgaswärmetauscher 20 ist mit der Anodenabgasleitung 16b verbunden. Dabei wird insbesondere ein Teil des Anodenabgases in der Anodenabgasleitung 16b ausgeschleust und verlässt den Anodengaskreislauf des Brennstoffzellensystems 10. Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 ist mit der Anodenzuleitung 16a verbunden.

[0045] Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 kann beispielsweise als Rezirkulationsgebläse ausgebildet sein, um das Brennstoffzellensystem 10 mit Rezirkulation, insbesondere mit einer Rückführung von Anodenabgas, betreiben zu können. Das Rezirkulationsgebläse kann Temperaturen von bis zu 600°C im Betrieb ausgesetzt sein.

[0046] Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 und der Abgaswärmetauscher 20 sind zur jeweiligen Kühlung über einen gemeinsamen Kühlkreislauf 40 fluidkommunizierend miteinander verbunden. Der Kühlkreislauf 40 weist einen zentralen Kühlfluidspeicher 42, welcher als Warmwasserspeicher ausgebildet ist, mit einem Wärmetauscher 44 auf. Über den Kühlfluidspeicher 42 wird Kühlfluid über den Wärmetauscher rückgeköhlt und bereitgestellt, welches im Kühlkreislauf 40 zirkulieren kann. Der Warmwasserspeicher und der Wärmetauscher 44 können auch als Heiz-/Brauchwassersystem in verschiedenen Anordnungen ausgeführt werden. Exemplarisch wurde ein Warmwasserspeicher gewählt, bei dem das heiße Kühlfluid im oberen Bereich des

Speichers das Warmwasser erwärmt. Der als Wärmetauscher ausgebildete Kühlfluidspeicher 42 ist in diesem Beispiel so ausgeführt, dass das Kühlfluid im unteren Bereich des Warmwasserspeichers mit dem kalten Wasser aus dem Warmwasserverbraucher auf etwa 30 °C abgekühlt wird.

[0047] Mittels einer Pumpe 46 wird das Kühlfluid von dem Kühlfluidspeicher 42 zu dem Abgaswärmetauscher 20 gefördert. Die Pumpe 46 ist daher zwischen dem Kühlfluidspeicher 42 und dem Abgaswärmetauscher 20 im Kühlkreislauf 40 angeordnet. Das Kühlfluid ist beispielhaft durch Wasser gebildet. Die Eintrittstemperatur des Wassers in den Abgaswärmetauscher 20 beträgt vorzugsweise ungefähr 30 °C. Mittels des Wassers wird das heiße Anodenabgas abgekühlt. Die Austrittstemperatur des Wassers aus dem Abgaswärmetauscher 20 beträgt annähernd 65 °C. Demnach ist die Wassertemperatur im Bereich des Abgaswärmetauscherabschnitts 21, in dem der Abgaswärmetauscher 20 angeordnet ist, im Bereich von 30 °C bis 65 °C.

[0048] Der Abgaswärmetauscher 20 ist mit der Abgasleitung 64b verbunden. Das heiße Abgas, welches zu dem Abgaswärmetauscher 20 gefördert wird, wird durch das Wasser im Abgaswärmetauscher 20 abgekühlt und verlässt in der Abgasleitung 64b den Abgaswärmetauscher 20 als gekühltes Abgas. Die niedrige Temperatur von ca. 30 °C als Eintrittstemperatur im Bereich des Abgaswärmetauschers 20 im Kühlkreislaufs 40 wird benötigt, um das Abgas auf 35 °C zu kühlen und eine hohe Effizienz zu erreichen. Dabei kommt es im Bereich des Abgaswärmetauschers 20 zu einer Kondensatbildung aus dem Abgas. Dieses kann beispielsweise abgeführt werden oder für eine spätere Dampfreformierung bereitgestellt werden.

[0049] Dem Abgaswärmetauscher 20 ist im Kühlkreislauf 40 in Strömungsrichtung ein Sauggebläse 48 nachgeordnet. Mittels des Sauggebläses 48 kann das Brennstoffzellensystem 10 mit Unterdruck betrieben werden. Das Sauggebläse 48 wird mit Wasser aus dem Kühlkreislauf 40 gekühlt. Die Anordnung des Sauggebläses nach dem Abgaswärmetauscher 20 in Strömungsrichtung im Abgaspfad 64b hat den Vorteil, dass durch die niedrige Austrittstemperatur des Abgases aus dem Abgaswärmetauscherabschnitt 21 des Kühlkreislaufs 40 bzw. dem Abgaswärmetauscher eine niedrige Eintrittstemperatur in das Sauggebläse 48 erreicht werden kann, wodurch eine optimale Betriebstemperatur des Sauggebläses 48 zur Gewährleistung des Unterdrucks ermöglicht werden kann.

[0050] Vorzugsweise weist die Temperatur des Kühlfluids in einem Sauggebläseabschnitt 49 des Kühlkreislaufs 40, in dem das Sauggebläse 48 angeordnet ist, zur Kühlung des Sauggebläses 48 im Betriebszustand des Brennstoffzellensystems 10 einen Wert, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 65 °C, auf, der die Temperatur des Abgases übersteigt. Die Einstellung der Temperatur im Sauggebläseabschnitt 49 hat den Vorteil, dass somit verhindert werden kann, dass es lokal im Sauggebläse 48 zu Taupunktunterschreitungen und somit zu Kondensation kommt, welche schädlich für das Sauggebläse 48 wäre.

[0051] Dem Sauggebläse 48 ist die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 im Kühlkreislauf 40 in Strömungsrichtung nachgeordnet. Mit anderen Worten ist das Sauggebläse 48 zwischen dem Abgaswärmetauscher 20 und der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 angeordnet. Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 ist beispielhaft als ein Turbokompressor mit einer Gleitlagerung ausgebildet, wobei die Gleitlagerung zur Schmierung mit einem Schmiermittelkreislauf 50, insbesondere einem Ölkreislauf, verbunden ist. Der Einsatz des Schmiermittelkreislaufs 50 hat den Vorteil, dass Lagerschäden an der Gleitlagerung vermieden werden können und eine ausreichende Lebensdauer des Turbokompressors gewährleistet werden kann.

[0052] Der Schmiermittelkreislauf 50 weist eine Schmiermittelquelle 52, eine Schmiermittelpumpe 54 und einen Schmiermittelwärmetauscher 56 auf. Der Schmiermittelwärmetauscher 56 ist mit dem Kühlkreislauf 40 gekoppelt bzw. verbunden, wodurch das Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs 50 durch das Wasser des Kühlkreislaufs 40 kühlbar ist. Mit anderen Worten kann das Schmiermittel für die Gleitlagerung beispielsweise mit dem Wasser des Kühlkreislaufs 40 in dem Schmiermittelwärmetauscher 56 rückgeköhlt werden, damit das Schmiermittel nicht überhitzt. Insbesondere kann das Schmiermittel mittels der Kühlung durch das

Wasser auf einer Temperatur im Bereich von 60 °C bis 80 °C eingestellt werden. Somit kann effizient vermieden werden, dass sich das Schmiermittel zersetzt bzw. thermische Schäden aufweist.

[0053] Anschließend an den Schmiermittelwärmetauscher 56 kann das Wasser des Kühlkreislaufrs 40 über den Wärmetauscher 44 in den Kühlfluidspeicher 42 zurückgefördert werden. Es ist denkbar, dass die Reihenfolge der Komponenten des Kühlkreislaufrs 40 verändert wird. Bevorzugt ist vorgesehen, dass das Wasser von dem Wärmetauscher 44 im Warmwasserspeicher 42 mittels der Pumpe 46 über den Abgaswärmetauscher 20, das Sauggebläse 48 und die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 zu dem Schmiermittelwärmetauscher 56 und zurück in den Warmwasserspeicher 42 gefördert wird. Je nach Einstellung der Eintritts- bzw. Austrittstemperatur der einzelnen Komponenten kann auch eine andere Reihenfolge im Kühlkreislaufr 40 vorgesehen sein.

[0054] Aufgrund der fluidkommunizierenden Verbindung der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 und des Abgaswärmetauschers 20 kann der Kühlkreislaufr der Anodenabgaswärmenutzung und der Kühlkreislaufr der Gebläsekühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 miteinander in einem zentralen Kühlkreislaufr 40 gekoppelt werden. Mit anderen Worten wird das Kühlfluid, also das Wasser, welches für die Kühlung der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 verwendet wird, im gleichen Kühlkreislaufr 40 zirkuliert, mit dem auch das Anodenabgas gekühlt wird. Dies hat den Vorteil, dass durch die Kopplung auf eine weitere Pumpe und einen weiteren Wärmetauscher in zwei separaten Kühlkreisläufen verzichtet werden kann. Da die Wärmeübertragung in einem Wärmetauscher bekanntermaßen verlustbehaftet ist, können durch den Verzicht auf einen weiteren Wärmetauscher in einem separaten Kühlkreislaufr die Wärmeverluste reduziert werden. Somit wird durch die Kopplung der Kühlung generell die Effizienz der Kühlung gesteigert.

[0055] Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems. Das Brennstoffzellensystem 10 ist analog zu Fig. 1 aufgebaut. Im Unterschied zu Fig. 1 ist eine weitere Pumpe 46 im Kühlkreislaufr 40 angeordnet. Beispielhaft ist eine erste Pumpe 46 zwischen dem Kühlfluidspeicher 42 und dem Abgaswärmetauscher 20 und eine zweite Pumpe 46 zwischen dem Schmiermittelwärmetauscher 56 und dem Sauggebläse 20 angeordnet, wobei mittels der Pumpen 46 der Kühlfluidstrom einstellbar ist. Wenn das Brennstoffzellensystem 10 beispielsweise mit einem Heiz- / Brauchwassersystem gekoppelt ist, kann es an bestimmten Betriebspunkten innerhalb des Systems notwendig sein, den Massenstrom des Kühlfluids zu regulieren, insbesondere zu reduzieren. Damit kann die Temperaturspreizung innerhalb des Kühlkreislaufrs 40 effizient eingestellt bzw. im Betrieb eingehalten werden. Beispielhaft kann es bei derartigen Betriebspunkten bei den Gebläsen, insbesondere dem Sauggebläse 48 oder der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 vorkommen, dass der erforderliche Massenstrom des Kühlfluids nicht mehr erreicht wird und die Kühlung des Gebläses nicht ausreichend funktioniert. Um dies zu vermeiden kann mittels der zweiten Pumpe 46 im Kühlkreislaufr 40 ein Kühlzirkulationskreis optimal eingestellt werden, wobei der Massenstrom des Kühlfluids bedarfsweise erhöht bzw. gesenkt werden kann.

[0056] Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht des dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems. In Fig. 3 ist im Gegensatz zu Fig. 1 das gesamte Brennstoffzellensystem 10 dargestellt. Das Brennstoffzellensystem 10 weist eine Festoxidbrennstoffzelle (englisch: Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) auf. Dabei handelt es sich um eine Hochtemperaturbrennstoffzelle 12, die bei Betriebstemperaturen von etwa 650 °C bis 1000 °C betrieben wird. Ein Elektrolyt 18 dieses Zelltyps kann aus einem festen keramischen Werkstoff gebildet sein, der in der Lage ist, Sauerstoffionen zu leiten, für Elektronen jedoch isolierend wirkt. An beiden Seiten des Elektrolyten 18 sind Elektroden, insbesondere eine Kathode 14 und eine Anode 16, angebracht. Diese sind gasdurchlässige elektrische Leiter. Der sauerstoffionenleitende Elektrolyt 18 ist beispielsweise als dünne Membran vorgesehen, um die Sauerstoffionen energiearm transportieren zu können.

[0057] Festoxidbrennstoffzellen 12 sind Brennstoffzellen zur kontinuierlichen elektrochemischen

Stromerzeugung, die üblicherweise als Brennstoffzellenstapel, sogenannte SOFC-Stacks, also als Zusammenschaltung mehrerer Hochtemperaturbrennstoffzellen 12, betrieben werden. Zur besseren Übersicht ist in Fig. 3 nur eine einzige Hochtemperaturbrennstoffzelle 12 veranschaulicht. Die Funktion jeder Brennstoffzelle beruht auf einer Redoxreaktion, bei der Reduktion und Oxidation räumlich getrennt ablaufen, nämlich an der Grenzfläche zwischen der jeweiligen Elektrode und dem Elektrolyten 18. In der Festoxidbrennstoffzelle 12 ist diese Redox-Reaktion eine Reaktion von Sauerstoff mit dem Brennstoff, beispielsweise zugeführtem Erdgas. Auf der Kathodenseite herrscht Sauerstoffüberschuss, während auf der Anodenseite Sauerstoffmangel herrscht. Durch dieses Konzentrationsgefälle diffundiert Sauerstoff von der Kathode 14 durch den Elektrolyten 18 zur Anode 16. Der Elektrolyt 18 ist nur für Sauerstoffionen durchlässig.

[0058] Hat das Sauerstoffmolekül die Grenzfläche zwischen Kathode 14 und Elektrolyt 18 erreicht, nimmt es zwei Elektronen auf, wird damit zum Ion und kann die Barriere durchdringen. An der Grenze zur Anode 16 angekommen, reagiert es katalytisch mit dem Brenngas unter Abgabe von Wärme und den entsprechenden Verbrennungsprodukten, und gibt wieder zwei Elektronen an die Anode 16 ab. Voraussetzung dafür ist ein Stromfluss.

[0059] Die Kathode 14 weist eine Kathodenzuleitung 15 auf, mit welcher Luft bzw. Sauerstoff der Kathode 14 zugeführt werden kann. In der Kathodenzuleitung 15 ist dazu ein Ventil 60, insbesondere ein Drosselventil, für die Zuführung der Luft oder des Sauerstoffs angeordnet. Weiterhin ist in der Kathodenzuleitung 15 ein Luftwärmetauscher 66 zur Anpassung der Temperatur der Luft oder des Sauerstoffs zur Zuleitung zur Kathode 14 angeordnet.

[0060] Die Anode 16 weist eine Anodenzuleitung 16a auf, wobei die Anode 16 über die Anodenzuleitung 16a mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist. Mittels der Anodenzuleitung 16a kann beispielsweise Erdgas als Brennstoff der Anode 16 zugeführt werden. In der Anodenzuleitung 16a ist hierzu ein Ventil 60 für die Zuführung des Erdgases angeordnet. Das Erdgas wird in der Anodenzuleitung 16a an eine Rezirkulationsfördereinrichtung 30 gefördert. Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 kann beispielsweise als Rezirkulationsgebläse ausgebildet sein, um das Brennstoffzellensystem 10 mit Rezirkulation, insbesondere mit einer Rückführung von Anodenabgas, betreiben zu können. Das Rezirkulationsgebläse kann Temperaturen von bis zu 600 °C im Betrieb ausgesetzt sein. In der Anodenzuleitung 16a ist weiterhin eine in Strömungsrichtung der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 nachgeschaltete Reformierungsvorrichtung 62 angeordnet. Die Rezirkulationsfördereinrichtung fördert dabei das Erdgas zu der Reformierungsvorrichtung 62. Die Reformierungsvorrichtung 62 kann aus einem Kraftstoff, wie beispielsweise Erdgas, sowie gegebenenfalls aus Reformierluft und/oder Wasserdampf das Reformatgas erzeugen. Das Reformatgas enthält dann unter anderem Wasserstoffgas und Kohlenmonoxid und wird an die Anode 16 weitergeleitet.

[0061] Weiterhin ist eine Anodenabgasleitung 16b zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode 16 vorgesehen. Die Anodenabgasleitung 16b und die Anodenzuleitung 16a können einen Anodengaskreislauf bilden. In der Anodenabgasleitung 16b wird heißes Anodenabgas zu einem Brenner 64 gefördert. Im Brenner 64 wird das Anodenabgas mit dem Sauerstoff des Kathodenabgases oxidiert und es entsteht Abgas. Das Abgas aus dem Brenner 64 im Abgaspfad wird parallel zum Kathodenwärmetauscher oder Luftwärmetauscher 66 auch durch die Reformierungsvorrichtung 62 gefördert. Das Abgas wird nachfolgend wieder gemischt und in den Abgaswärmetauscher 20 gefördert, wobei das zugeführte Abgas im Abgaswärmetauscher 20, der vorzugsweise im Gegenstrom betrieben wird, abgekühlt wird und in der Abgasleitung 64b den Abgaswärmetauscher 20 wieder verlässt. Ein Teil des Anodenabgases gelangt in die Anodenzuleitung 16a und wird darin als rückgeführtes Anodenabgas im Anodengaskreislauf gefördert und in der Reformierungsvorrichtung 62 mit frischem Brennstoff vermischt. Dazu können beispielsweise Sauerstoff, Erdgas, sowie Abgasprodukte der Elektroden über einen katalytischen Brenner 64 der Reformierungsvorrichtung 62 zugeführt werden. Die Reformierungsseite wird vorzugsweise so ausgeführt, dass das Abgas vom Anodengaskreislauf räumlich getrennt ist und das Abgas nur als Wärmeträger verwendet wird, um die Reformierungseinrichtung 62 zu beheizen.

[0062] Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 und der Abgaswärmetauscher 20 sind zur jeweiligen Kühlung über einen gemeinsamen Kühlkreislauf 40 fluidkommunizierend miteinander verbunden. Der Kühlkreislauf ist analog zu Fig. 1 ausgebildet. Der Kühlkreislauf 40 weist einen als Warmwasserspeicher ausgebildeten zentralen Kühlfluidspeicher 42 als Fluidquelle mit einem Wärmetauscher 44 auf. Über den Kühlfluidspeicher 42 wird Kühlfluid bereitgestellt, welches im Kühlkreislauf 40 zirkulieren kann. Mittels einer Pumpe 46 wird das Kühlfluid von dem Kühlfluidspeicher 42 zu dem Abgaswärmetauscher 20 gefördert. Die Pumpe 46 ist daher zwischen dem Kühlfluidspeicher 42 und dem Abgaswärmetauscher 20 im Kühlkreislauf 40 angeordnet. Das Kühlfluid ist beispielhaft durch Wasser gebildet. Das heiße Anodenabgas, welches zu dem Abgaswärmetauscher 20 gefördert wird, wird durch das Wasser im Abgaswärmetauscher 20 abgekühlt und verlässt in der Anodenabgasleitung 16b den Abgaswärmetauscher 20 als gekühltes Anodenabgas.

[0063] Dem Abgaswärmetauscher 20 ist im Kühlkreislauf 40 in Strömungsrichtung ein Sauggebläse 48 nachgeordnet. Mittels des Sauggebläses 48 kann das Brennstoffzellensystem 10 mit Unterdruck betrieben werden. Das Sauggebläse 48 wird mit Wasser aus dem Kühlkreislauf 40 gekühlt. Die Anordnung des Sauggebläses nach dem Abgaswärmetauscher 20 im Kühlkreislauf 40 hat den Vorteil, dass durch den niedrigen Temperaturbereich im Abgaswärmetauscherabschnitt 21 des Kühlkreislaufs 40 eine niedrige Eintrittstemperatur in das Sauggebläse 48 erreicht werden kann, wodurch eine optimale Betriebstemperatur des Sauggebläses 48 zur Gewährleistung des Unterdrucks ermöglicht werden kann.

[0064] Dem Sauggebläse 48 ist die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 im Kühlkreislauf 40 in Strömungsrichtung nachgeordnet. Mit anderen Worten ist das Sauggebläse 48 zwischen dem Abgaswärmetauscher 20 und der Rezirkulationsfördereinrichtung 30 angeordnet. Die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 ist beispielhaft als ein Turbokompressor mit einer Gleitlagerung ausgebildet, wobei die Gleitlagerung zur Schmierung mit einem Schmiermittelkreislauf 50, insbesondere einem Ölkreislauf, verbunden ist.

[0065] Der Schmiermittelkreislauf 50 weist eine Schmiermittelquelle 52, eine Schmiermittelpumpe 54 und einen Schmiermittelwärmetauscher 56 auf. Der Schmiermittelwärmetauscher 56 ist mit dem Kühlkreislauf 40 gekoppelt, wodurch das Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs 50 durch das Wasser des Kühlkreislaufs 40 kühlbar ist. Mit anderen Worten kann das Schmiermittel für die Gleitlagerung beispielsweise mit dem Wasser des Kühlkreislaufs 40 in dem Schmiermittelwärmetauscher 56 vorteilhafterweise rückgekühlt werden, damit das Schmiermittel nicht überhitzt.

[0066] Anschließend kann das Wasser des Kühlkreislaufs 40 nach dem Schmiermittelwärmetauscher 56 über den Wärmetauscher 44 in den als Warmwasserspeicher ausgebildeten Kühlfluidspeicher 42 zurückgeführt werden. Es ist denkbar, dass die Reihenfolge der Komponenten des Kühlkreislaufs 40 verändert wird. Bevorzugt ist vorgesehen, dass das Wasser von dem zentralen Kühlfluidspeicher 42 mittels der Pumpe 46 über den Abgaswärmetauscher 20, das Sauggebläse 48 und die Rezirkulationsfördereinrichtung 30 zu dem Schmiermittelwärmetauscher 56 und zurück in den Kühlfluidspeicher 42 gefördert wird. Der Kühlkreislauf 40 weist weiterhin im Bereich des zentralen Kühlfluidspeichers 42 zwei Ventile 60 zur Einstellung des Massenstroms des Kühlfluids auf. Je nach Einstellung der Eintritts- bzw. Austrittstemperatur der einzelnen Komponenten kann auch eine andere Reihenfolge der Komponenten im Kühlkreislauf 40 vorgesehen sein.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Brennstoffzellensystem
- 12 Hochtemperaturbrennstoffzelle
- 14 Kathode
- 15 Kathodenzuleitung
- 16 Anode
- 16a Anodenzuleitung
- 16b Anodenabgasleitung
- 18 Elektrolyt
- 20 Abgaswärmetauscher
- 21 Abgaswärmetauscherabschnitt
- 30 Rezirkulationsfördereinrichtung
- 40 Kühlkreislauf
- 42 Kühlfluidspeicher, Warmwasserspeicher
- 44 Wärmetauscher
- 46 Pumpe
- 48 Sauggebläse
- 49 Sauggebläseabschnitt
- 50 Schmiermittelkreislauf
- 52 Schmiermittelquelle
- 54 Schmiermittelpumpe
- 56 Schmiermittelwärmetauscher
- 60 Ventil
- 62 Reformierungsvorrichtung
- 64 Brenner
- 64b Abgaspfad
- 66 Luftwärmetauscher

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (10) umfassend eine Brennstoffversorgungseinheit, zumindest eine Hochtemperaturbrennstoffzelle (12) mit einer Kathode (14) und einer Anode (16) und einem zwischen Kathode (14) und Anode (16) angeordneten Elektrolyten (18), wobei die Kathode (14) eine Kathodenzuleitung (15) aufweist und die Anode (16) eine Anodenzuleitung (16a) aufweist und die Anode (16) über die Anodenzuleitung (16a) mit der Brennstoffversorgungseinheit strömungsverbunden ist und in der Anodenzuleitung (16a) eine Reformierungsvorrichtung (62) angeordnet ist, wobei weiter eine Anodenabgasleitung (16b) zur Ableitung zumindest von Anodenabgas aus der Anode (16) angeordnet ist, wobei das Brennstoffzellensystem (10) einen Abgaswärmetauscher (20) zur Kühlung von Abgas und eine Rezirkulationsfördereinrichtung (30) zum Rückführen von Anodenabgas zu der Reformierungsvorrichtung (62) aufweist, wobei die Rezirkulationsfördereinrichtung (30) und der Abgaswärmetauscher (20) zur jeweiligen Kühlung über einen gemeinsamen Kühlkreislauf (40) fluidkommunizierend miteinander verbunden sind, der einen zentralen Kühlfluidspeicher (42) als Fluidquelle mit einem Wärmetauscher (44) aufweist und in dem Kühlfluid in einer Kühlleitung zirkulierbar ist, wobei der Kühlkreislauf (40) wenigstens eine Pumpe (46) zur Förderung von Kühlfluid aufweist.
2. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rezirkulationsfördereinrichtung (30) im Kühlkreislauf dem Abgaswärmetauscher (20) nachgeordnet, insbesondere direkt nachgeordnet, ist, so dass Kühlfluid von dem Abgaswärmetauscher (20) zu der Rezirkulationsfördereinrichtung (30) förderbar ist.
3. Brennstoffzellensystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Kühlkreislauf (40) ein Sauggebläse (48) zwischen dem Abgaswärmetauscher (20) und der Rezirkulationsfördereinrichtung (30) angeordnet ist, wodurch das Sauggebläse (48) mit Kühlfluid des Kühlkreislaufs (40) kühlbar ist.
4. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur des Kühlfluids in einem Sauggebläseabschnitt (49) des Kühlkreislaufs (40), in dem das Sauggebläse (48) angeordnet ist, zur Kühlung des Sauggebläses (48) im Betriebszustand des Brennstoffzellensystems einen Wert, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 65 °C, aufweist, der die Temperatur des Abgases übersteigt.
5. Brennstoffzellensystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rezirkulationsfördereinrichtung (30) als ein Turbokompressor mit einer Gleitlagerung ausgebildet ist, wobei die Gleitlagerung zur Schmierung mit einem Schmiermittelkreislauf (50), insbesondere einem Ölkreislauf, verbunden ist.
6. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schmiermittelkreislauf (50) eine Schmiermittelquelle (52), wenigstens eine Schmiermittelpumpe (54) und wenigstens einen Schmiermittelwärmetauscher (56) aufweist, wobei der Schmiermittelwärmetauscher (56) mit dem Kühlkreislauf (40) gekoppelt ist, wodurch das Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs (50) durch das Kühlfluid kühlbar ist.
7. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Pumpen (46) im Kühlkreislauf (40) angeordnet sind, wobei eine erste Pumpe (46) zwischen dem Kühlfluidspeicher (42) und dem Abgaswärmetauscher (20) und eine zweite Pumpe (46) zwischen dem Schmiermittelwärmetauscher (56) und dem Sauggebläse (48) angeordnet ist, wobei mittels der Pumpen (46) der Kühlfluidstrom einstellbar ist.
8. Verfahren zur Kühlung eines Brennstoffzellensystems nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 - Zirkulieren von Kühlfluid mittels der wenigstens einen Pumpe (46) in dem Kühlkreislauf (40);
 - Förderung von Kühlfluid von einem Abgaswärmetauscher (20) zu einer Rezirkulationsfördereinrichtung (30).

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfasst:
 - Kühlung eines Sauggebläses (48) zwischen dem Abgaswärmetauscher (20) und der Rezirkulationsfördereinrichtung (30) mit Kühlfluid des Kühlkreislaufs (40).
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfasst:
 - Einstellung der Temperatur des Kühlfluids in einem Sauggebläseabschnitt (49) des Kühlkreislaufs (40), in dem das Sauggebläse (48) angeordnet ist, auf einen Wert, insbesondere im Bereich von 35 °C bis 65 °C, der die Temperatur des Anodenabgases übersteigt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren weiterhin folgenden Schritt umfasst:
 - Kopplung des Kühlkreislaufs mit einem Schmiermittelkreislauf, wodurch ein Schmiermittel des Schmiermittelkreislaufs (50) durch das Kühlfluid gekühlt wird.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3

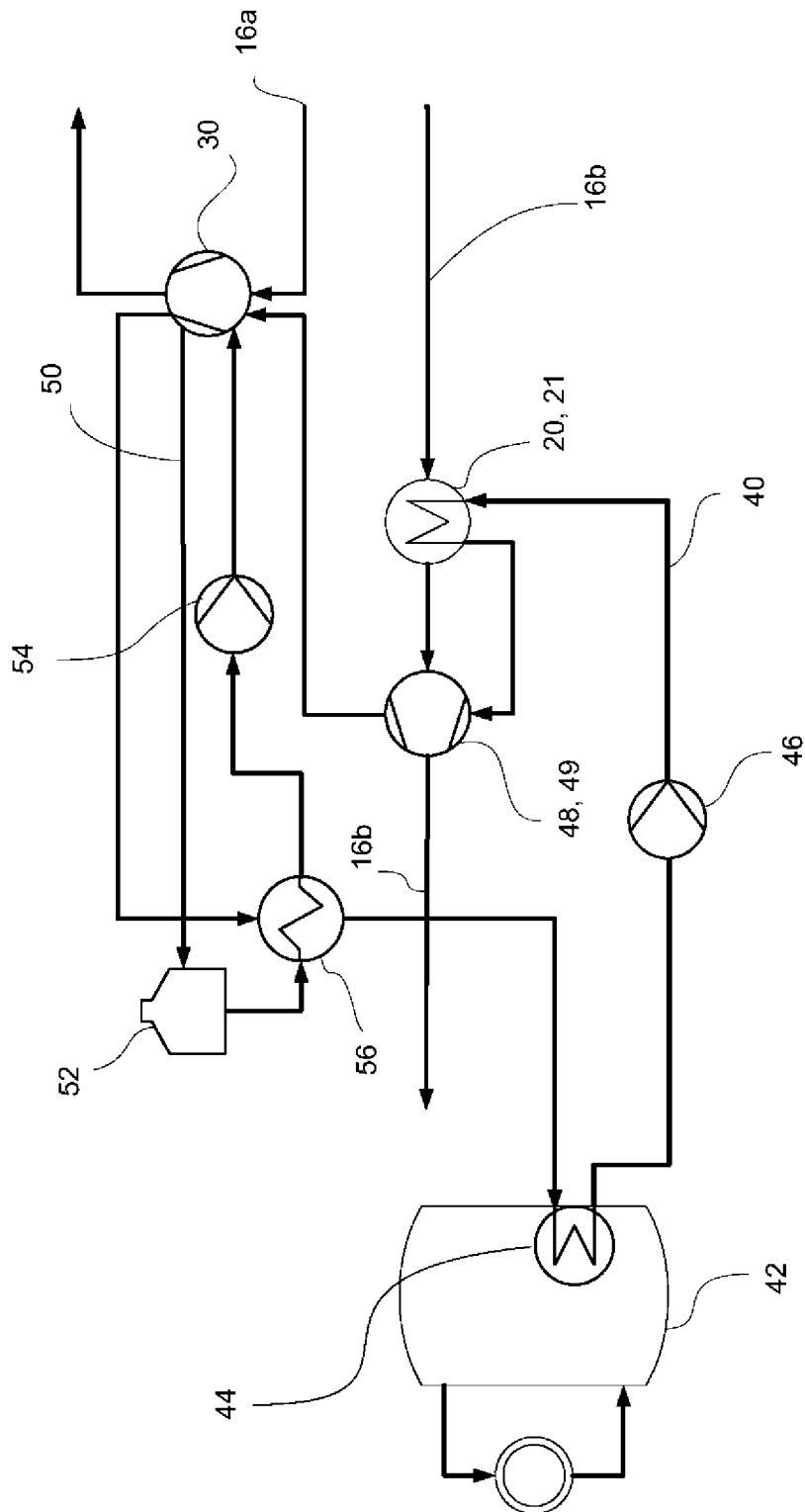


Fig. 1

2/3

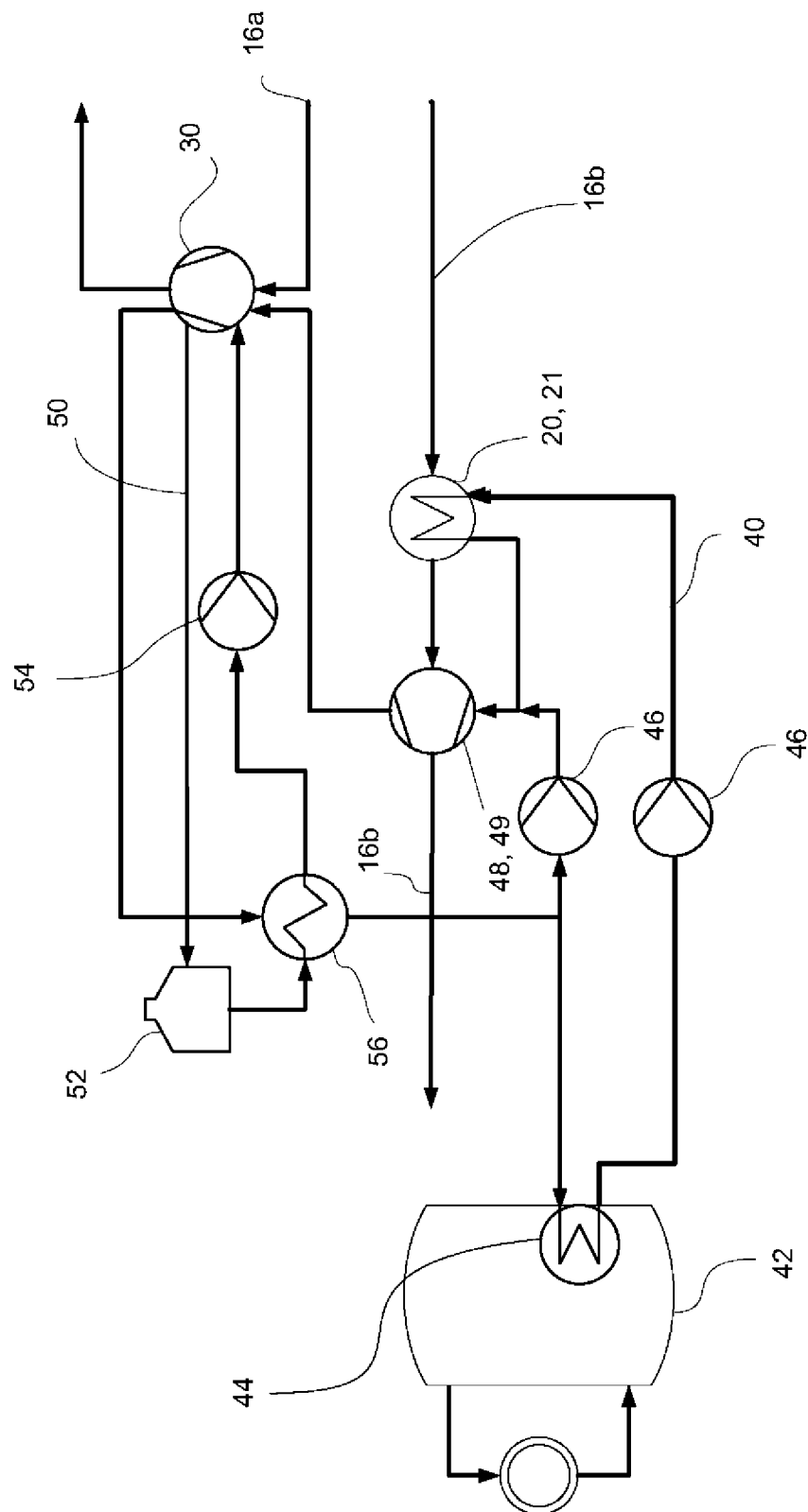


Fig. 2

3/3

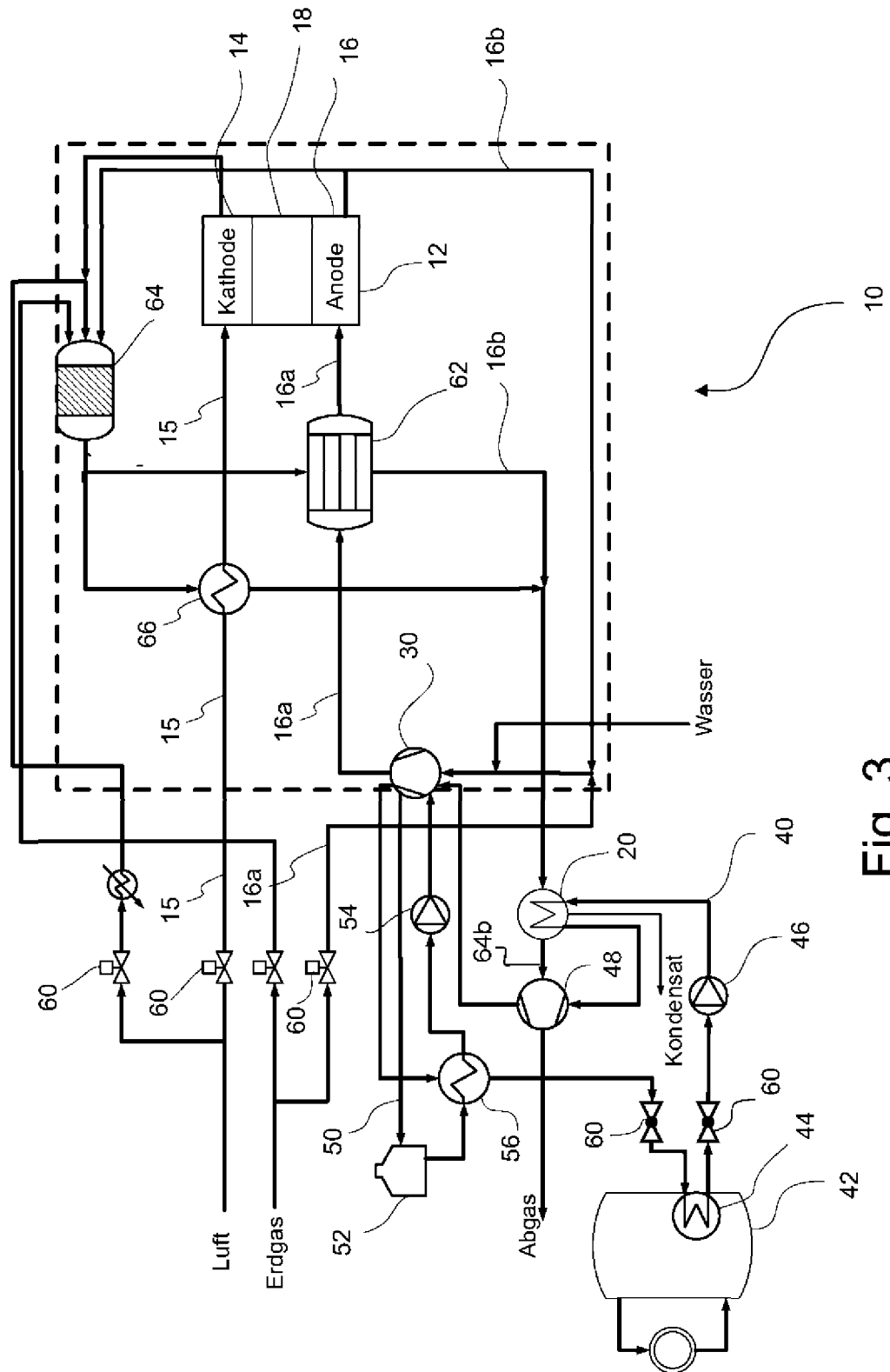


Fig. 3