

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50911/2021  
(22) Anmeldetag: 15.11.2021  
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2023

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04014** (2016.01)  
H01M 8/12 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
WO 2020240885 A1  
WO 2021155417 A1

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

(72) Erfinder:  
Neubauer Raphael Dr.  
8042 Graz-St. Peter (AT)

(74) Vertreter:  
Gamper Bettina Dr.  
8020 Graz (AT)

### (54) Brennstoffzellensystem

(57) Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (1), insbesondere SOFC-System, umfassend zumindest einen Brennstoffzellenstapel (2) mit einem Anodenabschnitt (3) und einem Kathodenabschnitt (4), einen Luftzuführabschnitt (5), einen Brennstoffzuführabschnitt (6) und einen Rezirkulationsabschnitt (7), wobei im Rezirkulationsabschnitt (7) ein Wärmetauschernetzwerk mit zumindest einem ersten Wärmetauscher (8) und einem zweiten Wärmetauscher (9) vorgesehen ist, wobei der zweite Wärmetauscher (9) stromabwärts des ersten Wärmetauschers (8) angeordnet ist, wobei eine kalte Seite des ersten Wärmetauschers (8) im Brennstoffzuführabschnitt (6) und eine kalte Seite des zweiten Wärmetauschers (9) im Luftzuführabschnitt (7) angeordnet ist, wobei im Luftzuführabschnitt (5) eine Bypassleitung (11) vorgesehen ist, durch welche die kalte Seite des zweiten Wärmetauschers (9) umgehbar ist.

Weiter betrifft die Erfindung eine Verwendung eines solchen Brennstoffzellensystem (1).

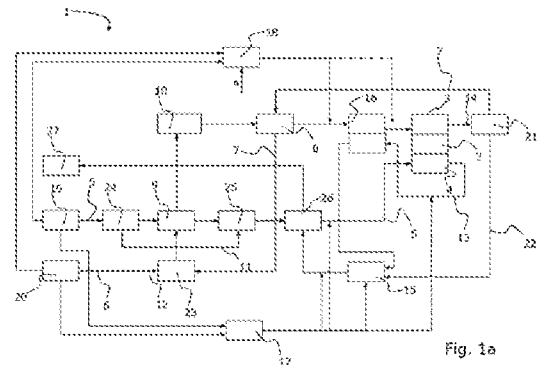


Fig. 1a

## Beschreibung

### BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem, insbesondere ein SOFC-System, umfassend zumindest einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt, einen Luftzuführabschnitt, einen Brennstoffzuführabschnitt und einen Rezirkulationsabschnitt, wobei im Rezirkulationsabschnitt ein Wärmetauschernetzwerk mit zumindest einem ersten Wärmetauscher und einem zweiten Wärmetauscher vorgesehen ist, wobei der zweite Wärmetauscher stromabwärts des ersten Wärmetauschers angeordnet ist, wobei eine kalte Seite des ersten Wärmetauschers im Brennstoffzuführabschnitt angeordnet ist.

**[0002]** Weiter betrifft die Erfindung eine Verwendung eines solchen Brennstoffzellensystems.

**[0003]** SOFC-Systeme sind aus dem Stand der Technik bekannt. Um die Effizienz eines SOFC-Systems zu erhöhen ist es bekannt, heißes Anodenabgas zu rezirkulieren und damit auch die Brennstoffausnutzung des Systems zu erhöhen. Diese Rezirkulation kann beispielsweise mit Heißgasgebläsen umgesetzt werden. Hierbei ist die technische Umsetzung und auch die Lebensdauer des Heißgasgebläses jedoch problematisch. Anodenabgas in einem Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem, insbesondere einem SOFC-System weist nämlich eine Temperatur zwischen 500 °C und 1000 °C auf. Darüber hinaus benötigen viele Brennstoffzellensysteme ein Schutzgas, um den Brennstoffzellenstapel, insbesondere die Brennstoffelektrode, vor Degradation während des Aufheizvorganges zu schützen. Dabei kann es notwendig sein Wärme in das System einzubringen, was nicht trivial, da es im Brennstoffzellensystem sehr unterschiedliche Temperaturanforderungen gibt.

**[0004]** Ein entsprechendes Brennstoffzellensystem ist beispielsweise aus der WO 2020240885 A1 bekannt.

**[0005]** Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Brennstoffzellensystem bereitzustellen, welches besonders effizient betreibbar ist, in welchem insbesondere ein Gebläse in einem Rezirkulationsabschnitt problemlos betreibbar ist.

**[0006]** Weiter ist es ein Ziel, eine Verwendung eines solchen Brennstoffzellensystems anzugeben.

**[0007]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei einem Brennstoffzellensystem der eingangs genannten Art eine kalte Seite des zweiten Wärmetauschers im Luftzuführabschnitt angeordnet ist, wobei im Luftzuführabschnitt eine Bypassleitung vorgesehen ist, durch welche die kalte Seite des zweiten Wärmetauschers umgehbar ist.

**[0008]** Ein dadurch erzielter Vorteil ist insbesondere darin zu sehen, dass durch die spezielle Anordnung des Wärmetauschernetzwerkes dem Anodenabgas so viel Wärme entzogen wird, dass eine Temperatur des zu rezirkulierenden Anodenabgases zumindest noch über einer Kondensattemperatur liegt. Durch die Anordnung der zumindest zwei Wärmetauscher ist die Temperatur im Rezirkulationsabschnitt regelbar. Der erste Wärmetauscher ist insbesondere als Brennstoff/Brennstoff-Wärmetauscher und der zweite Wärmetauscher als Luft/Brennstoffwärmetauscher ausgebildet.

**[0009]** Das Brennstoffzellensystem ist insbesondere als Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem und bevorzugt als SOFC-System ausgebildet.

**[0010]** Der Rezirkulationsabschnitt dient der Rezirkulation von Anodenabgas als Rezirkulationsgas aus dem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels des Brennstoffzellensystems. Hierfür ist der Rezirkulationsabschnitt insbesondere mit einer Rezirkulationsleitung ausgestattet, welche insbesondere fluidkommunizierend mit dem Anodenabschnitt verbunden ist. Der Rezirkulationsabschnitt ist im Brennstoffzellensystem eingebunden.

**[0011]** Beim Brennstoffzellensystem gemäß der Erfindung ist ein Luftzuführabschnitt vorgesehen, über welchen Luft von einer Luftquelle in Richtung des Kathodenabschnittes förderbar ist.

Unter Luft ist im Rahmen der Erfindung ein sauerstoffhaltiges Gas zu verstehen. Weiter weist das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzuführabschnitt, über welchen Brennstoff von einer Brennstoffquelle in Richtung des Anodenabschnittes förderbar ist. Als Brennstoff kann beispielsweise ein kohlenstoffhaltiges Gas wie Methan oder Ethan, Erdgas oder auch Wasserstoff eingesetzt werden. Grundsätzlich kann auch ein flüssiger Brennstoff verwendet werden. Selbstverständlich sind im Brennstoffzellensystem vorzugsweise weitere Bauteile vorgesehen, beispielsweise ein Reformer oder ein Reformerwärmetauscher, welcher Brennstoff für die Umsetzung im Anodenabschnitt reformiert, Katalysatoren, beispielsweise in einer Abgasleitung, zum Umsetzen verbleibender Brennstoffanteile im Abgas oder weitere Wärmetauschervorrichtungen.

**[0012]** Bevorzugt ist stromabwärts des Brennstoffzellenstapels eine Aufteilverrichtung vorgesehen, welche dem Aufteilen des Abgases in den Rezirkulationsabschnitt und in eine Abgasleitung dient. In der Abgasleitung ist bevorzugt ein Oxidationskatalysator zum Umsetzen verbleibender Brennstoffanteile im Abgas bzw. zur thermischen Verwertung und ein weiterer als Luft/Luft-Wärmetauscher ausgebildeter Wärmetauscher zum Abgeben von Wärme an den Luftzuführabschnitt vorgesehen. Der andere Teil wird über den Rezirkulationsabschnitt wieder dem Brennstoffzellenstapel zugeführt, um die Brennstoffausnutzung und damit den elektrischen Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems zu erhöhen.

**[0013]** Im Rezirkulationsabschnitt wird Abgas geführt, welches nacheinander durch den ersten und den zweiten Wärmetauscher geführt wird, wobei dieses über den ersten Wärmetauscher Wärme an den Brennstoffzuführabschnitt und über den zweiten Wärmetauscher Wärme an den Luftzuführabschnitt abgibt.

**[0014]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn im Rezirkulationsabschnitt ein Gebläse, insbesondere stromabwärts des zweiten Wärmetauschers, angeordnet ist. Das Gebläse ist bevorzugt als Rezirkulationsgebläse ausgebildet und zur Förderung des Abgases im Rezirkulationsabschnitt wieder in Richtung des Brennstoffzellenstapels angeordnet und ausgebildet. Der erste Wärmetauscher ist dazu ausgebildet, eine Temperatur des rezirkulierten Abgases zu reduzieren, sodass das Gebläse nicht mehr als Heißgasgebläse ausgebildet werden muss. Durch den ersten Wärmetauscher wird dem rezirkulierten Abgas bereits ein großer Teil der Wärme entzogen. Das Abgas hat an einem Auslass des Brennstoffzellenstapels üblicherweise eine Temperatur im Bereich von 500 °C bis 1000 °C. Nach dem Rezirkulationsgebläse wird das rezirkulierte Abgas wieder über den ersten Wärmetauscher auf Temperatur gebracht und dem Brennstoffzellenstapel, insbesondere über einen Reformer, wieder zugeführt.

**[0015]** Es ist weiter erfindungsgemäß im Luftzuführabschnitt eine Bypassleitung vorgesehen, durch welche die kalte Seite des zweiten Wärmetauschers umgehbar ist. Der zweite Wärmetauscher ist insbesondere als Brennstoff/Luft-Wärmetauscher ausgebildet und angeordnet und kühlt das rezirkulierte Anodenabgas auf eine gewünschte, vorgegebene Temperatur ab. Eine Wärmesenke ist dabei durch die kühle Luft ausgestaltet. Dies bringt den Vorteil, dass das rezirkulierte Anodenabgas bis auf die Kondensationstemperatur abgekühlt werden kann und die von der Luft aufgenommene Wärme über die Luftzuführleitung wieder in das System eingetragen wird. Dadurch sind die Wirkungsgradanforderungen an den ersten Wärmetauscher durch den zweiten Wärmetauscher entschärft, wodurch der erste Wärmetauscher kleiner und kostengünstiger ausgebildet werden kann. Um die Temperatur des Anodenabgases im Rezirkulationsabschnitt (entspricht dem rezirkulierten Anodenabgas) regeln zu können, ist im Luftzuführabschnitt die Bypassleitung vorgesehen. Durch geeignete Aktuatoren im Luftzuführabschnitt ist hier die Aufteilung zwischen der Bypassleitung und dem zweiten Wärmetauscher eingestellt, wodurch die Temperatur im Rezirkulationsabschnitt regelbar ist.

**[0016]** Die Anordnung der beiden Wärmetauscher in Kombination mit der Bypassleitung bringen den Vorteil mit sich, dass auch bei unterschiedlichen Betriebszuständen die Temperatur an einem Einlass des Gebläses immer zwischen einem Maximalwert und einem Minimalwert einregelbar ist. Als sinnvolle Temperatur hat sich dabei beispielsweise eine Temperatur zwischen 80 °C und 250 °C herausgestellt.

**[0017]** Von Vorteil ist es, wenn beim erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem frischer Brenn-

stoff in den Rezirkulationsabschnitt einbringbar ist, wofür der Brennstoffzuführabschnitt und der Rezirkulationsabschnitt fluidisch miteinander verbunden sind.

**[0018]** Zweckmäßig ist es, wenn der Brennstoffzuführabschnitt eine Brennstoffleitung umfasst, wobei über die Brennstoffleitung stromaufwärts des ersten Wärmetauschers Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt zuführbar ist. Es wird also frischer Brennstoff über eine fluidische Verbindung zwischen dem Brennstoffzuführabschnitt und dem Rezirkulationsabschnitt in den Rezirkulationsabschnitt eingebracht. Bei dieser Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass der Brennstoff stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers und stromabwärts des ersten Wärmetauschers in den Rezirkulationsabschnitt zugeführt wird. Durch diese Anordnung kann der Brennstoff, wenn dessen Versorgungsdruck zu gering ist, durch das Gebläse angesaugt werden, wobei zur Regelung z. B. ein Ventil und Massenstrommessung vorgesehen sein kann. Weiter ist durch die Einbringung von Brennstoff stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers (an dieser Stelle beträgt die Temperatur des Abgases im Rezirkulationsabschnitt noch etwa 200 °C) eine Gefahr von lokaler Kondensation verringert, da das Abgas im Rezirkulationsabschnitt noch heiß genug ist, um den frischen Brennstoff aufzuwärmen, ohne dadurch unter eine Kondensationstemperatur zu sinken. Die Kondensationstemperatur des Abgases im Rezirkulationsabschnitt beträgt etwa 80 °C, ist jedoch von einer Rezirkulationsrate und einer Brennstoffausnutzung am Brennstoffzellenstapel abhängig.

**[0019]** Alternativ kann es günstig sein, wenn der Brennstoffzuführabschnitt eine Brennstoffleitung umfasst, wobei über die Brennstoffleitung zwischen dem zweiten Wärmetauscher und dem Gebläse Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt zuführbar ist. Hierbei wird also frischer Brennstoff über eine fluidische Verbindung zwischen dem Brennstoffzuführabschnitt und dem Rezirkulationsabschnitt stromabwärts des zweiten Wärmetauschers und stromaufwärts des Gebläses in den Rezirkulationsabschnitt eingebracht. Diese Anordnung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn ein Versorgungsdruck des frischen Brennstoffes gering ist und keine lokale Kondensation auftritt.

**[0020]** Bei einer weiteren Ausgestaltungsvariante der Erfindung ist es vorteilhaft, wenn der Brennstoffzuführabschnitt eine Brennstoffleitung umfasst, wobei über die Brennstoffleitung zwischen dem Gebläse und dem ersten Wärmetauscher Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt zuführbar ist. Hierbei wird also frischer Brennstoff über eine fluidische Verbindung zwischen dem Brennstoffzuführabschnitt und dem Rezirkulationsabschnitt stromabwärts des Gebläses und stromaufwärts des ersten Wärmetauschers in den Rezirkulationsabschnitt eingebracht. Dies ist insbesondere dann günstig, wenn ein Brennstoffversorgungsdruck hoch genug ist, um z. B. über einen Massenstromregler (MFC) eingebracht zu werden. Da das Anodenabgas durch eine Kompression im Gebläse wieder erwärmt wird, ist das Risiko von lokaler Kondensation je nach Temperaturniveau wieder verringert.

**[0021]** Günstig ist es, wenn eine Kathodenabführleitung und eine Anodenabführleitung vorgesehen ist. Bevorzugt sind diese getrennt voneinander ausgebildet, sodass keine gemeinsame Abgasleitung vom Brennstoffzellenstapel vorgesehen ist. Die Anodenabführleitung wird durch eine Aufteilverrichtung stromabwärts des Brennstoffzellenstapels in den Rezirkulationsabschnitt und in eine Abgasleitung aufgeteilt, wobei Abgas über die Abgasleitung, in welcher zumindest ein Oxidationskatalysator angeordnet ist an die Umgebung abgegeben.

**[0022]** Es ist vorteilhaft, wenn stromabwärts des Brennstoffzellenstapels ein Oxidationskatalysator angeordnet ist, wobei dem Oxidationskatalysator ein Teil eines Abgases zuführbar ist. Besonders bevorzugt ist dem Oxidationskatalysator sowohl Anodenabgas als auch Kathodenabgas zuführbar, insbesondere über zwei getrennte Leitungen. Stromabwärts des Oxidationskatalysators ist bevorzugt ein weiterer Wärmetauscher angeordnet, über welchem noch vorhandene Wärme des Abgases an die Luft, welche zum Kathodenabschnitt gefördert wird, abgegeben wird. Die kalte Seite dieses Wärmetauschers ist also im Luftzuführabschnitt angeordnet.

**[0023]** Zweckmäßig ist es, wenn ein Reformerwärmetauscher vorgesehen ist, wobei eine heiße Seite des Reformerwärmetauschers in der Kathodenabführleitung angeordnet ist. Das heißt, der Reformer wird durch das heiße Kathodenabgas auf Betriebstemperatur gebracht. Stromabwärts des Reformerwärmetauschers wird das Kathodenabgas dann wie beschrieben dem Oxidations-

katalysator zugeführt. Der Reform erwärmetauscher umfasst also eine kalte Seite stromaufwärts des Anodenabschnitts, die einen Reformer bildet, und eine heiße Seite stromabwärts des Kathodenabschnitts, die einen Wärmetauscher bildet. Es hat sich herausgestellt, dass es unter Abwägung verschiedener Faktoren durchaus möglich ist und auch von Vorteil sein kann, das Kathodenabgas vollständig dem Wärmetauscher am Reformer bzw. der heißen Seite des Reform erwärmetauschers zuzuführen. Zunächst ist es von Vorteil, dass keine Strömungsteiler stromabwärts des Kathodenabschnitts nötig sind. Strömungsteiler führen zu einem komplexen Systemaufbau, für welchen entsprechend komplexe Funktionsbauteile erforderlich sind. Diese sind nicht nur teuer, sondern schlagen sich auch im Gewicht nieder, welches es insbesondere bei mobilen Anwendungen stets zu reduzieren gilt. Darüber hinaus müssen durch die Verwendung von Strömungsteilern komplexe Steuerungs- und Regelungsschritte in das Brennstoffzellensystem implementiert werden. Darauf kann verzichtet werden, wenn das Kathodenabgas vom Kathodenabschnitt direkt und unverzweigt, also vollständig, zum Wärmetauscher am Reformer geleitet wird.

**[0024]** Vorteilhaft ist es, wenn ein Startbrenner vorgesehen ist. Durch den Startbrenner erfolgt ein Aufheizen des Brennstoffzellensystems. Der Startbrenner kann vorteilhaft beispielsweise als Flammenbrenner, als katalytischer Brenner oder als Hybridbrenner (katalytisch mit Flamme kombiniert) ausgeführt sein. Günstig kann es auch sein, wenn der Startbrenner in einen Oxidationskatalysator integriert oder kombiniert mit diesem ausgebildet ist. Die durch den Startbrenner freigesetzte Wärme kann mit Vorteil an verschiedenen Stellen in das System eingebracht werden, beispielsweise in eine Kathodenabgasleitung direkt stromabwärts des Kathodenabschnittes, in die Luftzuführleitung oder direkt in den Oxidationskatalysator oder stromabwärts davon. Die Anordnung des Startbrenners ist abhängig von einzelnen Komponentenspezifikationen wie Temperaturlimits, Verträglichkeit von Verbrennungsabgas, und Ähnliches.

**[0025]** Von Vorteil ist es, wenn ein Reformer zum Herstellen von Schutzgas durch katalytisch partielle Oxidation vorgesehen ist. Um ein geeignetes Schutzgas intern herzustellen hat sich ein Reformer zum Herstellen von Schutzgas durch katalytisch partielle Oxidation (CPOX-Reformer) bewährt. Dabei wird Luft und Brennstoff katalytisch zu einem Synthesegas umgesetzt. Diese Reaktion ist ein katalytischer Oxidationsprozess, welcher exotherm und damit selbsterhaltend ist. Allerdings muss vor der Reaktion der Katalysator einmal über die sogenannte Light-off Temperatur gebracht werden. Dies wird vorteilhaft über eine Wärmequelle bewerkstelligt, wobei hier sowohl Wärme aus dem Brennstoffzellensystem (z. B. vom Startbrenner) als auch externe, elektrische oder thermische Energie wie Wärmeenergie verwendet werden kann. Sobald die CPOX-Reaktion (catalytic partial oxidation) gestartet ist wird diese zusätzliche Energie nicht mehr benötigt. Das dadurch entstehende Schutzgas kann vorteilhaft vor oder nach dem Reformer eingebracht werden. Ein Einbringen vor bzw. stromabwärts des Reformers hat folgende Vorteile: Das Schutzgas aus dem CPOX-Reformer ist typischerweise wärmer als 600 °C. Um etwaige Temperaturbegrenzung einhalten zu können, wird es im Reformer stromaufwärts des Brennstoffzellenstapels temperiert, um den Brennstoffzellenstapel vor zu hohen Einlasstemperaturen zu schützen. Darüber hinaus kann das Schutzgas auch für die Aktivierung von z. B. Ni-basierten Katalysatoren im Reformer verwendet werden. Sind sowohl Temperatur als auch Reformeraktivierung kein Problem, kann das Schutzgas vorteilhaft auch direkt vor dem Brennstoffzellenstapel eingebracht werden.

**[0026]** Um die Komplexität und den Bauraum des gesamten Brennstoffzellensystems gering zu halten, kann der CPOX-Reformer alternativ auch in den allgemeinen Reformer integriert werden. Dies bringt folgende Vorteile: Es werden keine zusätzliche Brennstoffleitung und kein zusätzlicher Reformer benötigt. Hier erfolgt die Aufwärmung über die Light-off Temperatur über das Brennstoffzellensystem intern über das heiße Kathodenabgas selbst, wobei die Light-off Temperatur hierbei im Bereich zwischen 250 °C und 500 °C liegt. Sobald die CPOX-Reaktion gestartet ist, beginnt die exotherme CPOX-Reaktion (> 600°C), wodurch der Katalysator aktiv gekühlt (Kathodenabgastemperatur liegt z. B. bei metallbasierten Brennstoffzellenstapel im Aufheizvorgang meist unter 600 °C). Der Reformerkatalysator sollte hierbei sowohl für CPOX-Reformierung als auch für Dampfreformierung ausgebildet sein. Dies kann bevorzugt über einen zweistufigen Reformer (z. B. einen Edelmetallkatalysator mit anschließenden Ni-basierten Katalysator) oder über

einen dementsprechend robusten einstufigen Katalysator erreicht werden.

**[0027]** Eine Verwendung eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems erfolgt mit Vorteil als stationäre Anlage oder in einem Kraftfahrzeug. Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem auch in marinen Anwendungen oder Flugzeugen verwendet werden.

**[0028]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben ist. Es zeigt schematisch:

**[0029]** Fig. 1a eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

**[0030]** Fig. 1b eine schematische Darstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

**[0031]** Fig. 2 eine schematische Darstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

**[0032]** Fig. 3 eine schematische Darstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

**[0033]** Fig. 1a zeigt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 1 mit einem Brennstoffzellenstapel 2 umfassend einen Anodenabschnitt 3 und einen Kathodenabschnitt 4. Es ist eine Luftquelle 19 vorgesehen, an welche ein Luftzuführabschnitt 5 anschließt, um Luft in Richtung des Kathodenabschnittes 4 zu fördern. Ebenso ist eine Brennstoffquelle 20 vorgesehen, an welche sich ein Brennstoffzuführabschnitt 6 mit einer Brennstoffleitung 12 anschließt, um Brennstoff in Richtung des Anodenabschnittes 3 zu fördern. Das Brennstoffzellensystem 1 umfasst weiter einen Rezirkulationsabschnitt 7, über welchen Abgas aus dem Anodenabschnitt 3 durch ein Gebläse 10 wieder in Richtung des Anodenabschnittes 3 gefördert wird. Stromabwärts des Brennstoffzellenstapels 2 ist eine erste Aufteilverrichtung 21 vorgesehen über welche das Anodenabgas in den Rezirkulationsabschnitt 7 und in eine Abgasleitung 22 aufteilbar ist.

**[0034]** Der Teil des Anodenabgases im Rezirkulationsabschnitt 7, sprich das rezirkulierte Abgas, wird durch einen ersten Wärmetauscher 8 und einen zweiten Wärmetauscher 9 geleitet. Der erste Wärmetauscher 8 ist stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers 9 angeordnet, wobei eine heiße Seite des ersten Wärmetauschers 8 im Rezirkulationsabschnitt 7 und eine kalte Seite des ersten Wärmetauschers 8 im Brennstoffzuführabschnitt 6 angeordnet ist. Dem heißen Anodenabgas wird also Wärme entzogen und der erste Wärmetauscher 8 ist als Brennstoff/Brennstoff-Wärmetauscher ausgebildet. Das Gebläse 10, welches als Rezirkulationsgebläse ausgebildet ist, ist zwischen dem ersten Wärmetauscher 8 und dem zweiten Wärmetauscher 9 angeordnet und zur Förderung des Anodenabgases ausgebildet.

**[0035]** Stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers 9 ist eine fluidische Verbindung 23 zwischen dem Rezirkulationsabschnitt 7 und dem Brennstoffzuführabschnitt 6 vorgesehen, sodass frischer Brennstoff über die Brennstoffleitung 12 in den Rezirkulationsabschnitt 7 einbringbar ist. Der frische Brennstoff wird nun zusammen mit dem rezirkulierten Abgas in Richtung des Anodenabschnittes 3 gefördert. Dabei wird dieser Brennstoff nun in einem ersten Schritt durch die kalte Seite des ersten Wärmetauschers 8 geführt, wodurch dieser wieder erwärmt wird.

**[0036]** Stromaufwärts des Anodenabschnittes 3 und stromabwärts der kalten Seite des ersten Wärmetauschers 8 ist ein Reformierwärmetauscher 16 angeordnet, welcher den Brennstoff zur Verwendung im Anodenabschnitt 3 aufbereitet. Dem Reformierwärmetauscher 16 wird zum Aufwärmen des entsprechenden Reformierabschnittes Kathodenabgas über die Kathodenabfuhrleitung 13 zugeführt.

**[0037]** Der Luftzuführabschnitt 5 weist eine Bypassleitung 11 auf, über welche der zweite Wärmetauscher 9 umgangen werden kann. Hierfür ist stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers 9 eine Abzweigung 24, von welcher die Bypassleitung 11 abzweigt, und stromabwärts des zweiten Wärmetauschers 9 eine Verbindung 25, bei welcher die Bypassleitung 11 sich wieder verbindet, vorgesehen. Stromabwärts der Verbindung 25 ist ein weiterer Wärmetauscher 26 vorgesehen,

wobei dessen kalte Seite in der Luftzuführleitung und dessen warme Seite in der Abgasleitung 22 angeordnet ist, sodass das heiße Abgas Wärme auf die Luft zur Verwendung im Kathodenabschnitt 4 überträgt. Der weitere Wärmetauscher 26 ist also als Luft/Luft-Wärmetauscher ausgebildet und angeordnet.

**[0038]** In der Abgasleitung 22 ist ein Oxidationskatalysator 15 angeordnet, wobei in diesen sowohl die Abgasleitung als auch die Kathodenabfuhrleitung 13 (stromabwärts des Reformerswärmetauschers 16) führen. Es wird also Anodenabgas unter Zufuhr von Kathodenabgas verbrannt. Das verbrannte Abgas wird dann über den weiteren Wärmetauscher 26 an die Umgebung 27 abgeführt.

**[0039]** Das Brennstoffzellensystem 1 gemäß Fig. 1a umfasst weiter einen Startbrenner 17, welchem sowohl Brennstoff aus der Brennstoffquelle 20 als auch Luft aus der Luftquelle 19 zugeführt werden. Der Startbrenner 17 ist zum Aufheizen des Brennstoffzellensystems 1 angeordnet und ausgebildet. Hierfür wird die Wärme beispielsweise direkt dem Oxidationskatalysator 15 (durchgezogenen Linie) oder der Abgasleitung 22 stromabwärts davon oder der Luftzuführleitung 5 oder der Kathodenabfuhrleitung 13 (jeweils dargestellt durch strichlierte Linien) zugeführt.

**[0040]** Darüber hinaus ist ein Reformer 18 zum Herstellen von Schutzgas durch katalytisch partielle Oxidation (CPOX-Reformer) vorgesehen. Auch diesem wird gemäß Fig. 1 sowohl Brennstoff als auch Luft zugeführt. Da es eine gewisse Light-off Temperatur braucht, um den CPOX-Reformer auf Betriebstemperatur zu bringen, ist eine Wärmezufuhr Q zum Reformer 18 vorgesehen. Durch den Reformer 18 bzw. die darin stattfindende Reaktion wird ein sogenanntes Schutzgas hergestellt welches beispielsweise stromaufwärts oder stromabwärts des Reformerswärmetauschers 16 zugeführt werden kann, um insbesondere den Brennstoffzellenstapel 2 zu schützen.

**[0041]** Fig. 1b zeigt ein weiteres erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 1. Elemente, welche die gleiche Funktion und insbesondere gleiche Anordnung wie jene gemäß Fig. 1a haben, haben auch die gleichen Bezugszeichen und werden nicht weiter beschrieben. Im Unterschied zur Fig. 1a ist beim Brennstoffzellensystem 1 gemäß Fig. 1b der Reformer 18 zum Herstellen von Schutzgas durch katalytisch partielle Oxidation nicht als separates Element ausgebildet und angeordnet, sondern in den Reformerteil des Reformerswärmetauschers 16 integriert. Hierfür ist der Reformerswärmetauscher 16 sowohl für CPOX als auch für Dampfreformierung ausgebildet.

**[0042]** In Fig. 2 ist ein weiteres erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 1 gezeigt. Auch hier haben Elemente, welche die gleiche Funktion und insbesondere gleiche Anordnung wie jene gemäß Fig. 1a oder 1b haben, die gleichen Bezugszeichen und werden nicht weiter beschrieben. Im Unterschied zu den Brennstoffzellensystemen 1 gemäß Fig. 1a und 1b ist hier die fluidische Verbindung 23 zwischen dem Brennstoffzuführabschnitt 12 und dem Rezirkulationsabschnitt 7 stromabwärts des zweiten Wärmetauschers 9 und stromaufwärts des Gebläses 10 angeordnet. Zur Vereinfachung sind in Fig. 2 der Startbrenner 17 und der CPOX-Reformer nicht dargestellt. Selbstverständlich kann jedoch auch das Brennstoffzellensystem 1 gemäß Fig. 2 diese Elemente umfassen.

**[0043]** Fig. 3 zeigt ist ein weiteres erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem 1. Auch hier haben Elemente, welche die gleiche Funktion und insbesondere gleiche Anordnung wie jene gemäß Fig. 1a, 1b oder 2 haben, die gleichen Bezugszeichen und werden nicht weiter beschrieben. Im Unterschied zu den Brennstoffzellensystemen 1 gemäß Fig. 1a und 1b und 2 ist hier die fluidische Verbindung 23 zwischen dem Brennstoffzuführabschnitt 12 und dem Rezirkulationsabschnitt 7 stromabwärts des Gebläses 10 und stromaufwärts des ersten Wärmetauschers 8 angeordnet. Zur Vereinfachung sind auch in Fig. 3 der Startbrenner 17 und der CPOX-Reformer nicht dargestellt. Selbstverständlich kann jedoch auch das Brennstoffzellensystem 1 gemäß Fig. 2 diese Elemente umfassen.

**[0044]** Zusammenfassend weist das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem insbesondere folgende Vorteile auf:

- Es können hohe Rezirkulationsraten mit Rezirkulationsgebläsen umgesetzt und die Temperatur am Einlass des Rezirkulationsgebläses auch auf sehr niedrigem Temperaturniveau geregelt werden;

- Aus dem Anodenpfad ausgekoppelte Wärme bleibt im System;
- Hohe Wirkungsgradanforderungen an den Brennstoff/Brennstoff-Wärmetauscher (erster Wärmetauscher 8) und den Luft/Luft-Wärmetauscher (weiterer Wärmetauscher 26) werden entschärft;
- Durch die Einbringung von frischem Brennstoff und die Umsetzung über das Rezirkulationsgebläse wird eine vorgeschaltete Verdichtung vom frischen Brennstoff zu vermeiden;
- Das Risiko von lokaler Kondensation vor dem Rezirkulationsgebläse und damit einhergehender Beschädigung des Rezirkulationsgebläses ist verringert.

## Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (1), insbesondere SOFC-System, umfassend zumindest einen Brennstoffzellenstapel (2) mit einem Anodenabschnitt (3) und einem Kathodenabschnitt (4), einen Luftzuführabschnitt (5), einen Brennstoffzuführabschnitt (6) und einen Rezirkulationsabschnitt (7), wobei im Rezirkulationsabschnitt (7) ein Wärmetauschernetzwerk mit zumindest einem ersten Wärmetauscher (8) und einem zweiten Wärmetauscher (9) vorgesehen ist, wobei der zweite Wärmetauscher (9) stromabwärts des ersten Wärmetauschers (8) angeordnet ist, wobei eine kalte Seite des ersten Wärmetauschers (8) im Brennstoffzuführabschnitt (6) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine kalte Seite des zweiten Wärmetauschers (9) im Luftzuführabschnitt (5) angeordnet ist, wobei im Luftzuführabschnitt (5) eine Bypassleitung (11) vorgesehen ist, durch welche die kalte Seite des zweiten Wärmetauschers (9) umgehbar ist.
2. Brennstoffzellensystem (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rezirkulationsabschnitt (7) ein Gebläse (10), insbesondere stromabwärts des zweiten Wärmetauschers (9), angeordnet ist.
3. Brennstoffzellensystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffzuführabschnitt (6) eine Brennstoffleitung (12) umfasst, wobei über die Brennstoffleitung (12) stromaufwärts des zweiten Wärmetauschers (9) Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt (7) zuführbar ist.
4. Brennstoffzellensystem (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffzuführabschnitt (6) eine Brennstoffleitung (12) umfasst, wobei über die Brennstoffleitung (12) zwischen dem zweiten Wärmetauscher (9) und dem Gebläse (10) Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt (6) zuführbar ist.
5. Brennstoffzellensystem (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoffzuführabschnitt (6) eine Brennstoffleitung (12) umfasst, wobei über die Brennstoffleitung (12) zwischen dem Gebläse (10) und dem ersten Wärmetauscher (8) Brennstoff dem Rezirkulationsabschnitt (7) zuführbar ist.
6. Brennstoffzellensystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kathodenabfuhrleitung (13) und eine Anodenabfuhrleitung (14) vorgesehen ist.
7. Brennstoffzellensystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts des Brennstoffzellenstapels (2) ein Oxidationskatalysator (15) angeordnet ist, wobei dem Oxidationskatalysator (15) ein Teil eines Abgases zuführbar ist.
8. Brennstoffzellensystem (1) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Reformerwärmetauscher (16) vorgesehen ist, wobei eine heiße Seite des Reformerwärmetauschers (16) in der Kathodenabfuhrleitung (13) angeordnet ist.
9. Brennstoffzellensystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Startbrenner (17) vorgesehen ist.
10. Brennstoffzellensystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Reformer (18) zum Herstellen von Schutzgas durch katalytisch partielle Oxidation vorgesehen ist.
11. Verwendung eines Brennstoffzellensystems (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 als stationäre Anlage oder in einem Kraftfahrzeug.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**

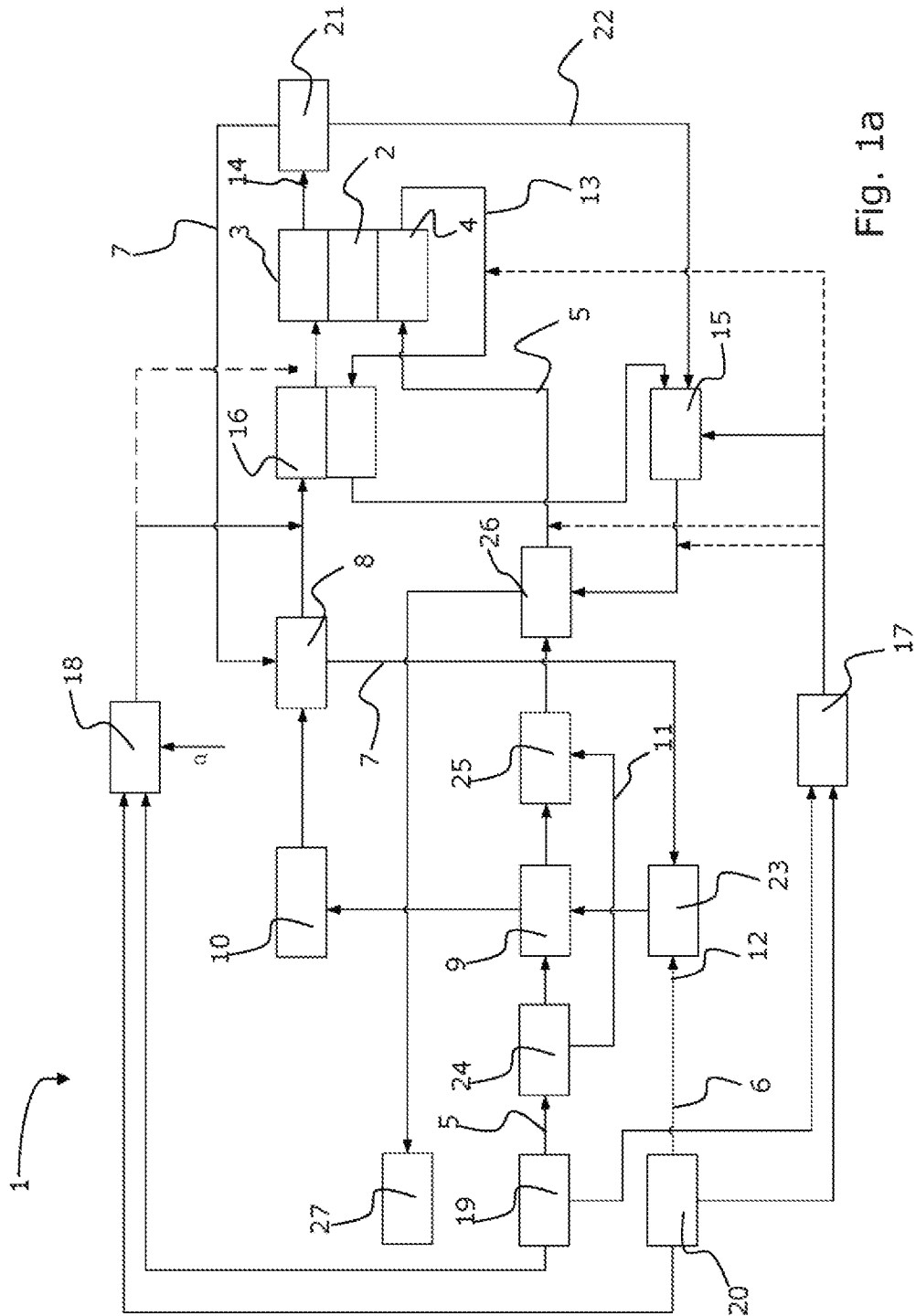


Fig. 1a

2/4

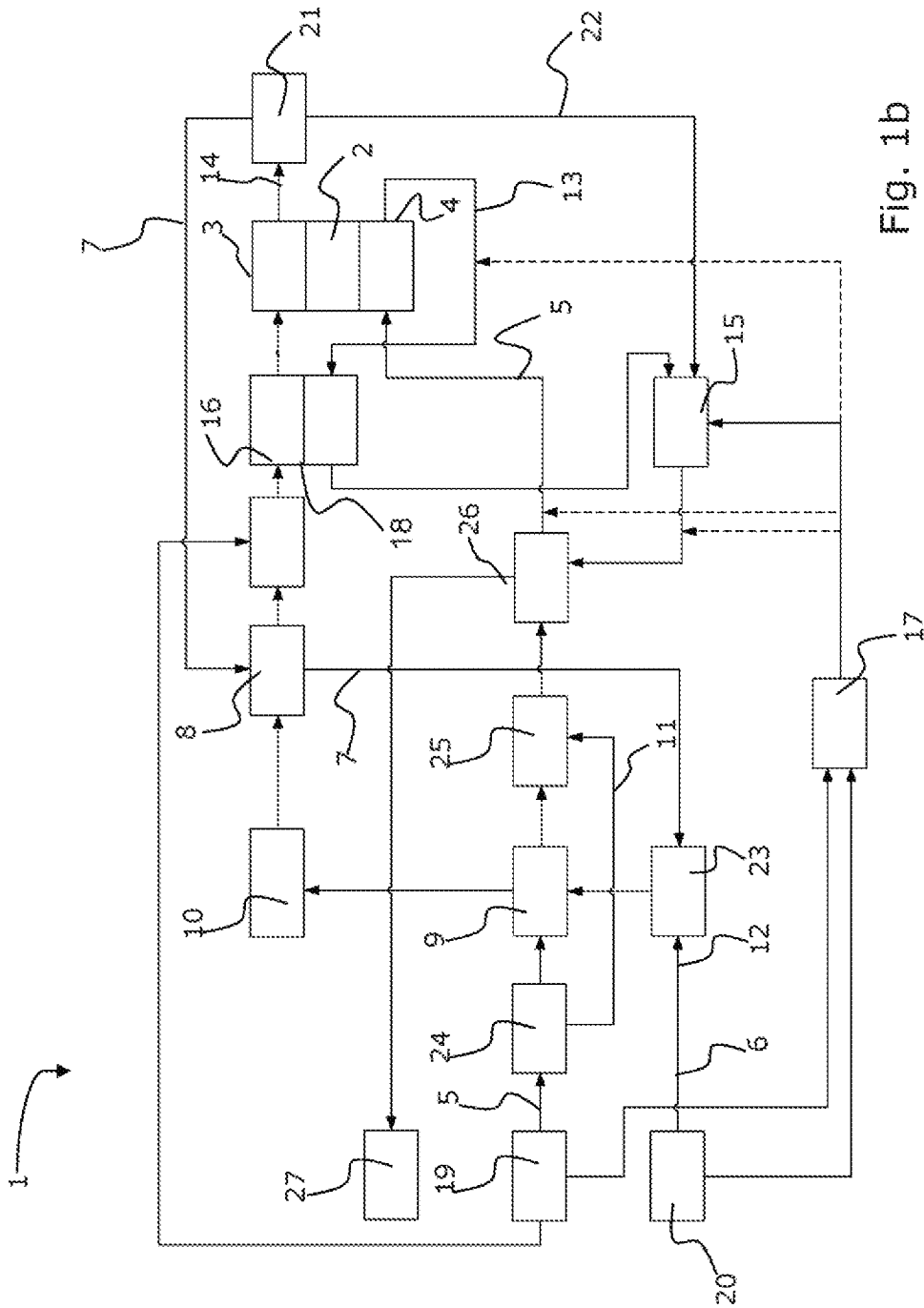


Fig. 1b



