

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50019/2020
(22) Anmeldetag: 14.01.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2022

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04014** (2016.01)
H01M 8/04007 (2016.01)
H01M 8/04223 (2016.01)
H01M 8/04225 (2016.01)
H01M 8/0612 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2019178627 A1
WO 2018189375 A1
DE 102009060679 A1

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

(72) Erfinder:
NEUBAUER Raphael Dr.
8010 Graz (AT)

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

(54) Aufheizvorrichtung für ein Aufheizen eines Brennstoffzellenstapels

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aufheizvorrichtung (10) für ein Aufheizen eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100) auf eine Betriebstemperatur, aufweisend ein Wärmetauschermodul (20) mit einer heißen Wärmetauscherseite (30) und einer kalten Wärmetauscherseite (40), welche miteinander in wärmeübertragendem Kontakt stehen, wobei die heiße Wärmetauscherseite (30) einen heißen Fluideingang (32) und einen heißen Fluidausgang (34) sowie die kalte Wärmetauscherseite (40) einen kalten Fluideingang (42) und einen kalten Fluidausgang (44) aufweisen, wobei weiter die kalte Wärmetauscherseite (40) einen katalytischen Reformierabschnitt (46) aufweist für ein zumindest teilweises Reformieren von durch die kalte Wärmetauscherseite (40) geführtem Brennstofffluid und die heiße Wärmetauscherseite (30) einen katalytischen Oxidationsabschnitt (36) aufweist für ein zumindest teilweises Oxidieren von durch die heiße Wärmetauscherseite (30) geführtem Stapelabgas des Brennstoffzellenstapels (110), wobei der Reformierabschnitt (46) und der Oxidationsabschnitt (36) auf zwei unterschiedlichen Seiten einer gemeinsamen Trennwand (22) angeordnet sind, welche die heiße Wärmetauscherseite (30) und die

kalte Wärmetauscherseite (40) voneinander trennt, und auf den unterschiedlichen Seiten der Trennwand (22) flächig überlappen, wobei der Reformierabschnitt (46) und der Oxidationsabschnitt (36) auf den unterschiedlichen Seiten der Trennwand (22) deckungsgleich sind.

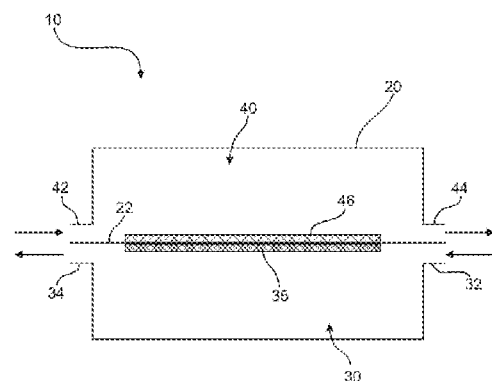


Fig. 1

Beschreibung

AUFHEIZVORRICHTUNG FÜR EIN AUFHEIZEN EINES BRENNSTOFFZELLENSTAPELS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aufheizvorrichtung für ein Aufheizen eines Brennstoffzellenstapels sowie ein Brennstoffzellensystem mit einer solchen Aufheizvorrichtung.

[0002] Es ist bekannt, dass Brennstoffzellenstapel eines Brennstoffzellensystems mit einer Anodenseite und einer Kathodenseite ausgestattet sind. Um das Brennstoffzellensystem und insbesondere den Brennstoffzellenstapel in einen Betriebsmodus zu versetzen, müssen die Anodenbereiche und die Kathodenbereiche und damit der gesamte Brennstoffzellenstapel aufgeheizt werden. Um diese Betriebstemperatur zu erreichen und dabei insbesondere katalytische Beschichtungen des Brennstoffzellenstapels zu schützen, sind bekannte Brennstoffzellensysteme mit sogenannten Startbrennern ausgestattet. Diese Startbrenner sind üblicherweise separate Brennvorrichtung, welche in der Lage sind ausschließlich oder im Wesentlichen ausschließlich während des Aufheizvorgangs betrieben zu werden. Über diese bekannten separaten Brennvorrichtungen wird es möglich Energie in Form von Wärme in den Brennstoffzellenstapel einzubringen und diesen auf diese Weise auf Betriebstemperatur zu bringen.

[0003] Vorrichtungen zum Aufheizen eines Brennstoffzellensystems sind weiter beispielsweise aus der WO 2019/178627 A1 und der WO 2018/189375 A1 bekannt.

[0004] Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass das Vorsehen eines separaten Startbrenners mit hohem konstruktivem Aufwand verbunden ist. Soll das Brennstoffzellensystem darüber hinaus insbesondere für einen mobilen Einsatz vorgesehen sein, ist durch den zusätzlichen Brenner ein Nachteil hinsichtlich der Komplexität, des Bauraums und darüber hinaus hinsichtlich des Gewichts gegeben. Nicht zuletzt wird durch die separate Vorrichtung eines separaten Startbrenners auch der Kostenaufwand für die Herstellung eines bekannten Brennstoffzellensystems erhöht.

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehenden Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung auf kostengünstige und einfache Weise den Aufheizvorgang des Brennstoffzellensystems zu ermöglichen oder zu verbessern, wobei die Komplexität des Brennstoffzellensystems reduziert werden soll.

[0006] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Aufheizvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einem Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 10 und einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15. 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 der erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem sowie dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, so dass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0007] Erfindungsgemäß ist eine Aufheizvorrichtung für ein Aufheizen eines Brennstoffzellenstapels eines Brennstoffzellensystems auf einer Betriebstemperatur ausgebildet. Diese Aufheizvorrichtung ist mit einem Wärmetauschermodul ausgestattet. Dieses Wärmetauschermodul weist eine heiße Wärmetauscherseite und eine kalte Wärmetauscherseite auf, welche miteinander in wärmeübertragendem Kontakt stehen. Die heiße Wärmetauscherseite ist dabei mit einem heißen Fluideingang und einem heißen Fluidausgang ausgestattet. In ähnlicher Weise weist die kalte Wärmetauscherseite einen kalten Fluideingang und einen kalten Fluidausgang auf. Die kalte Wärmetauscherseite ist darüber hinaus mit einem katalytischen Reformerschnitt ausgestattet, der ein zumindest teilweises Reformieren von durch die kalte Wärmetauscherseite geführtem Brennstofffluid erlaubt. Die heiße Wärmetauscherseite weist einen katalytischen Oxidationsabschnitt auf für ein zumindest teilweises Oxidieren von durch die heiße Wärmetauscherseite geführtem Stapelabgas des Brennstoffzellenstapels.

[0008] Erfindungsgemäß baut die Aufheizvorrichtung auf dem Kerngedanken auf, den Brennstoffzellenstapel eines Brennstoffzellensystems während einer Startphase auf Betriebstemperatur zu bringen. Um dieses Aufheizen zu gestalten ist eine Energiezufuhr notwendig. Diese Energiezufuhr wird nun durch zwei separate Energiequellen zur Verfügung gestellt. Die Hauptenergiequelle ist dabei der katalytische Reformerschnitt auf der kalten Wärmetauscherseite, welcher, wie dies später noch erläutert wird, mit der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels fluidkommunizierend verbunden ist. Im normalen Betrieb der Brennstoffzelle kann es sich hierbei um den katalytischen Reformerschnitt handeln, welcher ein Brennstofffluid reformiert und auf diese Weise zur Nutzung in dem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels aufbereitet. Die Betriebsweise des Reformerschnitts für den Aufheizbetrieb kann von dem regulären Betrieb jedoch abweichen, wie dies ebenfalls später noch erläutert wird. Durch das katalytische, exotherme Reformieren oder eine partielle Oxidation an der kalten Wärmetauscherseite wird das dem Anodenabschnitt zugeführte Gas in dieser kalten Wärmetauscherseite aufgeheizt, so dass das Gas als Wärmeträger die von dem katalytischen Reformerschnitt durch Katalyse hergestellten Wärme an den Brennstoffzellenstapel weiterleitet.

[0009] Um diesen katalytischen Aufheizprozess durchführen zu können ist es jedoch notwendig, dass der katalytische Reformerschnitt sich auf einer eigenen Reformer-Betriebstemperatur befindet. Unterhalb dieser Reformer-Betriebstemperatur ist die katalytische Aufheizfunktionalität nicht oder nur in geringerem Maße gegeben. An dieser Stelle wirkt erfindungsgemäß die heiße Wärmetauscherseite ebenfalls mit einer katalytischen Beschichtung, nämlich dem katalytischen Oxidationsabschnitt. Der katalytische Oxidationsabschnitt erlaubt es bei einer Oxidations-Betriebstemperatur die geringer als die Reformer-Betriebstemperatur ist, ebenfalls in katalytischer Weise durch Umsetzung von Stapelabgas oder Brennstoff des Brennstoffzellenstapels Wärme zu erzeugen.

[0010] Basierend auf der voranstehenden Erläuterung wird also ersichtlich, dass nun zwei voneinander separate Heizmöglichkeiten gegeben sind. Diese können gemeinsam oder auch sequentiell nacheinander ausgeführt werden. Um den Brennstoffzellenstapel auf seine Betriebstemperatur zu bringen, wird in einem ersten Schritt durch zumindest teilweises Oxidieren des Stapelabgases in der heißen Wärmetauscherseite an dem katalytischen Oxidationsabschnitt Wärme erzeugt. Diese Wärme wird durch den wärmeübertragenden Kontakt auf die kalte Wärmetauscherseite und dort insbesondere in den katalytischen Reformerschnitt übertragen. Damit wird es möglich durch katalytisches Oxidieren am katalytischen Oxidationsabschnitt den katalytischen Reformerschnitt aufzuheizen bis dieser seine Reformer-Betriebstemperatur hat. Ab diesem Zeitpunkt ist es nun möglich, dass der katalytische Reformerschnitt nun seinerseits Wärme durch katalytisches Reformieren des Brennstofffluides zur Verfügung stellt und in der bereits erläuterten Weise das weitere Aufheizen des Brennstoffzellenstapels übernimmt. Sobald nun der katalytische Reformerschnitt auf Reformer-Betriebstemperatur ist, kann die katalytische Oxidation am Oxidationsabschnitt reduziert oder sogar vollständig ausgeschaltet werden.

[0011] Wie aus der voranstehenden Erläuterung ersichtlich wird, ist nun ein komplexes Thermo-Management möglich, welches zum einen durch Temperaturregelung und zum anderen durch entsprechende Lambdaeinstellung an den beiden katalytisch wirkenden Abschnitten auf der kalten Wärmetauscherseite und der heißen Wärmetauscherseite eine definierte Heizregelung ermöglicht. Mit anderen Worten können nun in Abhängigkeit von unterschiedlichsten Eingangsparametern, zum Beispiel der Betriebssituation, der Außentemperatur oder der gewünschten Aufheizgeschwindigkeit des Brennstoffzellenstapels eine Vielzahl von Variablen eingestellt werden, und gleichzeitig und kompakter und einfacher Weise der Aufheizvorgang zur Verfügung gestellt werden.

[0012] Neben der einfachen und kostengünstigen Möglichkeit durch die Aufheizvorrichtung die Aufheizfunktionalität zu gewährleisten, kann auf einem separaten Startbrenner im Wesentlichen vollständig verzichtet werden.

[0013] Mit anderen Worten kann also die Aufheizvorrichtung und damit auch die Aufheizfunktionalität für den Startvorgang in ein Wärmetauschermodul des bestehenden Kreislaufs des Brenn-

stoffzellensystems integriert werden. Beispielsweise kann es sich, wie bereits erläutert worden ist, bei dem Reformerschnitt um den notwendigen Betriebs-Reformer des Brennstoffzellensystems handeln, welcher im Reformerschnitt oder zu Aufheizen im Starterschnitt eingesetzt wird. Mit anderen Worten wird nun das Wärmetauschermodul für die normale Betriebsweise als Wärmetauscher und Reformer verwendet, während für den Starterschnitt die beschriebenen Betriebsweisen für den Oxidationsabschnitt und den Reformerschnitt eingesetzt werden. Somit wird es zum einen möglich eine besonders kompakte und einfache Vorrichtung zum Starten des Brennstoffzellensystems zur Verfügung zu stellen und zum anderen eine zusätzliche Regelungsmöglichkeit durch die beiden separaten Wärmequellen in Form des Reformerschnitts und in Form des Oxidationsabschnitts zur Verfügung zu stellen.

[0014] Für die Funktionsweise sei noch darauf hingewiesen, dass es sich bei dem Stapelabgas zum Beispiel um Abgas bei der Anodenseite und/oder um Abgas von der Kathodenseite handeln kann. Selbstverständlich sind auch Mischungen der Gase von Anodenabgas und Kathodenabgas im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich. Auf der kalten Wärmetauscherseite wird insbesondere Brennstofffluid und Zuluft von der Außenseite des Brennstoffzellensystems zugeführt. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass weitere Heizvorrichtungen an dem Wärmetauschermodul vorgesehen oder in das Wärmetauschermodul integriert sind.

[0015] Es ist vorgesehen, dass bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung der Reformerschnitt und der Oxidationsabschnitt auf zwei unterschiedlichen Seiten einer gemeinsamen Trennwand angeordnet sind, welche die heiße Wärmetauscherseite und die kalte Wärmetauscherseite voneinander trennt. Eine solche Trennwand ist also die Wärmeübertragungswand zwischen den beiden Seiten des Wärmetauschermoduls. Die Anordnung von Reformerschnitt und Oxidationsabschnitt auf den beiden unterschiedlichen Seiten dieser Trennwand führt dazu, dass das Material zwischen Reformerschnitt und Oxidationsabschnitt reduziert wird. Neben einer Reduktion der Baugröße des Wärmetauschermoduls hat dies entscheidende Vorteile für den Wärmetransport. So ist der Weg den die Wärme, welche vom Oxidationsabschnitt produziert wird, zum Reformerschnitt zurücklegen muss, verringert. Der minimierte Weg führt zu einem geringeren Temperaturverlust und gleichzeitig zu einem schnelleren Aufheizen des Reformerschnitts durch den Oxidationsabschnitt. Selbstverständlich ist diese Wärmeübertragung auch bidirektional möglich, es kann also in anderen Betriebssituationen auch möglich sein, dass der Reformerschnitt den Oxidationsabschnitt durch entsprechenden Wärmetransfer aufheizt.

[0016] Weiter ist es vorgesehen, dass bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung der Reformerschnitt und der Oxidationsabschnitt auf den unterschiedlichen Seiten der Trennwand flächig überlappen und deckungsgleich sind. Darunter ist zu verstehen, dass Reformerschnitt und Oxidationsabschnitt sich zwar auf unterschiedlichen Seiten der Trennwand befinden, also voneinander gasdicht getrennt in den beiden unterschiedlichen Seiten des Wärmetauschermoduls, jedoch ihre flächigen Rückseiten an der jeweiligen Trennwand miteinander überlappen. Mit anderen Worten ist der Teil der Trennwand, welcher den Reformerschnitt trägt identisch mit dem Teil der Trennwand, welcher auf der gegenüberliegenden Seite der Trennwand den Oxidationsabschnitt trägt. Eine Identität führt zur Deckungsgleichheit der beiden Abschnitte, eine zumindest teilweise Identität zu einem entsprechend flächigen Überlappen. Auf diese Weise wird unnötige Katalysatorfläche vermieden und durch die maximierte Überdeckung die Temperaturtransfermöglichkeit zwischen dem Reformerschnitt und dem Oxidationsabschnitt verstärkt. Der gesamte Bauraum wird reduziert und die Möglichkeit einer weiteren Verkleinerung der Baugröße des Wärmetauschermoduls möglich.

[0017] Ebenfalls von Vorteil kann es sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung das Wärmetauschermodul als Plattenwärmetauscher ausgebildet ist. Dabei handelt es sich um eine besonders einfache und kostengünstige Möglichkeit das Wärmetauschermodul zur Verfügung zu stellen. Insbesondere führt dies zu einer besonders kompakten Bauform und maximiert auf diese Weise die bereits mehrfach erläuterten Vorteile der vorliegenden Erfindung. Die bereits beschriebene Trennwand einiger Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann dabei die entsprechende Trennplatte des Plattenwärmetauschers sein. Dabei ist es selbstverständlich möglich, dass ein solcher Plattenwärmetauscher auch mehrstufig ausgebildet ist.

[0018] Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung die heiße Wärmetauscherseite und die kalte Wärmetauscherseite für einen Betrieb im Gegenstrom ausgerichtet sind. Das bedeutet, dass der kalte Fluideingang auf der gleichen Seite des Wärmetauschermoduls wie der heiße Fluidausgang und der kalte Fluidausgang auf der gleichen Seite wie der heiße Fluideingang angeordnet ist. Der Bezug auf die Fluideingänge und die Fluidausgänge für einen Gegenstrom führt zu einem weiter verbesserten Wärmeaustausch in allen Betriebsweisen, insbesondere jedoch im Starterbetrieb während des Aufheizvorgangs. Für diesen Gegenstrom sind die beiden Wärmetauscherseiten und insbesondere alle Fluideingänge und Fluidausgänge vorzugsweise auch für ähnliche und insbesondere identische Volumenstöße der jeweils geförderten Gase in dem Wärmetauschermodul ausgebildet.

[0019] Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung der heiße Fluideingang der heißen Wärmetauscherseite wenigstens eines der folgenden Stapelabgase zuführt:

- Anodenabgas
- Kathodenabgas
- Mischgas aus Anodenabgas und Kathodenabgas

[0020] Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich kann auch eine Kombination mit weiteren Gasen, insbesondere mit einer zusätzlichen Zufuhr von Brennstofffluid denkbar sein. Die Variation ist dabei während des Betriebs und insbesondere in Abhängigkeit von der Betriebsweise möglich, so dass beispielsweise unterschiedliche stöchiometrische Situationen mit unterschiedlichen Lambdawerten sowohl auf der heißen Wärmetauscherseite als auch auf der kalten Wärmetauscherseite einstellbar sind. Dabei kann es sich um qualitative, wie auch um quantitative Einstellungsmöglichkeiten für die beschriebenen Mischverhältnisse handeln.

[0021] Vorteilhaft ist es darüber hinaus, wenn bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung ein Zusatzbrenner für ein zusätzliches Aufheizen des Oxidationsabschnitts der heißen Wärmetauscherseite vorgesehen ist, insbesondere in und/oder an der heißen Wärmetauscherseite angeordnet ist. Ein Zusatzbrenner kann dabei in unterschiedlichster Weise ausgebildet sein und erlaubt es den Oxidationsabschnitt auf seine Oxidations-Betriebstemperatur zu bringen. Befindet sich ein Brennstoffzellensystem in einem Temperaturbereich, welcher unterhalb der Oxidationstemperatur des Oxidationsabschnitts liegt, so würde ein Aufheizen in der erfindungsgemäßen Weise unter erschwerten Bedingungen erfolgen. Mit Hilfe eines Zusatzbrenners wird es also möglich auch bei einem Oxidationsabschnitt mit erhöhter Oxidations-Betriebstemperatur die erfindungsgemäßen Vorteile zu erreichen. Dieser Zusatzbrenner ist aber im Vergleich zu den üblichen bekannten Startbrennern deutlich kleiner ausgestaltet, da er deutlich geringere Temperaturdifferenzen überwinden muss und nur lokal auf die Aufheizvorrichtung wirkt, insbesondere den Oxidationsabschnitt und/oder den Reformersabschnitt. Beispielsweise reicht es aus, wenn der Zusatzbrenner den Oxidationsabschnitt zum Beispiel auf eine Oxidations-Betriebstemperatur von circa 250 °C bringt. Während bekannte Startbrenner den gesamten Brennstoffzellenstapel aufheizen mussten, kann nach Erreichen der Oxidations-Betriebstemperatur der Zusatzbrenner ausgeschaltet werden, da das weitere Aufheizen, also die zweite Aufheizstufe, nun durch den Oxidationsabschnitt übernommen wird. In der dritten Aufheizstufe ist der Reformersabschnitt aktiviert und kann in der beschriebenen Weise das Aufheizen des gesamten Brennstoffzellensystems zur Verfügung stellen.

[0022] Vorteilhaft dabei ist es, wenn bei einer Aufheizvorrichtung gemäß dem voranstehenden Absatz der Zusatzbrenner wenigstens eine der folgenden Vorrichtungen aufweist:

- Zusatz-Oxidationskatalysator, insbesondere elektrisch beheizt
- Flammenbrenner
- Hybridbrenner
- Elektrische Heizvorrichtung

[0023] Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Während bekannte Flammenbrenner und bekannte katalytische Oxidationskatalysatoren zum Beispiel zu einem Hybridbrenner kombiniert werden können, ist es grundsätzlich auch möglich eine elektrische Heizvorrichtung direkt in den katalytischen Oxidationsabschnitt zu integrieren. Selbstverständlich sind auch Kombinationen unterschiedlicher Zusatzbrenner für unterschiedliche Betriebstemperaturen des Oxidationsabschnitts im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich.

[0024] Ebenfalls von Vorteil kann es sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung der Reformerabschnitt für einen unstöchiometrischen Betrieb ausgebildet ist, insbesondere einen CPOX Betrieb. Ein CPOX Betrieb ist der Betrieb in sogenannter Catalytic Partial Oxidation. Das bedeutet, dass nur teilweise eine Reformierung des zugeführten Brennstoffs erfolgt. Ein solcher CPOX Betrieb erlaubt es eine verschlechterte Umsetzung bezogen auf die normale Betriebsweise des Brennstoffzellensystems für das Brennstofffluid zur Verfügung zu stellen. Diese für den normalen Betrieb schlechtere Umsetzung führt jedoch dazu, dass eine Atmosphäre erzeugt wird, welche insbesondere sauerstoffarm und damit reduzierend ausgebildet ist. Für den Aufheizbetrieb muss in sicherer Weise die Anode vor unerwünschter Oxidation der dort befindlichen katalytischen Schicht geschützt werden. Der CPOX Betrieb des Reformerabschnitts führt dazu, dass ein Schutzgas mit einer reduzierenden Atmosphäre hergestellt wird, welches diese Schutzfunktion gewährleisten kann.

[0025] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem aufweisend:

- zumindest einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt,
- einen Anodenzuführabschnitt zum Zuführen von reformiertem Anodenzuführgas von einem Reformer zu dem Anodenabschnitt,
- einen Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas zum Kathodenabschnitt,
- einen Reformer zum Reformieren von Reformierzuführgas,
- einen Reformierzuführabschnitt zum Zuführen des Reformierzuführgases zum Reformer,
- einen Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas,
- einen Kathodenabführabschnitt zum Abführen von Kathodenabgas,

wobei der Reformer zumindest abschnittsweise als Aufheizvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet ist. Weiter ist der heiße Fluideingang der heißen Wärmetauscherseite mit dem Anodenabführabschnitt und/oder mit dem Kathodenabführabschnitt in fluidkommunizierender Verbindung ausgestaltet. Der kalte Fluidausgang der kalten Wärmetauscherseite steht in fluidkommunizierender Verbindung mit dem Anodenzuführabschnitt. Alternativ dazu kann der heiße Fluideingang der heißen Wärmetauscherseite auch mit dem Frischluftpfad verbunden sein.

[0026] Durch die Verwendung einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung und die entsprechende Einbindung in das Brennstoffzellensystem werden die gleichen Vorteile erzielt, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Aufheizvorrichtung erläutert worden sind. Selbstverständlich können beliebige Rezirkulations- und Querverbindungsmöglichkeiten für die Rezirkulation einzelner Abgase oder das Bypasszuführen von Brennstofffluid oder Luft vorgesehen sein.

[0027] Es ist weiter von Vorteil, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem der Kathodenabführabschnitt und der Anodenabführabschnitt mit dem heißen Fluideingang der heißen Wärmetauscherseite fluidkommunizierend verbunden sind. Mit anderen Worten können die beiden Abgasmöglichkeiten miteinander kombiniert werden. Eine Mischung ist zum Beispiel in qualitativer und/oder quantitativer Weise möglich. Auch die Kombination mit weiteren Gasen, insbesondere von zusätzlicher Luft oder von Brennstofffluid ist hier grundsätzlich denkbar.

[0028] Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem ein Luftzuführanschluss ausgebildet ist mit mindestens einem der folgenden Luftzuführabschnitte:

- Reformers-Luftzuführabschnitt zum kalten Fluideinlass der kalten Wärmetauscherseite
- Kathoden-Luftzuführabschnitt zum Kathoden-Zuführabschnitt
- Oxidations-Luftzuführabschnitt zum heißen Fluideinlass der heißen Wärmetauscherseite

[0029] Selbstverständlich können einzelne Luftzuführabschnitte auch miteinander in einer Ausführungsform kombiniert sein. Die Zufuhr von Luft direkt in den Zusatzbrenner, also als Oxidations-Luftzuführabschnitt erlaubt es am heißen Fluideinlass direkt oder indirekt über einer separate Mischvorrichtung dort Luft zur Verfügung zu stellen. Die Luft kann über die einzelnen Luftzuführabschnitte auch durch einen eigenen Luft-Wärmetauscher vorgeheizt werden.

[0030] Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem ein Brennstoffzellenanschluss vorgesehen ist mit einem Brennstoff-Zuführabschnitt zum kalten Fluideinlass der kalten Wärmetauscherseite und insbesondere mit einem Brennstoff-Bypassabschnitt zu dem heißen Fluideinlass der heißen Wärmetauscherseite. Die Einbringung kann dabei direkt in die heiße Wärmetauscherseite oder aber über einen Zusatzbrenner erfolgen. Das Einbringen ist grundsätzlich auch über die bereits angesprochenen Mischvorrichtungen denkbar. Damit wird es möglich Brennstofffluid für ein zusätzliches Aufheizen, zum Beispiel auch in einem Zusatzbrenner zur Verfügung zu stellen. Eine breitere Kontrolle von Lambdawerten und Betriebstemperaturen wird auf diese Weise erzielbar.

[0031] Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem mit dem heißen Fluidausgang der heißen Wärmetauscherseite ein Zusatzkatalysator zur katalytischen Oxidation fluidkommunizierend verbunden ist. Ein solcher Zusatzkatalysator kann auch als separater Nachbrenner bezeichnet werden und insbesondere eine Nachbrennerfunktion des katalytischen Oxidationsabschnitts ergänzen. Auch kann auf diese Weise ein weiterer Wärmetauscher, insbesondere ein weiterer Luft-Wärmetauscher bedient werden.

[0032] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren für ein Aufheizen eines Brennstoffzellensystems gemäß der vorliegenden Erfindung, aufweisend die folgenden Schritte:

- Aufheizen des Oxidationsabschnitts der heißen Wärmetauscherseite auf eine Oxidations-Betriebstemperatur, insbesondere mittels eines Zusatzbrenners,
- Aufheizen des Reformersabschnitts der kalten Wärmetauscherseite mittels exothermer Oxidation und Oxidationsabschnitt durch Wärmeübertragung von der heißen Wärmetauscherseite auf die kalte Wärmetauscherseite auf eine Reformer-Betriebstemperatur,
- Aufheizen des Brennstoffzellenstapels durch Reformation von Brennstofffluid am Reformersabschnitt der kalten Wärmetauscherseite.

[0033] Damit bringt ein erfindungsgemäßes Verfahren die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug für ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem und mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Aufheizvorrichtung erläutert worden sind. Die Reformer-Betriebstemperatur liegt dabei vorzugsweise oberhalb der Oxidations-Betriebstemperatur. Bevorzugt ist eine Stapel-Betriebstemperatur ausgebildet, auf welche das Brennstoffzellensystem aufgeheizt werden soll, welche wiederum höher als die Reformer-Betriebstemperatur ausgelegt ist. Insbesondere kann nach Erreichen der Oxidations-Betriebstemperatur ein Zusatzbrenner ausgeschaltet werden und nach Erreichen der Reformer-Betriebstemperatur die Oxidation am Oxidationsabschnitt zurückgefahren werden. Damit können die unterschiedlichen Betriebsweisen umgeschaltet und auf diese Weise die erfindungsgemäßen Vorteile noch besser erzielt werden.

[0034] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

- [0035] Fig. 1 Eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung,
[0036] Fig. 2 Eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung,
[0037] Fig. 3 Eine Ausführungsform eines Brennstoffzellensystems,
[0038] Fig. 4 Eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems und
[0039] Fig. 5 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

[0040] Anhand von Figur 1 wird grundsätzlich die Funktion einer erfindungsgemäßen Aufheizvorrichtung 10 erläutert. Diese ist hier als Wärmetauschermodul 20 ausgebildet, zum Beispiel in Form eines Plattenwärmetauschers. Das Wärmetauschermodul 20 weist eine heiße Wärmetauscherseite 30, hier in Figur 1 unten dargestellt, und eine kalte Wärmetauscherseite 40 auf. Um die beiden Wärmetauscherseiten 30 und 40 mit Fluid zu versorgen sind beide Seiten mit Eingängen 32 und 42 und Ausgängen 34 und 44 versehen. Wie der Figur 1 gut zu entnehmen ist, ist auf der Seite des kalten Fluideingangs 42 der heiße Fluidausgang 34 vorgesehen und umgekehrt auf der Seite des kalten Fluidausgangs 44 der heiße Fluideingang 32. Mit anderen Worten handelt es sich bei dieser Aufheizvorrichtung 10 um ein Wärmetauschermodul 20 für den Gegenstrombetrieb.

[0041] Um nun die verschiedenen Aufheizmöglichkeiten zu gewährleisten ist in der heißen Wärmetauscherseite 30 ein katalytischer Oxidationsabschnitt 36 vorgesehen, während in der kalten Wärmetauscherseite 40 der katalytische Reformerschnitt 46 ausgebildet ist. Damit können zwei Aufheizzschritte gewährleistet werden. Durch oxidatives Umsetzen von entsprechendem Stapelabgas eines Brennstoffzellenstapels 110 an dem Oxidationsabschnitt 36 kann über die Trennwand 22 durch Wärmeleitung Wärme auf den Reformerschnitt 46 übertragen werden. Dieser heizt sich auf diese Weise auf und kann somit selbst seine eigene Reformers-Betriebstemperatur erreichen. Sobald dies der Fall ist, kann eine reformierende Umsetzung innerhalb der kalten Wärmetauscherseite 40 erfolgen, so dass dort eine Mischung aus Luft und Brennstofffluid reformiert und damit ebenfalls aufgeheizt wird. Das durch den kalten Fluidausgang 44 ausströmende Gas ist somit aufgeheizt und dient dazu die nachfolgenden Komponenten, insbesondere den Brennstoffzellenstapel 110 weiter aufzuheizen.

[0042] Bei der Ausführungsform der Figur 1 ist gut zu erkennen, dass auf den beiden Seiten der Trennwand 22 der Oxidationsabschnitt 36 und der Reformerschnitt 46 miteinander deckungsgleich ausgebildet sind. Somit kann die komplette Wärme, welche durch den Oxidationsabschnitt 36 bei der Oxidation erzeugt wird mit sehr kurzem Transferweg über die Trennwand 22 direkt in den Reformerschnitt 46 übertragen werden. Jedoch sind grundsätzlich auch andere Ausführungsformen denkbar, wie dies zum Beispiel die nachfolgende Figur 2 zeigt.

[0043] So ist in der Figur 2 eine grundsätzliche Möglichkeit dargestellt auch mit zueinander versetzten Oxidationsabschnitten 36 und Reformerschnitten 46 zu arbeiten. Im weiteren Unterschied zu der Figur 1 ist bei der Ausführungsform der Figur 2 auch ein Gleichstrombetrieb zwischen der heißen Wärmetauscherseite 30 und der kalten Wärmetauscherseite 40 gegeben. Um bei dieser Ausführungsform den Oxidationsabschnitt 36 auf seine Oxidations-Betriebstemperatur zu bringen ist ein Zusatzbrenner 50 in die heiße Wärmetauscherseite 30 integriert. Somit kann noch vor Beginn der Oxidationsumsetzung in der heißen Wärmetauscherseite 30 der Zusatzbrenner 50 ein Aufheizen des Oxidationsabschnitts auf seine Oxidations-Betriebstemperatur mit sich bringen, um auf diese Weise den Oxidationsprozess durchführen zu können. Anschließend wird in der zweiten Stufe die Oxidation ein Aufheizen auf die Reformers-Betriebstemperatur ermöglichen, so dass abschließend in der dritten Stufe der Reformerschnitt 46 die gewünschte Aufheizung des gesamten Brennstoffzellenstapels 110 mit sich bringt.

[0044] Die Figuren 4 und 5 zeigen drei Ausführungsvarianten eines Brennstoffzellensystems 1. Figur 4 zeigt dabei eine Variante mit einem Brennstoffzellenstapel 110, welcher über einen Anodenabschnitt 112 und einen Kathodenabschnitt 114 verfügt. Der Anodenabschnitt 112 ist über einen Anodenzuführabschnitt 120 mit einem Anodenzuführgas versorgbar und kann über einen

Anodenabführabschnitt 122 das Anodenabgas abführen. In ähnlicher Weise kann der Kathodenabschnitt 114 über einen Kathodenzuführabschnitt 140 mit Kathodenzuführgas versorgt und mit einem Kathodenabführabschnitt 142 das Kathodenabgas wieder abgeführt werden.

[0045] Für einen Aufheizvorgang ist nun innerhalb eines Reformers 130 eine Aufheizvorrichtung 10 gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet. Der Reformer 130 ist hier also als Wärmetauschermodul 20 ausgebildet mit einer heißen Seite 30 und einer kalten Seite 40. Die kalte Seite 40 wird dabei von einem Brennstoffanschluss 160 über den Reformierzuführabschnitt 132 mit Brennstofffluid versorgt. Zusätzlich ist es auch möglich, zum Beispiel von einem Luftzuführanschluss 150 und dort über einen Reformer-Luftzuführabschnitt 152 Luft in die kalte Wärmetauscherseite 40 einzubringen. Um eine formierende Umsetzung in der kalten Wärmetauscherseite 40 zur Verfügung stellen zu können ist eine heiße Wärmetauscherseite 30 mit dem entsprechenden Oxidationsabschnitt 36 ausgestaltet. Darüber hinaus ist eine direkte Anordnung eines Zusatzbrenners 50 vorgesehen, auch um auf der heißen Wärmetauscherseite 30 den Oxidationsabschnitt 36 auf die gewünschte Betriebstemperatur zu bringen.

[0046] Die Einbindung des Reformers 130 in das Brennstoffzellensystem 100 ist dabei wie folgt. Von einem Brennstoffanschluss 160 wird es möglich über den Brennstoff-Zuführabschnitt den Brennstoff hier über eine Mischvorrichtung in die kalte Wärmetauscherseite 40 einzubringen. In einem Aufheizbetrieb findet dort nach Erreichen der Reformer-Betriebstemperatur eine unstöchiometrische CPOX Umsetzung statt, um anschließend mit dem Anodenzuführgas über den Anodenzuführabschnitt 120 den Brennstoffzellenstapel 110 aufzuheizen und gleichzeitig die Anode vor Oxidation zu schützen. Auf der anderen Seite des Brennstoffzellenstapels ist zu erkennen, dass nun das Kathodenabgas aus dem Kathodenabführabschnitt 142 über eine Mischvorrichtung in den Zusatzbrenner 50 eingebracht und dort der heißen Wärmetauscherseite 30 zur Verfügung gestellt wird. Über einen Oxidations-Luftzuführabschnitt 156 kann hier ebenfalls Luft in die Mischvorrichtung oder sogar direkt in den Zusatzbrenner 50 eingebracht werden, um auch hier den Lambdawert in der heißen Wärmetauscherseite 30 aktiv beeinflussen zu können. Fluidtechnisch nachgelagert der heißen Wärmetauscherseite 30 ist nochmals ein Zusatzkatalysator 170 sowie ein Luft-Wärmetauscher 180, um vor dem Erreichen des Abgasauslasses 190 möglichst viel an Wärme in das Brennstoffzellensystem 100 zurückzuhalten und wiederzuverwenden.

[0047] Ebenfalls ist noch zu erkennen, dass ausgehend von dem Brennstoffanschluss 160 über einen Brennstoff-Bypassabschnitt 164 dieser Brennstoff in eine Mischvorrichtung vor dem Zusatzbrenner 50 eingebracht werden kann, um zum Beispiel für den Betrieb des Zusatzbrenners 50, aber auch für den oxidativen Betrieb des Oxidationsabschnitts 36 in der heißen Wärmetauscherseite 30 zur Verfügung zu stehen.

[0048] Die Figur 5 basiert auf den grundsätzlichen Ausführungen zur Figur 4. Jedoch sind hier kleinere Unterschiede vorgesehen. So ist es hier möglich in einem Mischbereich vor dem Zusatzbrenner 50 auch einen Teil des Anodenabgases aus dem Anodenabführabschnitt 122 der heißen Wärmetauscherseite 30 über den Zusatzbrenner 50 zur Verfügung zu stellen. Der Mischabschnitt kann dabei sowohl qualitativ als auch quantitativ ausgebildet sein. Bei dieser Ausführungsform ist im Vergleich zu der Ausführungsform der Figur 4 auf den Zusatzkatalysator 170 verzichtet worden. Ansonsten gelten hier die gleichen Vorteile, wie sie mit Bezug zur Figur 4 erläutert worden sind.

[0049] Die Figur 3 zeigt ein nicht von der Erfindung umfasstes Ausführungsbeispiel mit einer Variante für die Führung der Gase. So wird bei hier die heiße Wärmetauscherseite 30 mit Brennstoff vom Brennstoffanschluss 160, mit Luft vom Luftzuführanschluss 150 oder mit einer Mischung aus Brennstoff und Luft versorgt. Die Luft kann dabei entweder direkt einem Zusatzbrenner 50 am heißen Fluideingang 34 der heißen Wärmetauscherseite 30 zugeführt werden oder über einen Luftwärmetauscher geführt mit dem Brennstoff vor dem Zusatzbrenner vermischt werden. In der Figur 3 ist diese Variante im Gleichstrom in der Aufheizvorrichtung 10 dargestellt. Selbstverständlich kann die heiße Wärmetauscherseite 30 auch im Gegenstrom oder im Kreuzstrom zur kalten Wärmetauscherseite 40 geführt sein. Auch ist grundsätzlich eine Schaltbarkeit zwischen Gleichstrom und Gegenstrom denkbar. Diese Variante ist sehr vorteilhaft, da dabei das Brennstoffzel-

lensystem 100 schnell und effizient auf eine Betriebstemperatur gebracht werden kann. Dadurch kann der Betrieb des Zusatzbrenners 50 bereits nach einer kurzen Zeitspanne eingestellt werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Aufheizvorrichtung
- 20 Wärmetauschermodul
- 22 Trennwand
- 30 heiße Wärmetauscherseite
- 32 heißer Fluideingang
- 34 heißer Fluidausgang
- 36 Oxidationsabschnitt
- 40 kalte Wärmetauscherseite
- 42 kalter Fluideingang
- 44 kalter Fluidausgang
- 46 Reformersabschnitt
- 50 Zusatzbrenner

- 100 Brennstoffzellensystem
- 110 Brennstoffzellenstapel
- 112 Anodenabschnitt
- 114 Kathodenabschnitt
- 120 Anodenzuführabschnitt
- 122 Anodenabführabschnitt
- 130 Reformer
- 132 Reformerszuführabschnitt
- 140 Kathodenzuführabschnitt
- 142 Kathodenabführabschnitt
- 150 Luftzuführanschluss
- 152 Reformer-Luftzuführabschnitt
- 154 Kathoden-Luftzuführabschnitt
- 156 Oxidations-Luftzuführabschnitt
- 160 Brennstoffanschluss
- 162 Brennstoff-Zuführabschnitt
- 164 Brennstoff-Bypassabschnitt
- 170 Zusatzkatalysator
- 180 Luft-Wärmetauscher
- 190 Abgasauslass

Patentansprüche

1. Aufheizvorrichtung (10) für ein Aufheizen eines Brennstoffzellenstapels (110) eines Brennstoffzellensystems (100) auf eine Betriebstemperatur, aufweisend ein Wärmetauschermodul (20) mit einer heißen Wärmetauscherseite (30) und einer kalten Wärmetauscherseite (40), welche miteinander in wärmeübertragendem Kontakt stehen, wobei die heiße Wärmetauscherseite (30) einen heißen Fluideingang (32) und einen heißen Fluidausgang (34) sowie die kalte Wärmetauscherseite (40) einen kalten Fluideingang (42) und einen kalten Fluidausgang (44) aufweisen, wobei weiter die kalte Wärmetauscherseite (40) einen katalytischen Reformerabschnitt (46) aufweist für ein zumindest teilweises Reformieren von durch die kalte Wärmetauscherseite (40) geführtem Brennstofffluid und die heiße Wärmetauscherseite (30) einen katalytischen Oxidationsabschnitt (36) aufweist für ein zumindest teilweises Oxidieren von durch die heiße Wärmetauscherseite (30) geführtem Stapelabgas des Brennstoffzellenstapels (110), wobei der Reformerabschnitt (46) und der Oxidationsabschnitt (36) auf zwei unterschiedlichen Seiten einer gemeinsamen Trennwand (22) angeordnet sind, welche die heiße Wärmetauscherseite (30) und die kalte Wärmetauscherseite (40) voneinander trennt, und auf den unterschiedlichen Seiten der Trennwand (22) flächig überlappen, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reformerabschnitt (46) und der Oxidationsabschnitt (36) auf den unterschiedlichen Seiten der Trennwand (22) deckungsgleich sind.
2. Aufheizvorrichtung (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmetauschermodul (20) als Plattenwärmetauscher ausgebildet ist.
3. Aufheizvorrichtung (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die heiße Wärmetauscherseite (30) und die kalte Wärmetauscherseite (40) für einen Betrieb im Gegenstrom ausgerichtet sind.
4. Aufheizvorrichtung (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der heiße Fluideingang (32) der heißen Wärmetauscherseite (30) wenigstens eines der folgenden Stapelabgase zuführt:
 - Anodenabgas
 - Kathodenabgas
 - Mischgas aus Anodenabgas und Kathodenabgas
5. Aufheizvorrichtung (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Zusatzbrenner (50) für ein zusätzliches Aufheizen des Oxidationsabschnitts (36) der heißen Wärmetauscherseite (30) vorgesehen ist, insbesondere in und/oder an der heißen Wärmetauscherseite (30) angeordnet ist.
6. Aufheizvorrichtung (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zusatzbrenner (50) wenigstens eine der folgenden Vorrichtungen aufweist:
 - Zusatz-Oxidationskatalysator, insbesondere elektrisch beheizt
 - Flammenbrenner
 - Hybridbrenner
 - Elektrische Heizvorrichtung
7. Aufheizvorrichtung (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reformerabschnitt (46) für einen unstöchiometrischen Betrieb ausgebildet ist, insbesondere einen CPOX Betrieb.
8. Brennstoffzellensystem (100), aufweisend
 - zumindest einen Brennstoffzellenstapel (110) mit einem Anodenabschnitt (112) und einem Kathodenabschnitt (114),
 - einen Anodenzuführabschnitt (120) zum Zuführen von reformierten Anodenzuführgas von einem Reformer (130) zu dem Anodenabschnitt (112),

- einen Kathodenzuführabschnitt (140) zum Zuführen von Kathodenzuführgas zum Kathodenabschnitt (114),
- einen Reformer (130) zum Reformieren von Reformierzuführgas,
- einen Reformierzuführabschnitt (132) zum Zuführen des Reformierzuführgases zum Reformer (130),
- einen Anodenabführabschnitt (122) zum Abführen von Anodenabgas,
- einen Kathodenabführabschnitt (142) zum Abführen von Kathodenabgas,

dadurch gekennzeichnet, dass der Reformer (130) zumindest abschnittsweise als Aufheizvorrichtung (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist, wobei weiter der heiße Fluid Eingang (32) der heißen Wärmetauscherseite (30) mit dem Anodenabführabschnitt (122) und/oder mit dem Kathodenabführabschnitt (142) in fluidkommunizierender Verbindung steht und der kalte Fluidausgang (44) der kalten Wärmetauscherseite (40) mit dem Anodenzuführabschnitt (120) in fluidkommunizierender Verbindung steht.

9. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kathodenabführabschnitt (142) und der Anodenabführabschnitt (122) mit dem heißen Fluid Eingang (32) der heißen Wärmetauscherseite (30) fluidkommunizierend verbunden sind.
10. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Luftzuführanschluss (150) ausgebildet ist mit wenigstens einem folgenden Luftzuführabschnitte:
 - Reformer-Luftzuführabschnitt (152) zum kalten Fluideinlass (42) der kalten Wärmetauscherseite (40)
 - Kathoden-Luftzuführabschnitt (154) zum Kathodenzuführabschnitt (140)
 - Oxidations-Luftzuführabschnitt (156) zum heißen Fluideinlass (32) der heißen Wärmetauscherseite (30)
11. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Brennstoffanschluss (160) vorgesehen ist mit einem Brennstoff-Zuführabschnitt (162) zum kalten Fluideinlass (42) der kalten Wärmetauscherseite (40) und insbesondere mit einem Brennstoff-Bypassabschnitt (164) zu dem heißen Fluideinlass (32) der heißen Wärmetauscherseite (30).
12. Brennstoffzellensystem (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem heißen Fluidausgang (34) der heißen Wärmetauscherseite (30) ein Zusatzkatalysator (170) zur katalytischen Oxidation fluidkommunizierend verbunden ist.
13. Verfahren für ein Aufheizen eines Brennstoffzellensystem (100) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 9 bis 12, aufweisend die folgenden Schritte:
 - Aufheizen des Oxidationsabschnitts (36) der heißen Wärmetauscherseite (30) auf eine Oxidations-Betriebstemperatur, insbesondere mittels eines Zusatzbrenners (50),
 - Aufheizen des Reformerschnitts (46) der kalten Wärmetauscherseite (40) mittels exothermer Oxidation am Oxidationsabschnitt (36) und durch Wärmeübertragung von der heißen Wärmetauscherseite (30) auf die kalte Wärmetauscherseite (40) auf eine Reformer-Betriebstemperatur,
 - Aufheizen des Brennstoffzellenstapels (110) durch Reformation von Brennstofffluid am Reformerschnitt (46) der kalten Wärmetauscherseite (40).

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

1/5

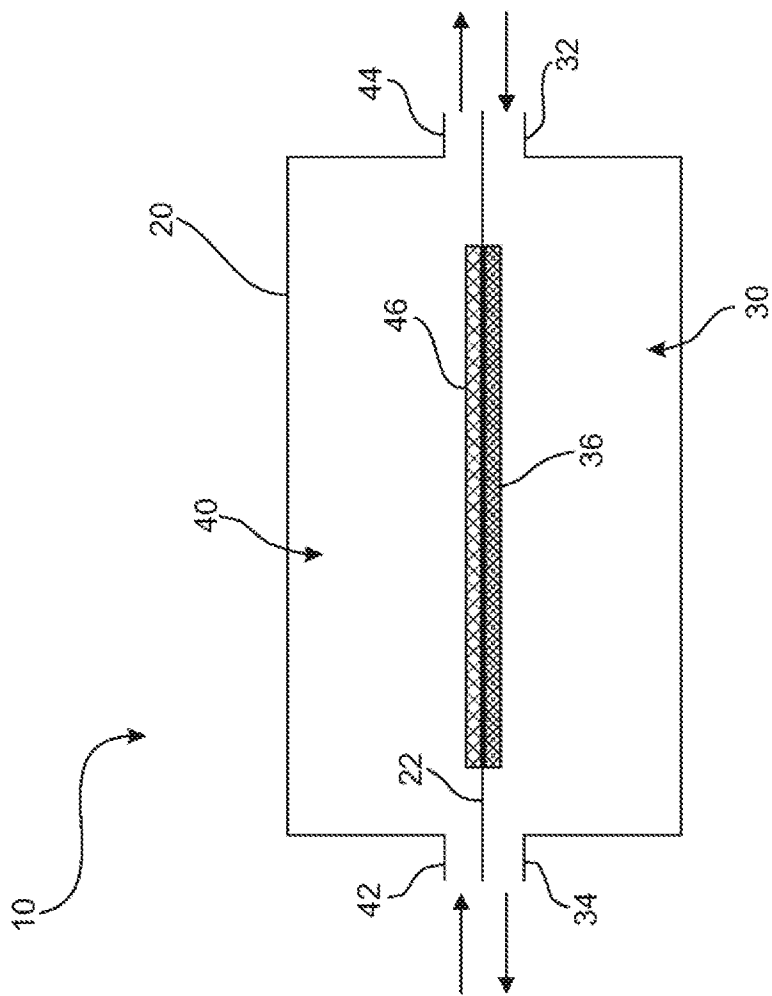


Fig. 1

2/5

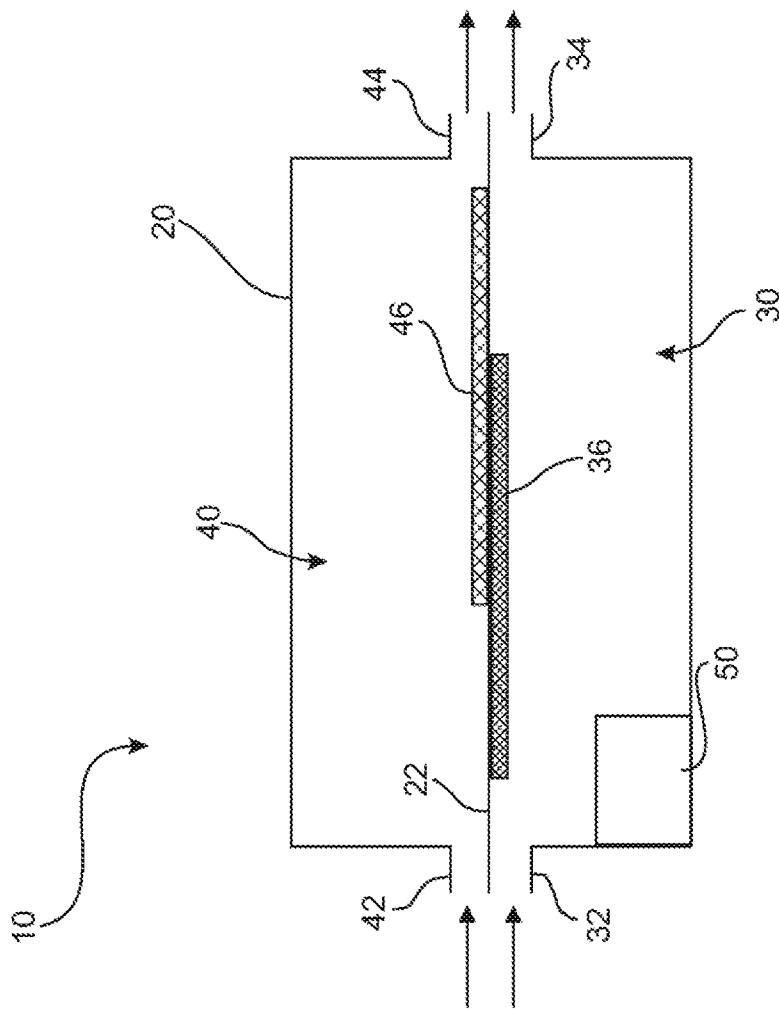


Fig. 2

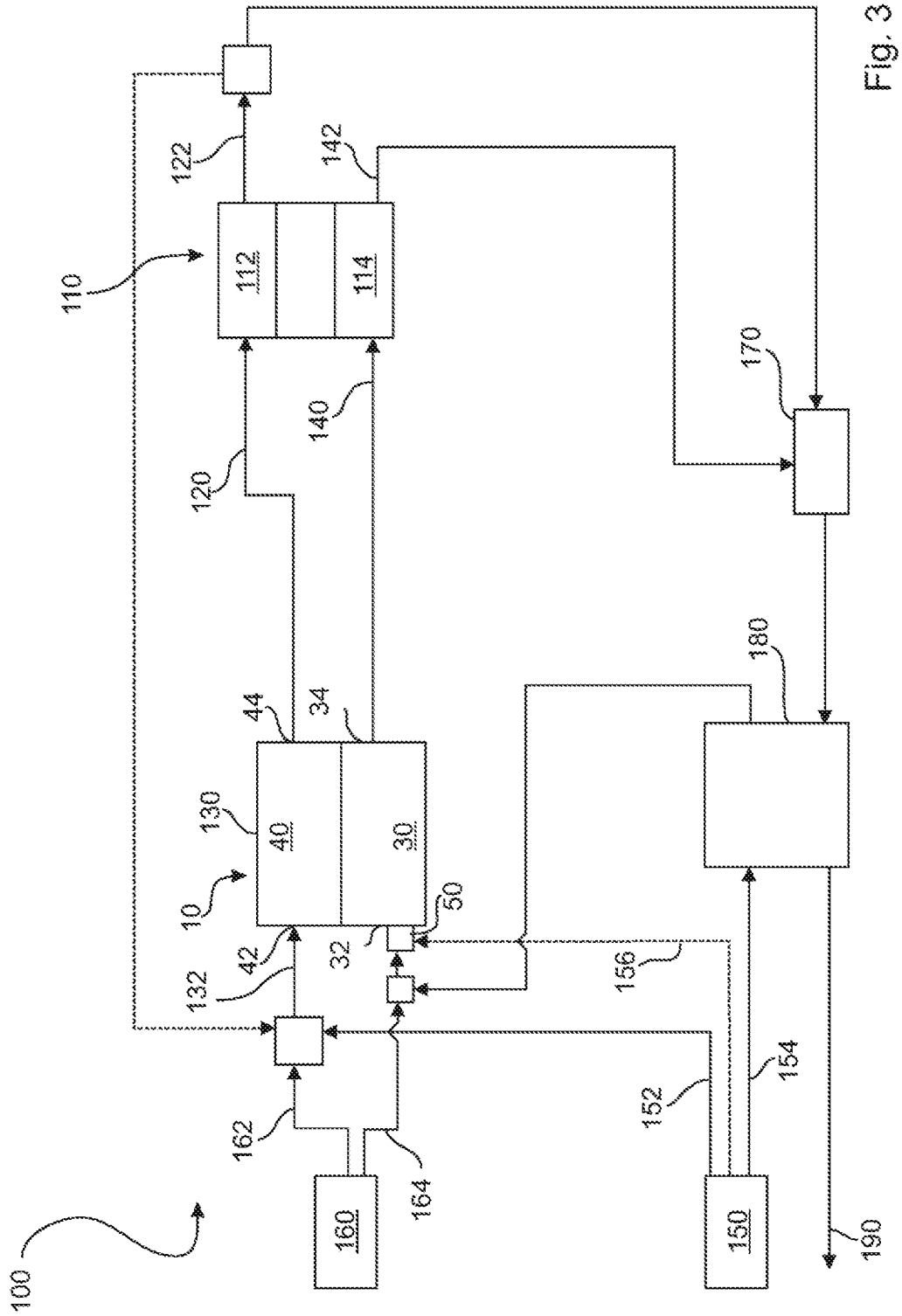


Fig. 3

4/5

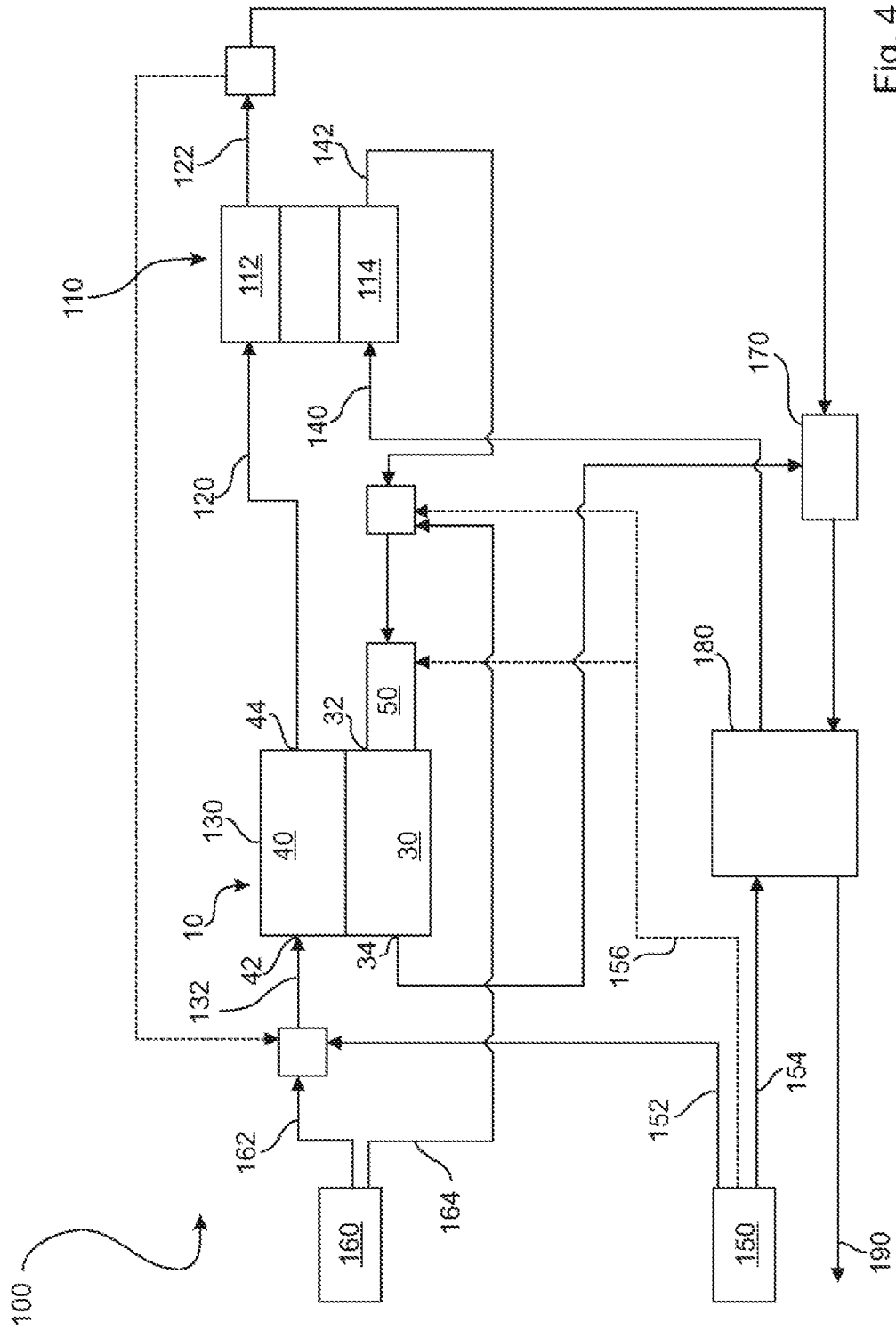


Fig. 4

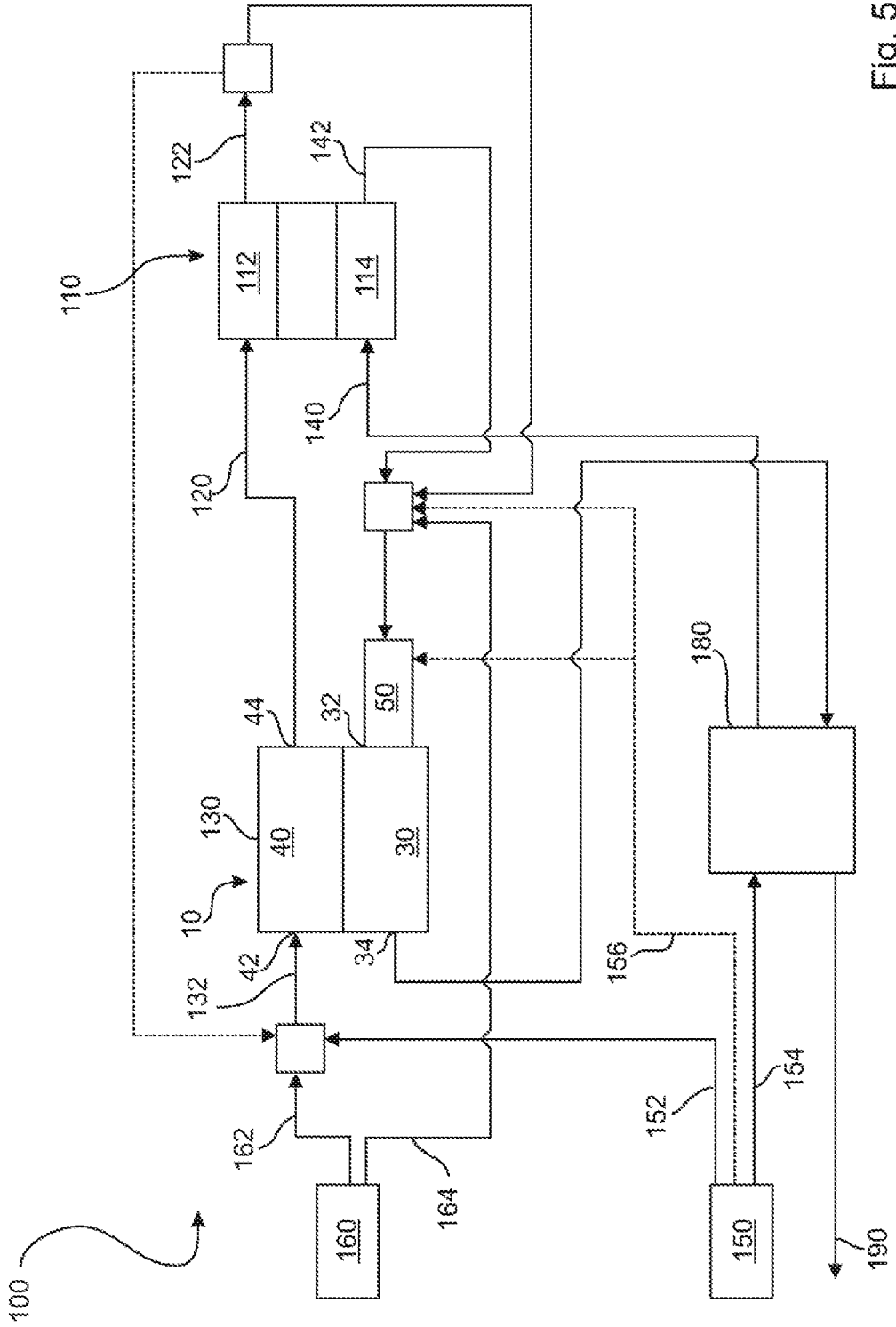


Fig. 5