

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50014/2021
(22) Anmeldetag: 18.01.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2022

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04089** (2016.01)
H01M 8/04007 (2016.01)
H01M 8/04746 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 3435463 A1
JP 2005071830 A
DE 102010011556 A1

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

(72) Erfinder:
Mayr Johannes Dr.
8010 Graz (AT)

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

(54) **Expansionsvorrichtung für eine Expansion von Brenngas von einem Speicherdruck auf einen Betriebsdruck zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Expansionsvorrichtung (10) für eine Expansion von Brenngas (BG) von einem Speicherdruck (SD) auf einen Betriebsdruck (BD) zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Einlassabschnitt (20) zum Einlass von Brenngas (BG) unter Speicherdruck (SD) aus einem Brenngas-Speicher (110), einen Auslassabschnitt (30) zum Auslass von Brenngas (BG) unter Betriebsdruck (BD) zu dem Brennstoffzellensystem (100) und einen Druckminderabschnitt (40) zwischen dem Einlassabschnitt (20) und dem Auslassabschnitt (30) zum Mindern des Druckes des Brenngases (BG) vom Speicherdruck (SD) auf den Betriebsdruck (BD), wobei der Druckminderabschnitt (40) wenigstens eine Brenngas-Leitung (42) in wärmeübertragendem Kontakt mit wenigstens einer Temperier-Leitung (44) aufweist zur Ausbildung eines Wärmetauscherabschnitts (50) für eine Übergabe von Wärme eines Temperierfluides (TF) an das Brenngas (BG), wobei ein Wärmespeicherkörper (60) in wärmeübertragendem Kontakt mit der Brenngas-Leitung (42) und/oder der Temperier-Leitung (44) angeordnet ist für eine Ausbildung eines Wärmepuffers, wobei der Wärmespeicherkörper (60) durch wenigstens ein Fahrzeugbauteil, insbesondere durch wenigstens ein Strukturbauteil eines Fahrzeugs, ausgebildet wird.

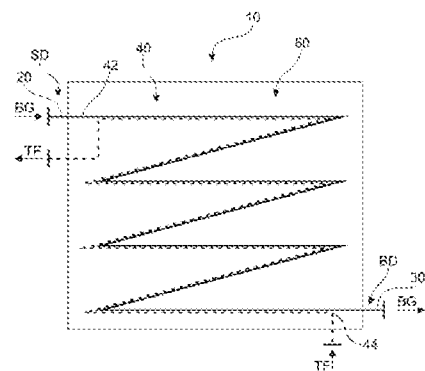


Fig. 1

Beschreibung

EXPANSIONSVORRICHTUNG FÜR EINE EXPANSION VON BRENNGAS VON EINEM SPEICHERDRUCK AUF EINEN BETRIEBSDRUCK ZUR ZUFUHR ZU EINEM BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Expansionsvorrichtung für eine Expansion von Brenngas von einem Speicherdruck auf einen Betriebsdruck zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem, ein Brennstoffzellensystem mit einer solchen Expansionsvorrichtung sowie ein Verfahren für eine Zusatztemperierung eines Brennstoffzellensystems.

[0002] Es ist bekannt, dass Brennstoffzellensysteme mit Brenngas betrieben werden. Bei dem Brenngas kann es sich insbesondere um Wasserstoff handeln. Das Brenngas wird üblicherweise in einem Brenngas-Speicher bevorratet, in welchem das Brenngas in gasförmiger Weise unter einem hohen Speicherdruck gespeichert wird. Andere Speicherformen sind ebenfalls bekannt, technisch aber aktuell nicht relevant. Dieser Speicherdruck liegt üblicherweise deutlich oberhalb des Umgebungsdrucks. Bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas wird üblicherweise ein Speicherdruck im Bereich von bis zu circa 700 bar verwendet. Auch andere Speicherdrücke, beispielsweise im Bereich von ca. 350 bar sind möglich. Der Eingangsdruck bekannter Brennstoffzellensysteme liegt üblicherweise im Bereich von circa 12 bar. Damit ist der Betriebsdruck deutlich geringer als der Speicherdruck in einem Brennstoffzellensystem. Auf dieser Basis erfolgt eine Expansion des Brenngases von einem Speicherdruck auf einen Betriebsdruck, um den Betrieb des Brennstoffzellensystems zu gewährleisten.

[0003] Weiter ist es bekannt, dass das Brennstoffzellensystem während seines Regelbetriebes temperiert werden muss. Insbesondere ist hier eine Kühlung notwendig, wenn das Brennstoffzellensystem im Regelbetrieb sein vorgegebenes Temperaturfenster nicht verlassen soll. Bekannte Temperiervorrichtungen sind dabei üblicherweise mit Temperierfluiden ausgestattet, welches durch entsprechende Temperierfluidleitungen durch das Brennstoffzellensystem hindurchgeleitet wird. Das Temperierfluid kann Wärme an den entsprechenden Wärmeübertragungsabschnitten im Brennstoffzellensystem aufnehmen und aus dem Brennstoffzellensystem abführen. Üblicherweise ist ein solcher System-Temperierkreis mit einer externen Kühlfunktion ausgestattet, um das erwärmte Temperierfluid wieder abzukühlen und die aufgenommene und abgeführte Wärme beispielsweise an die Umgebung abzuführen.

[0004] Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass die beschriebenen System-Temperierkreise für die Spitzenleistung von Brennstoffzellensystemen ausgelegt sein müssen, um auch in diesen Extremsituationen die benötigte Kühlleistung zur Verfügung zu stellen. Dies gilt auch dann, wenn diese Extremsituationen, also beispielsweise Spitzenlasten im Anforderungsprofil des Brennstoffzellensystems, nur sehr selten erreicht werden. Mit anderen Worten muss ein teures, schweres und komplexes Temperiersystem vorgesehen werden, welches in der Maximalleistung nur in sehr wenigen Einsatzsituationen tatsächlich benötigt wird.

[0005] Weitere Expansionsvorrichtungen für eine Expansion von Brenngas zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem sind beispielsweise aus der EP 3435463 A1, der JP 2005071830 A und der DE 102010011556 A1 bekannt.

[0006] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Temperierung auch in Spitzenlastsituationen eines Brennstoffzellensystems zur Verfügung zu stellen.

[0007] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Expansionsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 8 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9. 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 Expansionsvorrichtung beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfin-

dungsgemäßen Brennstoffzellensystem sowie dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0008] Erfindungsgemäß wird eine Expansionsvorrichtung vorgeschlagen für eine Expansion von Brenngas von einem Speicherdruck auf einen Betriebsdruck zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem. Eine solche Expansionsvorrichtung weist einen Einlassabschnitt zum Einlass von Brenngas unter Speicherdruck aus einem Brenngas-Speicher auf. Weiter ist die Expansionsvorrichtung mit einem Auslassabschnitt zum Auslass von Brenngas unter Betriebsdruck zu dem Brennstoffzellensystem ausgestattet. Zwischen dem Einlassabschnitt und dem Auslassabschnitt ist ein Druckminderabschnitt angeordnet zum Mindern des Druckes des Brenngases vom Speicherdruck auf den Betriebsdruck. Dabei ist der Druckminderabschnitt mit wenigstens einer Brenngasleitung in wärmeübertragendem Kontakt mit wenigstens einer Temperier-Leitung ausgebildet. Auf diese Weise erfolgt die Ausbildung eines Wärmetauscherabschnitts für eine Übergabe von Wärme eines Temperierfluides an das Brenngas.

[0009] Eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung beruht auf dem Grundkonzept, dass ein hoher Differenzdruck zwischen dem Speicherdruck und dem Betriebsdruck vorliegt. Der Speicherdruck kann, wie bereits einleitend erläutert worden ist, beispielsweise im mittleren Bereich von circa 700 bar liegen, sodass bei kompakten Brenngas-Speichern ein geringes Speichervolumen für eine hohe Speichermenge ausreicht. Selbstverständlich schwankt der jeweils aktuelle Speicherdruck in Abhängigkeit des Befüllgrades des Speichers, so dass auch höhere und niedrigere Drücke in unterschiedlichen Betriebssituationen möglich sind. Für den Betrieb und die Zufuhr zum Brennstoffzellensystem muss unter der Verwendung eines Hochdruckspeichers eine Druckminderung stattfinden vom Speicherdruck auf den Betriebsdruck. Bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung ist hierfür der Druckminderabschnitt vorgesehen, über welchen in Form einer Brenngasleitung das Brenngas hinsichtlich seines Drucks variiert werden kann. Das Brenngas strömt also durch den Einlassabschnitt in den Druckminderabschnitt und die Brenngasleitung hinein, und entspannt sich dabei über den Strömungsweg durch die Brenngasleitung bis hin zum Auslassabschnitt. Dieses Entspannen kann beispielsweise durch die spezielle geometrische Ausbildung der Brenngasleitung, beispielsweise einen sich vergrößernden Querschnitt über den Verlauf der Brenngasleitung, erzielt werden. Selbstverständlich sind jedoch auch beliebige andere und/oder kombinierte technische Umsetzungen für die Druckminderung entlang der Brenngasleitung im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich. Diese umfassen auch die Druckminderung durch die gezielte Verwirbelung der Strömung innerhalb eines Leitungssystems, wodurch eine erhöhte Strömungsturbulenz zu einem verbesserten Wärmeübergang beitragen kann.

[0010] Ein Kerngedanke der vorliegenden Erfindung liegt nun darin, dass die Expansionsfunktionalität mit einer Wärmetauscherfunktionalität kombiniert wird. Für Wasserstoff bei hohen Drücken ist der Joule-Tompson-Koeffizient negativ, sodass sich das Gas bei der Expansion bei hohen Temperaturniveaus erwärmt, wobei die Erwärmung nicht signifikant ist. Adressiert in diesem Konzept wird jedoch ein weiterer Effekt, welcher beim Befüllen und Entleeren von Hochdrucktanks auftritt. Bei Befüllung von Hochdrucktanks erhöht sich die Temperatur des Gases und des Tanks aufgrund der Entropieänderung durch den Massetransport (Betankung und Kompressionsarbeit) als auch Wärmetransport (Wärmeübergang zwischen Tanksystem, Wasserstoffgas und Umgebung) sowie irreversibel im System erzeugte Entropie (z. B.: Verwirbelung bei der Betankung). Dieses Temperaturniveau kann deutlich über 60°C° erreichen. Nach Betankung nähert sich das Temperaturniveau des Tanks durch Wandwärmeübergang der Umgebungstemperatur an. Bei Entnahme von Wasserstoff im Betrieb zeigt sich ein gegenläufiges Verhalten. Bei Entnahme von Wasserstoff aus dem Speicher sinkt die Temperatur des gespeicherten Gases und nachfolgend auch des Tanksystems. Diese Temperaturreduktion ist abhängig von der Entnahmegeschwindigkeit. Je höher die Entnahmegeschwindigkeit desto stärker reduziert sich die Temperatur des Gases bei Entnahme. Dieses reduzierte Temperaturniveau, welches unter dem Umgebungsniveau liegt, kann nun für die Kühlung verwendet werden, bevor diese an die Umgebung abgegeben wird.

[0011] Erfindungsgemäß ist diese Expansionsvorrichtung mit einer Wärmetauscherfunktionalität in Form des Wärmetauscherabschnitts ausgestattet. Dieser Wärmetauscherabschnitt weist die Temperier-Leitung auf, welche für die Förderung von Temperierfluid ausgebildet ist. Das Temperierfluid strömt dabei durch die Temperierleitung, entweder mittels Zwangskonvektion oder mittels freier Konvektion. Die Leitungsquerschnitte sind beispielsweise entsprechend der auftretenden Druckniveaus ausgestaltet, sodass bei höheren Druckdifferenzen, (z. B.: 800bar auf 20bar) eine stärkere Verwirbelung und somit turbulente Strömung in den Leitungen entsteht, verglichen zu geringeren Temperaturdifferenzen, (z. B.: 600bar auf 20bar). Dies resultiert in einem ähnlichen Ausgangsdruckniveau für variierende Eingangsdruckniveaus in einem bestimmten Druckbereich. Die Wärmetauscherfunktion wird dabei durch den wärmeübertragenden Kontakt zwischen der Brenngasleitung und der Temperier-Leitung gewährleistet.

[0012] Beispielsweise ist es möglich, dass die Temperier-Leitung und die Brenngasleitung direkt aneinander grenzen oder sogar gemeinsam einen integralen Wandabschnitt aufweisen. In diesem Fall ist es möglich, dass warmes Temperierfluid die Kälte vom gekühlten expandierten Brenngas aufnimmt oder in umgekehrter Betrachtungsweise erwärmtes Temperierfluid zumindest einen Teil seiner Wärme an das kühlere Brenngas in seiner expandierten Form übergibt.

[0013] Ausgehend von der voranstehenden Erläuterung wird ersichtlich, dass das Brenngas während des Expansionsvorgangs durch sein niedrigeres Temperaturniveau auf effiziente Weise an ein Temperier- oder Speichermedium während der Druckminderung übertragen kann. Dieser Kühleffekt durch die fortlaufende Entnahme des Brenngases aus dem Speicher kann nun durch den wärmeübertragenden Kontakt auf das Temperierfluid übergeben werden. Warmes Temperierfluid wird auf diese Weise gekühlt und Wärme zwischen dem Temperierfluid und dem Brenngas ausgetauscht.

[0014] Mit anderen Worten ist es nun möglich, überschüssige Wärme über das Temperierfluid in die erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung einzubringen und dort an das Brenngas abzugeben. Das auf diese Weise gekühlte Temperierfluid, steht nun anderen Kühlaufgaben wieder in direkter oder indirekter Weise zur Verfügung.

[0015] Wie bereits erläutert worden ist, ist für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems eine aktive Temperierung, insbesondere eine aktive Kühlung, im Regelbetrieb notwendig. Führt nun eine Anfrage einer Spitzenlast am Brennstoffzellensystem zu einem kurzfristigen, aber deutlichen Temperaturanstieg, so kann dieser deutliche Temperaturanstieg nun durch eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung abgepuffert werden. Die deutlich gesteigerte Wärmeaufnahme eines System-Temperierkreises kann direkt oder indirekt an das Temperierfluid in einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung übergeben werden. Das Temperierfluid gibt diese überschüssige Wärme an das Brenngas ab und kann in gekühlter Form wieder dem System-Temperierkreis direkt oder indirekt zurückgeführt werden.

[0016] Es ist also möglich, mit einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung eine Zusatztemperierung zur Verfügung zu stellen. Diese ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine Spitzenlast vom Brennstoffzellensystem angefragt wird, welche entsprechend eine kurzfristige überhöhte Kühlung erfordert. Besonders vorteilhaft ist dies, da eine selbstregelnde Kontrolle stattfinden kann. So wird eine hohe Spitzenlast vom Brennstoffzellensystem mit einem erhöhten Brenngasbedarf einhergehen. Ein erhöhter Brenngasbedarf führt zu einem erhöhten Volumenstrom vom Brenngas-Speicher zum Brennstoffzellensystem und damit auch zu einem erhöhten Volumenstrom an Brenngas durch die Expansionsvorrichtung. Da die entstehende Expansionsenthalpie in Form der Expansionskälte proportional zum Volumenstrom des Brenngases ist, kann durch die Erhöhung des Brenngasvolumenstroms auch eine erhöhte Kältemenge für die Zusatzkühlung erzeugt werden, welche den Kühlbedarf teilweise kompensiert. Eine aktive Regelung kann eingesetzt werden, um den Druckminderer auf einem bestimmten Temperaturniveau zu halten, bzw. eine Unterschreitung dessen zu unterbinden.

[0017] Es ist noch darauf hinzuweisen, dass das Temperierfluid der Temperier-Leitung sowohl in direkter als auch in indirekter Weise mit einem System-Temperierkreis des Brennstoffzellen-

systems in wärmeübertragendem Kontakt stehen kann. So kann die Temperier-Leitung direkt einen Teil eines System-Temperierkreises ausbilden, sodass das Gesamtsystem des Brennstoffzellensystems einen einkreisigen Temperierkreislauf aufweist. Jedoch ist auch eine indirekte Wärmeübergabe möglich, indem ein zusätzlicher Wärmetauscher einen Wärmeübergang zwischen einem System-Temperierkreis des Brennstoffzellensystems und einem Expansions-Temperierkreis der Expansionsvorrichtung zur Verfügung stellt. Auch ist eine indirekte Kombination mit dem später noch näher erläuterten Wärmespeicherkörper im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich.

[0018] Neben der Tatsache, dass eine Selbstregelung für die Zusatzkühlung im Spitzenlastbereich beim Betrieb des Brennstoffzellensystems möglich ist, kann auch konstruktiv die Verwendung einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung Vorteile mit sich bringen. So kann das Abpuffern einer Spitzenlastsituation durch die Zusatzkühlung mit der Wärmetauscherfunktionalität der Expansionsvorrichtung eine kleinere, einfachere und/oder leichtere Ausgestaltung des System-Temperierkreises mit sich bringen. Der System-Temperierkreis wird damit auf die Hauptbetriebssituation des Brennstoffzellensystems ausgelegt und die wenigen Betriebssituationen, in welchen die maximale Kühlleistung dieses kleineren System-Temperierkreises nicht ausreicht, können durch die Zusatzkühlleistung der erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung abgepuffert und ausgeglichen werden.

[0019] Bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung ist ein Wärmespeicherkörper in wärmeübertragendem Kontakt mit der Brenngasleitung und/oder der Temperier-Leitung angeordnet ist für eine Ausbildung eines Wärmepuffers. Ein solcher Wärmespeicherkörper kann auch als thermische Masse bezeichnet werden und dient dazu, Lastspitzen temporär aufzunehmen und insbesondere Kälte und/oder Wärme zwischenspeichern. So wird zum Beispiel bei einer Spitzenlastsituation eines Brennstoffzellensystems ein sprunghafter Anstieg des Wärmehaltes des Temperierfluides erzeugt. Dieser sprunghafte Anstieg kann durch eine thermische Masse in Form des Wärmespeicherkörpers nun langsam an die Expansionsvorrichtung übergeben werden, sodass sich zuerst durch den wärmeübertragenden Kontakt der Wärmespeicherkörper mit Wärme belädt und diese beladene Wärme nun über einen längeren Zeitraum an das gekühlte Brenngas in der Brenngasleitung direkt oder indirekt abgegeben wird. In gleichem Maße ist es auch denkbar, dass in einer normalen Betriebssituation der Wärmespeicherkörper durch die zu diesem Zeitpunkt nicht benötigte Zusatzkühlleistung der Expansionsenthalpie unter Umgebungstemperatur heruntergekühlt wird und auf diese Weise einen Kühleffekt zur Verfügung stellt, welcher in einer Spitzenlastsituation zur Temperierung des Brennstoffzellensystems zur Verfügung gestellt wird. Die thermische Masse des Wärmespeicherkörpers erlaubt also eine Pufferfunktionalität in beiden Richtungen in Form einer Zwischenspeicherung von nicht sofort abbaubarer Wärme und/oder einer Zwischenspeicherung in Form von nicht sofort benötigter Kälte.

[0020] Bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung gemäß dem voranstehenden Absatz ist der Wärmespeicherkörper durch wenigstens ein Fahrzeugbauteil, insbesondere durch wenigstens ein Strukturbauteil eines Fahrzeugs, ausgebildet ist. Wird eine Expansionsvorrichtung bei einem Brennstoffzellensystem eingesetzt, welches für den mobilen Betrieb in einem Fahrzeug ausgelegt ist, so sind die Kühlungsanforderungen und die Notwendigkeit von kleinen, leichten und einfachen Auslegungen und Konstruktionsweisen noch größer. In diesem Fall bringt die erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung die Möglichkeit mit sich, die Wärmespeicherfunktionalität zur Pufferung von Wärme und/oder Kälte gemäß dem voranstehenden Absatz durch bestehende Bauteile des Fahrzeugs zur Verfügung zu stellen. So kann beispielsweise bei einem Lastkraftwagen ein Teil der Fahrzeugstruktur in Form von einzelnen Strukturbauteilen diese thermische Masse zur Verfügung stellen. Dabei ist es unerheblich, welche Hauptfunktion diese Strukturbauteile aufweisen, solange sie eine ausreichende Masse zur Verfügung stellen, welche in der Lage ist, die Abpufferung von Wärme und/oder Kälte zur Verfügung zu stellen. Selbstverständlich kann über eine Temperierüberwachung sichergestellt werden, dass schädigende Temperaturen für das jeweilige Strukturbauteil in Form des Wärmespeicherkörpers mit hoher Sicherheit vermieden werden.

[0021] Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung, der Wärmespeicherkörper eine Wärmeübergabefläche aufweist für einen wärmeübertragenden Kontakt mit einer System-Temperier-Leitung des Brennstoffzellensystems. Hier handelt es sich insbesondere um den bereits erläuterten zweikreisigen Temperierkreislauf mit einem Temperierkreis der Expansionsvorrichtung und einem System-Temperierkreis des Brennstoffzellensystems. Der Wärmespeicherkörper befindet sich hier zwischen diesen beiden Temperierkreisen und bildet auf diese Weise den bereits erläuterten Puffer in Kälterichtung, wie auch in Wärmerichtung, aus. Eine Wärmespeicherfunktionalität erlaubt auf diese Weise sozusagen eine Wärmeendkopplung zwischen der Kältefunktion der Expansionsvorrichtung und der Wärmequelle des Brennstoffzellensystems.

[0022] Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung die Temperier-Leitung eine Fluidschnittstelle und/oder eine Wärmeübertragungsschnittstelle zu einer System-Temperier-Leitung des Brennstoffzellensystems aufweist. Eine Fluidschnittstelle erlaubt eine Einkreislösung für die Temperierung des Brennstoffzellensystems und der Expansionsvorrichtung. Temperierfluid kann über die Fluidschnittstelle vom System-Temperierkreis in die Temperier-Leitung gelangen und umgekehrt. Mit anderen Worten wird hier keine Wärmeaustauschfunktionalität, wie in dem bereits erläuterten Zweikreissystem, benötigt. Ist jedoch ein zweikreisiges Temperiersystem vorgesehen, so dient eine Wärmeübertragungsschnittstelle zwischen der Temperier-Leitung und einer System-Temperier-Leitung dazu, dass ein Wärmeaustausch zwischen diesen beiden physisch getrennten Temperierkreisen möglich wird. In beiden Fällen, also sowohl bei einem Einkreissystem als auch bei einem Zweikreissystem ist zusätzlich noch ein Wärmespeicherkörper möglich, wie er ebenfalls bereits erläutert worden ist.

[0023] Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung die Temperier-Leitung wenigstens ein Temperier-Kontrollventil aufweist für eine Kontrolle eines Volumenstroms an Temperierfluid durch die Temperierleitung. Insbesondere bei einem einkreisigen System führt dies dazu, dass die zusätzliche Kühlfunktion der Expansionsvorrichtung über dieses Kontrollventil ein- und ausgeschaltet werden kann. Neben einer rein qualitativen Kontrolle ist selbstverständlich auch eine quantitative Kontrolle möglich, also eine quantitative Variation des Volumenstroms durch die Temperierleitung. Dies erlaubt es, insbesondere dann, wenn zwei Temperier-Kontrollventile vorhanden sind, ein vollständiges Absperren und Ausschalten der Temperierfunktionalität in der Expansionsvorrichtung zur Verfügung zu stellen.

[0024] Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung die Brenngasleitung wenigstens ein Brenngaskontrollventil aufweist für eine Kontrolle eines Volumenstroms an Brenngas durch die Brenngasleitung. Auch auf diese Weise wird es möglich, die Kontrollfunktionalität in einer Expansionsvorrichtung zu verbessern. In einfachster Weise handelt es sich hier um ein reines Sperrventil, für ein qualitatives Ein- und Ausschalten der Expansionsfunktionalität. Jedoch ist selbstverständlich auch für das Brenngaskontrollventil eine quantitative Kontrollmöglichkeit für eine Kontrolle, insbesondere in Form einer Regelung, eines Volumenstroms an Brenngas möglich.

[0025] Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung das stromaufwärts und/oder stromabwärts der Brenngasleitung ein Zusatz-Druckminderer angeordnet ist. Sofern ein solcher Zusatz-Druckminderer zur Verfügung gestellt werden soll, ist dieser vorzugsweise nur stromabwärts der Brenngasleitung ausgebildet. Dieser Zusatz-Druckminderer dient einer Feinjustierung des Betriebsdruckes. Insbesondere wird es auf diese Weise möglich, einen Ausgleich von schwankenden Speicherdrücken zur Verfügung zu stellen und auf diese Weise einen möglichst einheitlichen und stabilen sowie konstanten Betriebsdruck zu justieren. Ein solcher Zusatz-Druckminderer kann beispielsweise in andere Bauteile des Brennstoffzellensystems, insbesondere in einen Injektor für das Brenngas, integriert sein.

[0026] Vorteile bringt es darüber hinaus mit sich, wenn bei einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung der Druckminderabschnitt, insbesondere die Brenngasleitung, frei von bewegten Bauteilen ausgebildet ist. Eine Freiheit von bewegten Bauteilen führt dazu, dass eine höhere

Robustheit gegen Defekte zur Verfügung gestellt wird. Auch wird die Komplexität für die Montage und die dadurch entstehenden Kosten reduziert. Nicht zuletzt wird der Verschleiß einer solchen Ausgestaltung des Druckminderabschnitts weiter reduziert und die Regelkomplexität minimiert.

[0027] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung von elektrischem Strom. Ein solches Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt auf. Der Kathodenabschnitt ist mit einem Kathodenzuführabschnitt zur Zufuhr von Kathodenzuführgas und einem Kathodenabführabschnitt zur Abfuhr von Kathodenabgas ausgestaltet. Der Anodenabschnitt weist einen Anodenzuführabschnitt für die Zufuhr von Brenngas und einen Anodenabführabschnitt zur Abfuhr von Anodenabgas auf. Weiter ist im Anodenzuführabschnitt eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung angeordnet, wobei die Temperierleitung dieser Expansionsvorrichtung mit einer System-Temperier-Leitung eines System-Temperierkreises zur Temperierung des Brennstoffzellensystems in wärmeübertragendem Kontakt steht. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung erläutert worden sind. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die System-Temperier-Leitung und die Temperier-Leitung der Expansionsvorrichtung miteinander direkt in fluidkommunizierenden Kontakt stehen können, um ein einkreisiges System für die Temperierung auszubilden. Auch eine indirekte Kontaktierung über eine Wärmeaustauschmöglichkeit in Form eines zweikreisigen Temperiersystems ist jedoch für ein solches Brennstoffzellensystem denkbar. Weiter ist ein solches Brennstoffzellensystem sowohl mit einem Wärmespeicherkörper als auch ohne einen Wärmespeicherkörper betreibbar.

[0028] Weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren für ein Zusatztemperieren eines Brennstoffzellensystems, insbesondere gemäß der vorliegenden Erfindung, aufweisend die folgenden Schritte:

- [0029]** - Expandieren eines Brenngases von einem Speicherdruck auf einen Betriebsdruck,
- [0030]** - Übergabe von Wärme von einem temperierten Fluid an das durch die Expansion wenigstens teilweise gekühlte Brenngas.

[0031] Damit wird das erfindungsgemäße Zusatzkühlkonzept beschrieben, welches die gleichen Vorteile mit sich bringt, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung sowie ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem erläutert worden sind.

[0032] Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren für einen Startbetrieb des Brennstoffzellensystems, insbesondere einen Kaltstart, eine aktive Übergabe von Wärme an das Brenngas erfolgt. Beispielsweise kann bei kalten Umgebungstemperaturen im mobilen Einsatz des Brennstoffzellensystems das reduzierte Temperaturniveau bei fortlaufender Entnahme aus dem Speicher zu einer Reduktion der Temperatur des Brenngases unter den Gefrierpunkt von Wasser führen. Sofern sich während eines Kaltstarts noch Wassertröpfchen von Kondenswasser in der Expansionsvorrichtung befinden, könnte diese Unterkühlung aufgrund der entstehenden Expansionsenthalpie zum Gefrieren dieser Kondensationströpfchen führen. Um dies zu vermeiden, kann nun eine erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung zusätzlich in einem temporären Heizbetrieb betrieben werden, in welchem Wärme in die Expansionsvorrichtung mittels des Temperierfluides eingebracht wird. Insbesondere kann dies ohne elektrische Zusatzheizung innerhalb der Expansionsvorrichtung gewährleistet werden, sodass diese Zusatzfunktion ohne zusätzliche Bauteile möglich wird. Insbesondere kann diese Zusatzheizung bereits zu einem Zeitpunkt zur Verfügung gestellt werden, zu welchem das Brennstoffzellensystem noch nicht betrieben wird. Mit anderen Worten ist ein Vorheizen noch vor Beginn des Kaltstarts für die Expansionsvorrichtung möglich.

[0033] Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren eine Überwachung der Temperatursituation und/oder der Lastsituation des Brennstoffzellensystems erfolgt und bei einer Temperaturspitze und/oder einer Lastspitze das Zusatztemperieren stattfindet.

det. Dies geschieht insbesondere dann, wenn ein Wärmespeicherkörper vorgesehen ist, um bei solchen Spitzensituationen erhöhten Wärmeüberschuss abzapfen oder auf einen vorab gespeicherten Kälteüberschuss in dem Wärmespeicherkörper zurückzugreifen. Auch eine Kombination von Wärmespeicherung und Kältespeicherung ist im Sinne der vorliegenden Erfindung grundsätzlich möglich. Eine Temperaturspitze ist dabei ein direktes Erfassen einer hohen Temperatur mit entsprechend hohem Kühlbedarf am Brennstoffzellensystem. Die Überwachung der Lastsituation erlaubt einen indirekten Rückschluss auf die Temperatursituation und/oder eine zukünftig zu erwartende Temperatursituation, sodass Regelträgheiten noch besser überbrückt werden können.

[0034] Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren eine Erfassung einer möglichen Kühlleistung der Expansionsvorrichtung erfolgt, insbesondere durch Erfassung wenigstens eines der folgenden Parameter:

- [0035]** - Temperatur des Brenngases bei Speicherdruck,
- [0036]** - Temperatur des Brenngases bei Betriebsdruck,
- [0037]** - aktueller Speicherdruck,
- [0038]** - aktueller Betriebsdruck,
- [0039]** - Temperatur des Temperierfluides in der Temperierleitung,
- [0040]** - Temperatur des Wärmespeicherkörpers.

[0041] Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich können auch zwei oder mehr der voranstehenden oder andere Parameter miteinander kombiniert eingesetzt werden. Die Kühlleistung kann dabei eine Vorhersage treffen, zu welchem Zeitpunkt, welche maximale Zusatzkühlmöglichkeit durch die erfindungsgemäße Expansionsvorrichtung gegeben werden kann. Dies erlaubt es, zum einen rechtzeitig mit dem Zusatzkühlen zu beginnen, um unerwünscht hohe Temperaturen im Brennstoffzellensystem wirksam zu vermeiden. Zum anderen kann, wenn beispielsweise nicht genug thermische Masse mit niedrigen Temperaturniveau im Wärmespeicherkörper vorhanden ist, Einfluss genommen werden auf die Lastsituation des Brennstoffzellensystems, sodass eine Limitierung der Spitzenlastsituation auf Basis einer maximal zur Verfügung stehenden Kühlleistung erzeugt wird.

[0042] 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:

- [0043]** Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0044]** Fig. 2 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0045]** Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0046]** Fig. 4a eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0047]** Fig. 4b eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0048]** Fig. 5 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung,
- [0049]** Fig. 6 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,
- [0050]** Fig. 7 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

[0051] Fig. 8 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems,

[0052] Fig. 9 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

[0053] Figur 1 zeigt schematisch eine besonders einfache Ausgestaltungsform einer erfindungsgemäßen Expansionsvorrichtung 10. Diese hat einen Einlassabschnitt 20 am linken oberen Ende, über welchen Brenngas BG unter einen Speicherdruck SD, beispielsweise in Höhe von circa 700 bar, in eine Brenngasleitung 42 eines Druckminderabschnitts 40 einströmen kann. Die Brenngasleitung 42 weist eine Geometrie auf, welche über ihren Verlauf den Druck des Brenngases BG auf Betriebsdruck BD mindert, sodass das Brenngas BG am Ende der Brenngasleitung 42 am Auslassabschnitt 30 auf den gewünschten Betriebsdruck BD gemindert ist. Das auf Betriebsdruck BD befindliche Brenngas BG wird nun im weiteren Verlauf einem Brennstoffzellensystem 200 zugeführt, wie dies später noch erläutert wird.

[0054] Während der Druckminderung vom Speicherdruck SD auf den Betriebsdruck BD entsteht durch die bereits beschriebene Temperaturreduktion. Dies bedeutet, dass das Brenngas BG am Auslassabschnitt 30 kühler ankommt, als es den Einlassabschnitt 20 erreicht. Diese Kühlfunktion in Form der Expansionsenthalpie kann nun bei der Expansionsvorrichtung 10 auf ein Temperierfluid TF übertragen werden. Hierfür ist im Druckminderabschnitt 40 ein Wärmetauscherabschnitt 50 vorgesehen. Dieser ist derart ausgebildet, dass ein wärmeübertragender Kontakt zwischen einer Temperier-Leitung 44 und einer Brenngasleitung 42 vorgesehen ist. Hier im Gegenstrombetrieb tritt nun Temperierfluid TF in die Temperier-Leitung 44 ein und fließt gegenläufig dem expandierenden Brenngas BG entlang der Außenwand der Brenngasleitung 42. Auf diese Weise wird das Temperierfluid TF gekühlt und das Brenngas BG erwärmt. Die Temperaturdifferenz zwischen dem eintretenden Brenngas BG am Einlassabschnitt 20 und dem austretenden Brenngas BG am Austrittsabschnitt 30 wird auf diese Weise reduziert und das Temperierfluid TF in entsprechender Weise über den Strömungsverlauf gekühlt. Diese Kühlfunktion kann nun, wie dies bereits erläutert worden ist, einer Zusatzkühlung für das Brennstoffzellensystem 200 zugeführt werden.

[0055] Die Figur 2 basiert auf der Ausführungsform der Figur 1. Die Zuführung der Zusatzkühlleistung erfolgt hier über Fluidschnittstellen 45, über welche das gekühlte Temperierfluid TF direkt einem einkreisigen Kühlkreislauf des Brennstoffzellensystems 200 zugeführt werden kann. Bei der Ausführungsform der Figur 2 sind zusätzlich noch Temperier-Kontrollventile 47 vorgesehen, welche es erlauben, den Teil des System-Temperierkreises 120, welcher bei dieser einkreisigen Ausgestaltung durch die Temperier-Leitung 44 zur Verfügung gestellt wird, komplett in qualitativer Weise oder kontrolliert in quantitativer Weise ein- und auszuschalten. Die Funktionsweise der Zusatzkühlung entspricht dabei der Beschreibung zur Ausführungsform der Figur 1.

[0056] Figur 3 basiert auf der Ausgestaltung der Figur 2, wobei hier eine Wärmespeicherfunktionalität in Form eines Wärmespeicherkörpers 60 vorgesehen ist. Dieser Wärmespeicherkörper 60 fungiert als thermische Masse und ist in der Lage, beispielsweise Wärme, welche als Spitzentemperatur durch das Temperierfluid TF über die Fluidschnittstelle 45 in die Temperier-Leitung 44 eingebracht wird, abzapfen. Hohe Temperaturschwankungen innerhalb des Wärmetauscherabschnitts 40 werden für das Temperierfluid TF hier unterbunden. Dies erlaubt es also einen Wechselbetrieb im Temperierfluid zu gestatten, da eine geringe Wechselvarianz der Temperatur innerhalb der Temperier-Leitung 44 durch die thermische Masse des Wärmespeichers 60 gewährleistet ist. In Figur 3 ist zusätzlich diese Ausführungsform noch mit Brenngas-Kontrollventilen 43 ausgestattet, welche in der Lage sind, in qualitativer und/oder in quantitativer Weise den Volumenstrom durch die Brenngasleitung 42 zu variieren.

[0057] Die Figur 4a zeigt ebenfalls eine Nutzung eines Wärmespeicherkörpers 60, jedoch in einem zweikreisigen System. Dieses zweikreisige System hat einen geschlossenen Temperierkreis für die Expansionsvorrichtung 10 in Form der geschlossenen Temperier-Leitung 44. Davon unabhängig besteht ein System-Temperierkreis 120 und hier der dargestellte Abschnitt der

System-Temperier-Leitung 122. Die Wärmeübertragung zwischen dem System-Temperierkreis 120 und der Temperier-Leitung 44 erfolgt indirekt über den Wärmespeicherkörper 60. So wird ohne Wärmeübertragung von heißem Temperierfluid TF in der System-Temperier-Leitung 122 erzeugte Expansionsenthalpie als Kälte in abgekühlter Weise im Wärmespeicherkörper 60 zwischengespeichert, welche später für eine Wärmelastsituation ein erhitztes Temperierfluid TF in der System-Temperier-Leitung 122 abgegeben werden kann. In umgekehrter Weise kann auch zu Beginn eines Betriebes, also bei relativ warmem Wärmespeicherkörper 60, dessen thermische Masse eine Abpufferung von hohen thermischen Lasten, ausgehend von der System-Temperier-Leitung 122, abpuffern. Dieser Wärmespeicherkörper 60 hat also eine bidirektionale Pufferwirkung.

[0058] Die Figur 4b zeigt eine vereinfachte Variante, bei welcher der Wärmespeicher 60 durch direkte Kontaktierung des Wärmetauschers des Brenngases BG gekühlt wird. Auf der anderen Seite des Wärmespeichers 60 erfolgt optional die Abgabe der gespeicherten Kälte an das Temperierfluid TF. Somit läuft das Temperierfluid nicht mehr über den Wärmetauscher des Brenngases BG, sondern wird nur im Wärmespeicherkörper 60 geführt. Auch der Kreislauf des Temperierfluids TF ist davon abgegrenzt. Wichtig ist, dass das Temperierfluid TF nicht direkt durch den Wärmetauscher des Brenngases BG geführt ist.

[0059] In der Figur 5 ist ähnlich wie in der Figur 4a eine Variante mit einem zweikreisigen Temperiersystem dargestellt. Jedoch ist hier die Pufferfunktion des Wärmespeicherkörpers 60 ausgelassen, sodass ein direkter wärmeübertragender Kontakt über die Wärmeübertragungsschnittstelle 46 zwischen der Temperier-Leitung 44 und der System-Temperier-Leitung 122 besteht. Ansonsten ist die Zusatzkühlfunktionalität in identischer Weise zur Verfügung gestellt.

[0060] Die Figur 6 zeigt eine Variante eines Brennstoffzellensystems 120 mit einem Anodenabschnitt 140 und einem Kathodenabschnitt 150. Dem Kathodenabschnitt 150 wird Kathodenzuführgas über einen Kathodenzuführabschnitt 152 zugeführt und entstehendes Kathodenabgas über den Kathodenabfuhrabschnitt 154 abgeführt. Der Anodenabschnitt kann ebenfalls entstehendes Anodenabgas über den Anodenabfuhrabschnitt 144 abführen, während Brenngas BG über den Anodenzuführabschnitt 142 dem Anodenabschnitt 140 zugeführt wird. Für den Betrieb des Brennstoffzellensystems 100 ist ein System-Temperierkreis 120 vorgesehen, bei welchem schematisch eine System-Temperier-Leitung 122 durch den Stack des Anodenabschnitts 140 und des Kathodenabschnitts 150 dargestellt ist. Wärme kann auf diese Weise aus dem Brennstoffzellstapel abgeführt und in das Temperierfluid TF der System-Temperier-Leitung 122 übergeben werden.

[0061] In der Figur 6 ist in dem Anodenzuführabschnitt 142 eine Expansionsvorrichtung 10 angeordnet. Diese kann beispielsweise nach einer der Ausführungsformen der Figuren 1 bis 5 ausgebildet sein. Die Wärmetauscherfunktionalität ist hier schematisch mit einem Querverlauf der Brenngasleitung 42 und der Temperier-Leitung 44 dargestellt. Die Figur 1 zeigt eine möglichst einfache Lösung, bei welcher ein einkreisiges System die Temperier-Leitung 44 in den System-Temperierkreis 120 integriert.

[0062] Die Figur 7 basiert auf dem einkreisigen System gemäß der Figur 6. Jedoch ist hier ein Wärmespeicherkörper 60 vorgesehen, welcher in der Lage ist, sowohl eine Kühlspeicherung als auch eine Wärmespeicherung als thermische Masse für eine thermische Pufferung zur Verfügung zu stellen. Das System gemäß Fig. 7 kann vorteilhaft auch mit dem Wärmespeicherkörper 60 und den entsprechenden Fluidführungen gemäß Fig. 4b ausgebildet sein.

[0063] In der Figur 8 ist ein zweikreisiges System ohne Wärmespeicherkörper 60 dargestellt. Auch hier ist wieder eine Wärmeübertragungsschnittstelle 46 vorgesehen, um das zweikreisige System mit einer Wärmeübergabefunktionalität zwischen der separaten Temperier-Leitung 44 und der System-Temperier-Leitung 122 zur Verfügung zu stellen.

[0064] Die Figur 9 zeigt das zweikreisige System der Figur 8, wobei zwischen diesen beiden Temperiersystemen der Wärmespeicherkörper 60 angeordnet ist. Auch hier erfolgt wieder eine Wärmeübergabe mit Hilfe der Wärmeübergabefläche 62 des Wärmespeicherkörpers 60. Auch

das System gemäß Fig. 9 kann vorteilhaft auch mit dem Wärmespeicherkörper 60 und den entsprechenden Fluidführungen gemäß Fig. 4b ausgebildet sein.

[0065] Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Expansionsvorrichtung
20	Einlassabschnitt
30	Auslassabschnitt
40	Druckminderabschnitt
42	Brenngas-Leitung
43	Brenngas-Kontrollventil
44	Temperier-Leitung
45	Fluidschnittstelle
46	Wärmeübertragungsschnittstelle
47	Temperier-Kontrollventil
50	Wärmetauscherabschnitt
60	Wärmespeicherkörper
62	Wärmeübergabefläche

100	Brennstoffzellensystem
110	Brenngas-Speicher
120	System-Temperierkreis
122	System-Temperier-Leitung
130	Brennstoffzellenstapel
140	Anodenabschnitt
142	Anodenzuführabschnitt
144	Anodenabführabschnitt
150	Kathodenabschnitt
152	Kathodenzuführabschnitt
154	Kathodenabführabschnitt

TF	Temperierfluid
BG	Brenngas
SD	Speicherdruck
BD	Betriebsdruck

Patentansprüche

1. Expansionsvorrichtung (10) für eine Expansion von Brenngas (BG) von einem Speicherdruck (SD) auf einen Betriebsdruck (BD) zur Zufuhr zu einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Einlassabschnitt (20) zum Einlass von Brenngas (BG) unter Speicherdruck (SD) aus einem Brenngas-Speicher (110), einen Auslassabschnitt (30) zum Auslass von Brenngas (BG) unter Betriebsdruck (BD) zu dem Brennstoffzellensystem (100) und einen Druckminderabschnitt (40) zwischen dem Einlassabschnitt (20) und dem Auslassabschnitt (30) zum Mindern des Druckes des Brenngases (BG) vom Speicherdruck (SD) auf den Betriebsdruck (BD), wobei der Druckminderabschnitt (40) wenigstens eine Brenngas-Leitung (42) in wärmeübertragendem Kontakt mit wenigstens einer Temperier-Leitung (44) aufweist zur Ausbildung eines Wärmetauscherabschnitts (50) für eine Übergabe von Wärme eines Temperierfluides (TF) an das Brenngas (BG), wobei ein Wärmespeicherkörper (60) in wärmeübertragendem Kontakt mit der Brenngas-Leitung (42) und/oder der Temperier-Leitung (44) angeordnet ist für eine Ausbildung eines Wärmepuffers, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmespeicherkörper (60) durch wenigstens ein Fahrzeugbauteil, insbesondere durch wenigstens ein Strukturbauteil eines Fahrzeugs, ausgebildet wird.
2. Expansionsvorrichtung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmespeicherkörper (60) eine Wärmeübergabefläche (62) aufweist für einen wärmeübertragenden Kontakt mit einer System-Temperier-Leitung (122) des Brennstoffzellensystems (100).
3. Expansionsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperier-Leitung (44) eine Fluidschnittstelle (45) und/oder eine Wärmeübertragungsschnittstelle (46) zu einer System-Temperier-Leitung (122) des Brennstoffzellensystems (100) aufweist.
4. Expansionsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperier-Leitung (44) wenigstens ein Temperier-Kontrollventil (47) aufweist für eine Kontrolle eines Volumenstroms an Temperierfluid (TF) durch die Temperier-Leitung (44).
5. Expansionsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngas-Leitung (42) wenigstens ein Brenngas-Kontrollventil (43) aufweist für eine Kontrolle eines Volumenstroms an Brenngas (BG) durch die Brenngas-Leitung (42).
6. Expansionsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts und/oder stromaufwärts der Brenngas-Leitung (42) ein Zusatz-Druckminderer angeordnet ist.
7. Expansionsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckminderabschnitt (40), insbesondere die Brenngas-Leitung (42), frei von bewegten Bauteilen ausgebildet ist.
8. Brennstoffzellensystem (100) zur Erzeugung von elektrischem Strom, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (130) mit einem Anodenabschnitt (140) und einem Kathodenabschnitt (150), wobei der Kathodenabschnitt (150) einen Kathodenzuführabschnitt (152) zur Zufuhr von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt (154) zur Abfuhr von Kathodenabgas aufweist, wobei weiter der Anodenabschnitt (140) einen Anodenzuführabschnitt (142) für Brenngas (BG) und einen Anodenabführabschnitt (144) zur Abfuhr von Anodenabgas aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Anodenzuführabschnitt (142) eine Expansionsvorrichtung (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 7 angeordnet ist und die Temperier-Leitung (44) der Expansionsvorrichtung (10) mit einer System-Temperier-Leitung (122) eines System-Temperierkreises (120) zur Temperierung des Brennstoffzellensystems (100) in wärmeübertragendem Kontakt steht.

9. Verfahren für ein Zusatztemperieren eines Brennstoffzellensystems (100), mit den Merkmalen des Anspruchs 8, aufweisend die folgenden Schritte:
 - Expandieren eines Brenngases (BG) von einem Speicherdruck (SD) auf einen Betriebsdruck (BD),
 - Übergabe von Wärme von einem Temperierfluid (TF) an das durch die Expansion wenigstens teilweise gekühlte Brenngas (BG).
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass für einen Startbetrieb des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere einen Kaltstart, eine aktive Übergabe von Wärme an das Brenngas (BG) erfolgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Überwachung der Temperatursituation und/oder der Lastsituation des Brennstoffzellensystems (100) erfolgt und bei einer Temperaturspitze und/oder einer Lastspitze das Zusatztemperieren stattfindet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Erfassung einer möglichen Kühlleistung der Expansionsvorrichtung (10) erfolgt, insbesondere durch Erfassung wenigstens eines der folgenden Parameter:
 - Temperatur des Brenngases (BG) bei Speicherdruck (SD)
 - Temperatur des Brenngases (BG) bei Betriebsdruck (BD)
 - Aktueller Speicherdruck (SD)
 - Aktueller Betriebsdruck (BD)
 - Temperatur des Temperierfluides (TF) in der Temperier-Leitung (44) Temperatur eines Wärmespeicherkörpers (60)

Hierzu 10 Blatt Zeichnungen



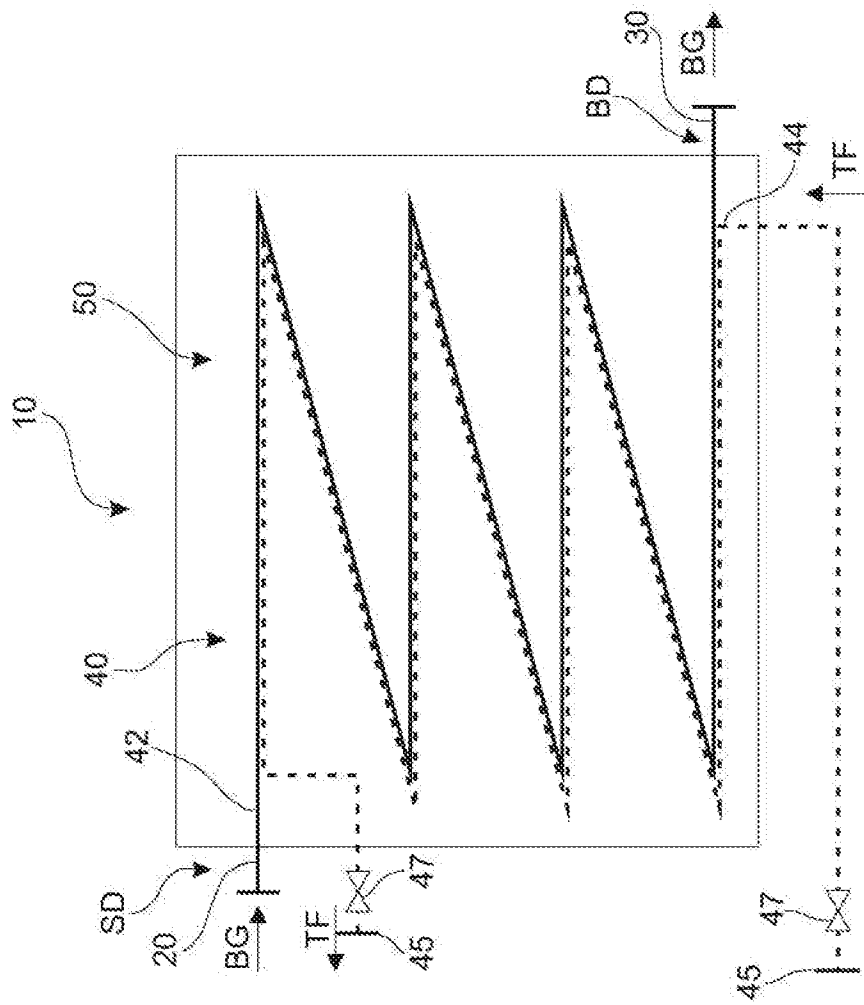


Fig. 2

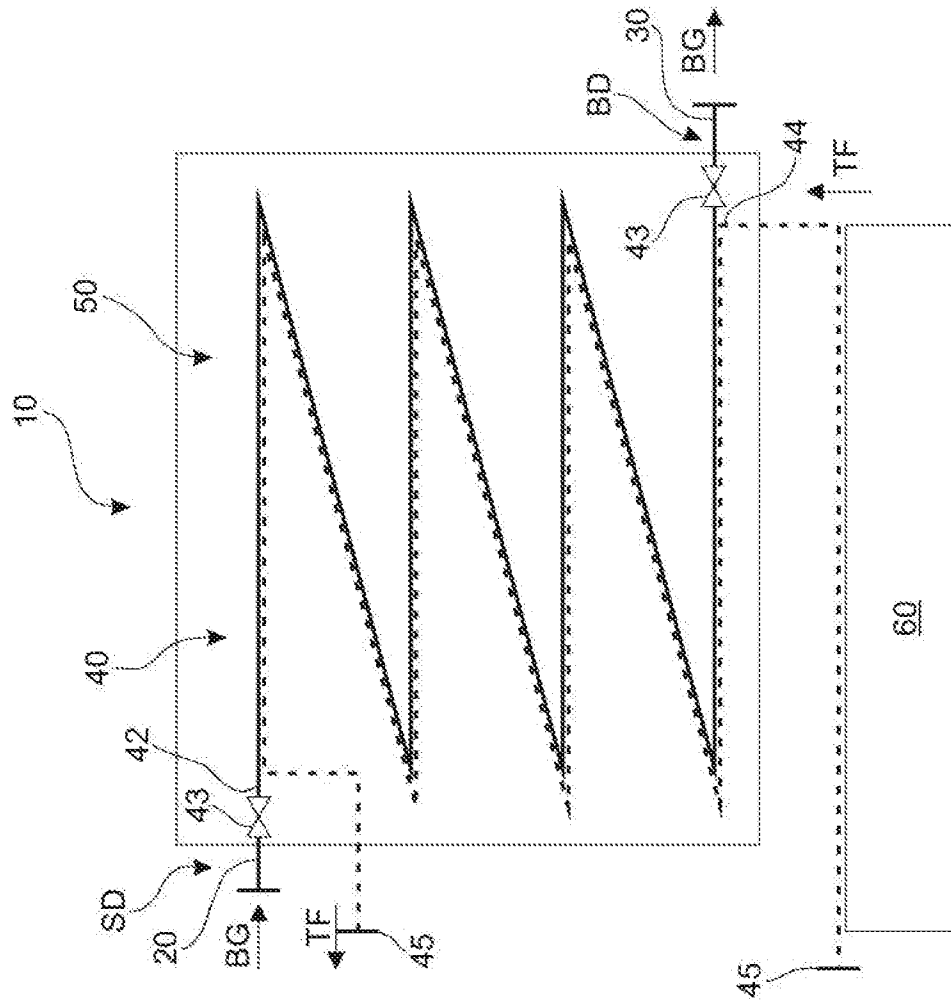


Fig. 3

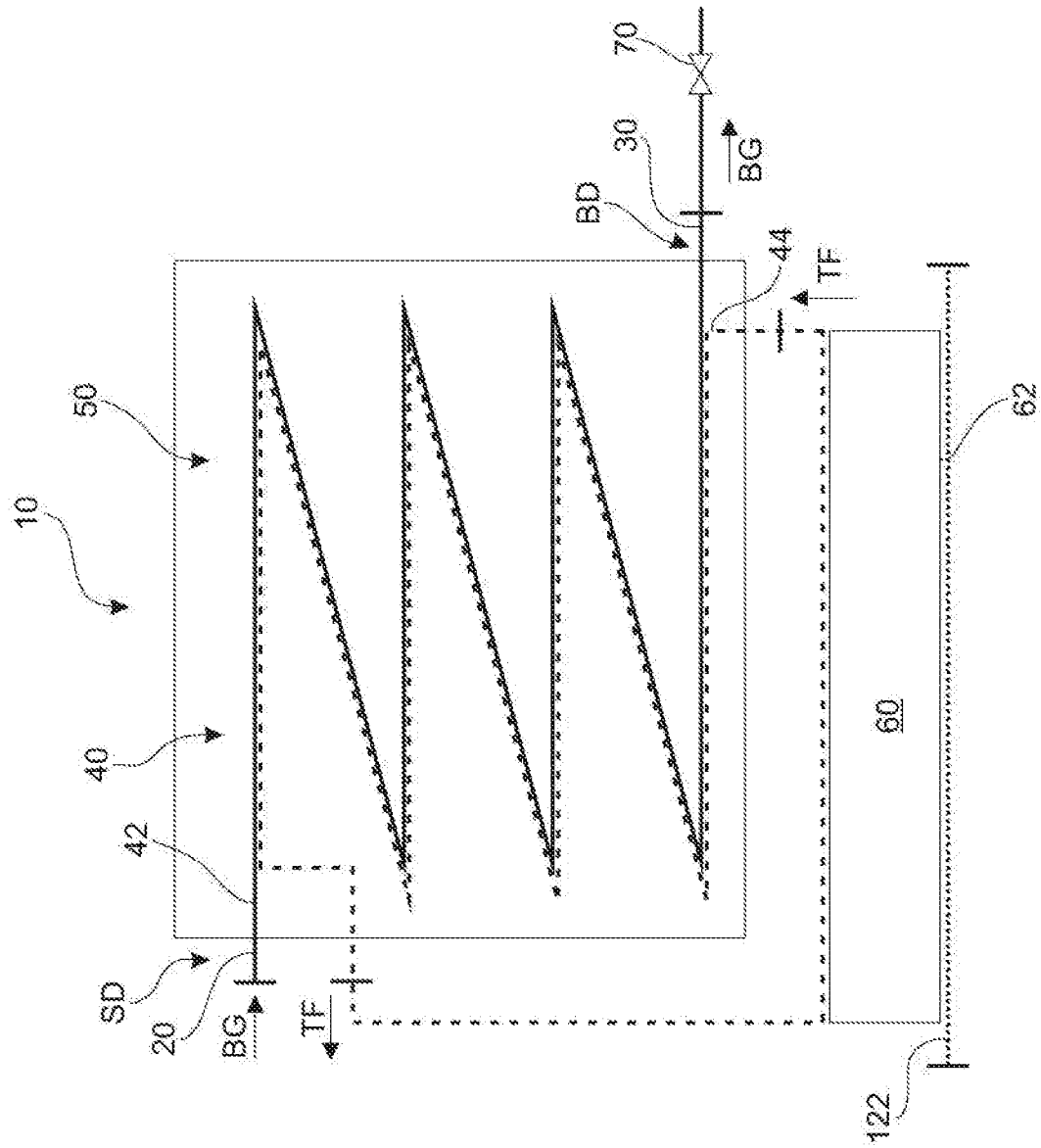


Fig. 4a

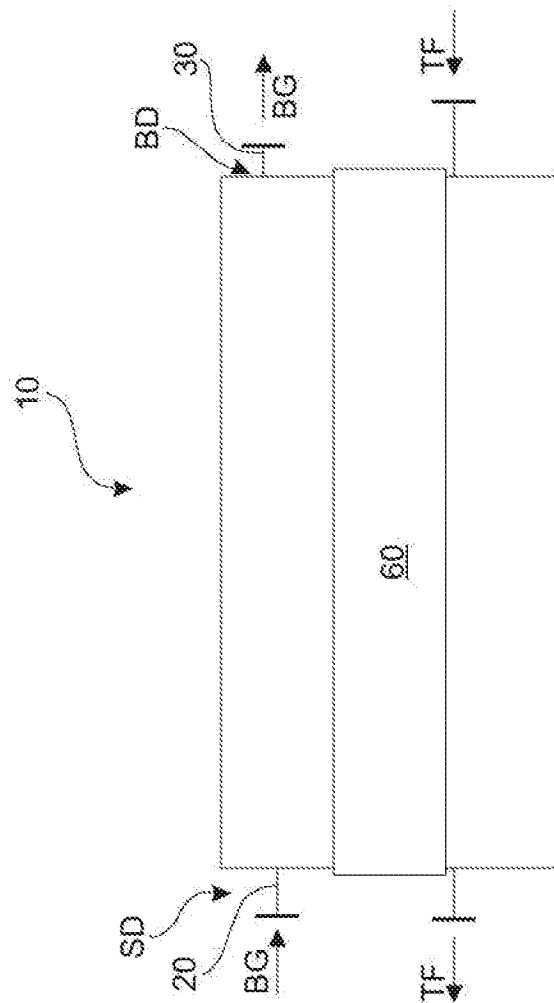


Fig. 4b

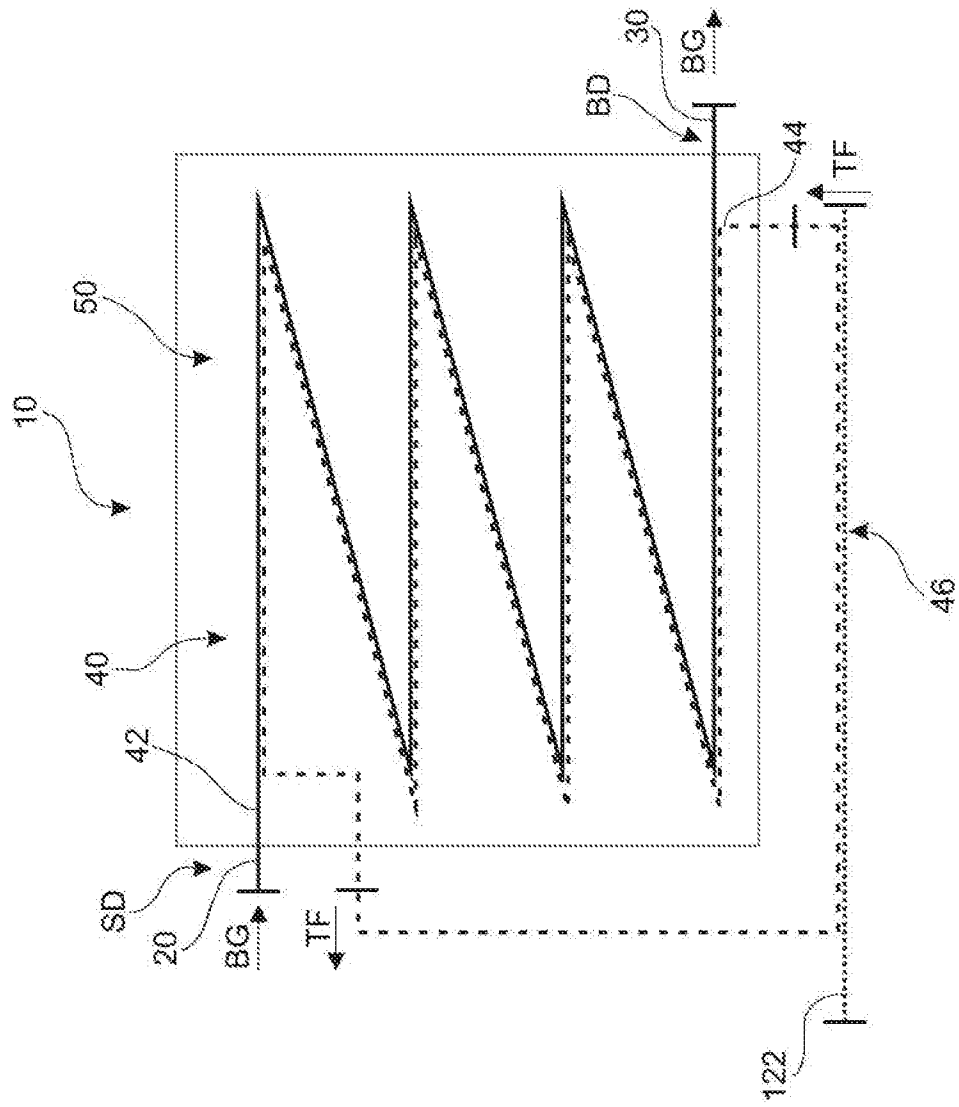


Fig. 5

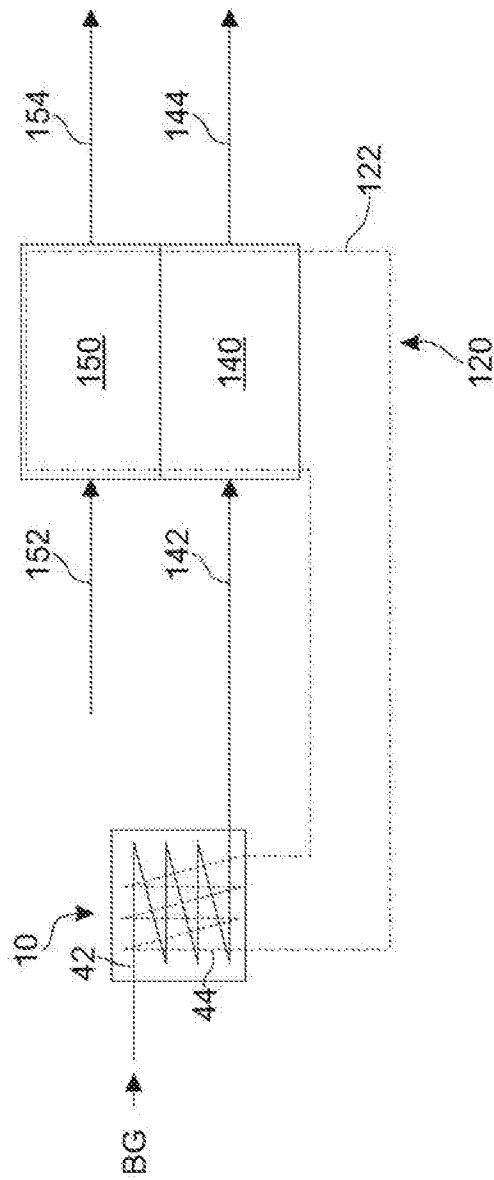


Fig. 6

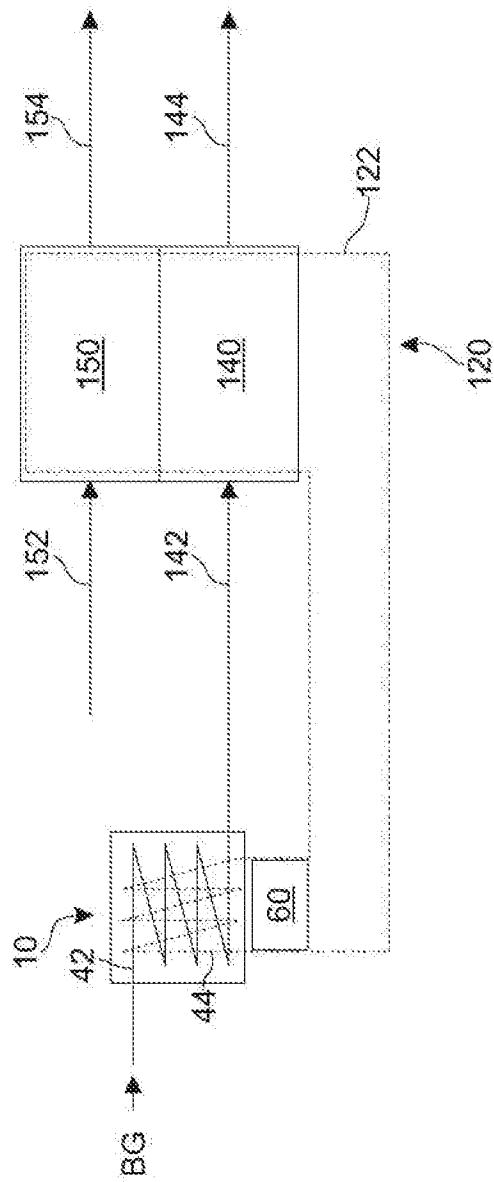


Fig. 7

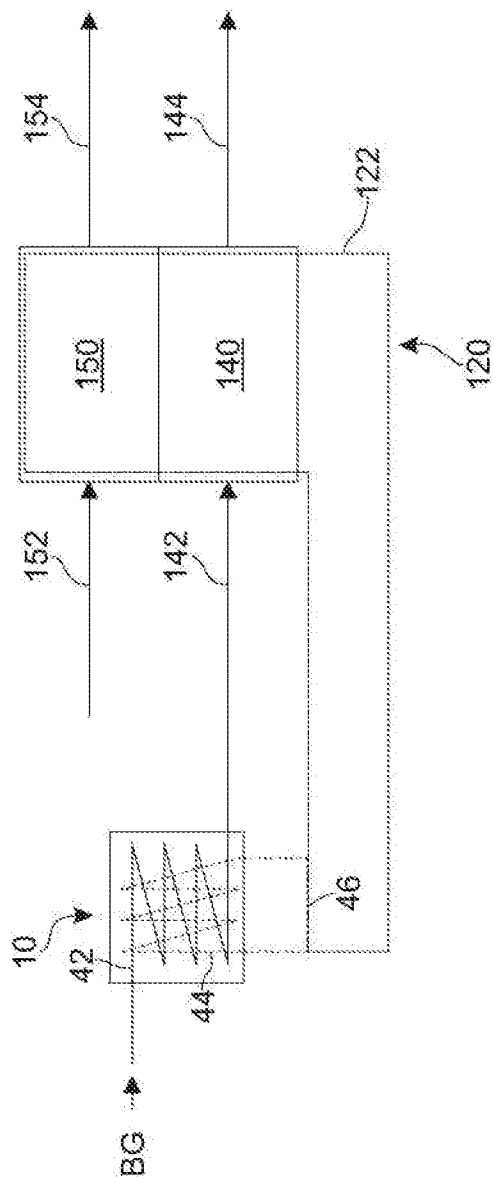


Fig. 8

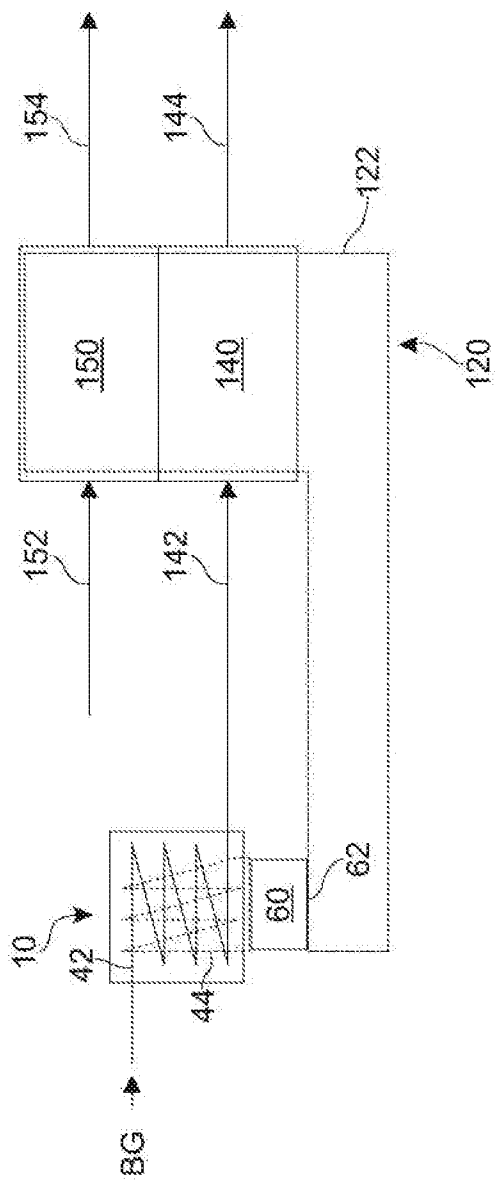


Fig. 9