

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50790/2020 (51) Int. Cl.: **H01M 8/04089** (2016.01)  
(22) Anmeldetag: 17.09.2020 **H01M 8/1018** (2016.01)  
(43) Veröffentlicht am: 15.04.2022 **F17C 7/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 3336162 A  
JP 2005071830 A

(71) Patentanmelder:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Venkataraman Vikrant PhD  
8020 Graz (AT)

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

(54) **Speichervorrichtung für eine Speicherung von Brenngas in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Speichervorrichtung (10) für eine Speicherung von Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Speichertank (20) für die Speicherung des Brenngases (BG) unter einem Speicherdruck (SP), einen Befüllanschluss (22) für ein Befüllen des Speichertanks (20) mit unter Druck stehendem Brenngas (BG), einen Tankauslass (24) mit einer Tankauslassleitung (30) für einen Auslass von unter Druck stehendem Brenngas (BG) aus dem Speichertank (20) und die Zufuhr zu dem Brennstoffzellensystem (100), wobei in der Tankauslassleitung (30) eine Expansionsvorrichtung (40) angeordnet ist für eine Expansion des unter Druck stehenden Brenngases (BG) auf einen Betriebsdruck (BP) des Brennstoffzellensystems (100), wobei weiter die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Expansionsturbine (42) mit einem Expansionsgenerator (44) aufweist zur Erzeugung von elektrischem Strom und die Expansionsvorrichtung (40) thermisch isoliert ist für eine Übertragung der Expansionswärme (EW) auf das dem Brennstoffzellensystem (100) zuzuführende Brenngas (BG).

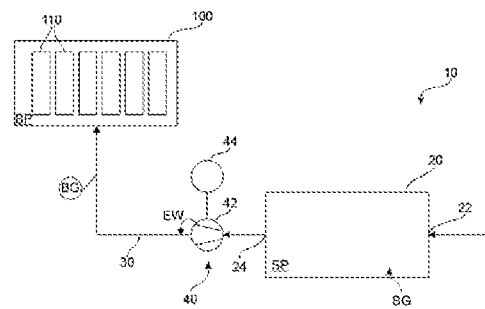


Fig. 1

## Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Speichervorrichtung (10) für eine Speicherung von Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Speichertank (20) für die Speicherung des Brenngases (BG) unter einem Speicherdruck (SP), einen Befüllanschluss (22) für ein Befüllen des Speichertanks (20) mit unter Druck stehendem Brenngas (BG), einen Tankauslass (24) mit einer Tankauslassleitung (30) für einen Auslass von unter Druck stehendem Brenngas (BG) aus dem Speichertank (20) und die Zufuhr zu dem Brennstoffzellensystem (100), wobei in der Tankauslassleitung (30) eine Expansionsvorrichtung (40) angeordnet ist für eine Expansion des unter Druck stehenden Brenngases (BG) auf einen Betriebsdruck (BP) des Brennstoffzellensystems (100), wobei weiter die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Expansionsturbine (42) mit einem Expansionsgenerator (44) aufweist zur Erzeugung von elektrischem Strom und die Expansionsvorrichtung (40) thermisch isoliert ist für eine Übertragung der Expansionswärme (EW) auf das dem Brennstoffzellensystem (100) zuzuführende Brenngas (BG).

Fig. 1

## **Speichervorrichtung für eine Speicherung von Brenngas in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Speichervorrichtung für eine Speicherung von Brenngas in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem, ein Brennstoffzellensystem mit einer solchen Speichervorrichtung sowie ein Verfahren zur Nutzung einer solchen Speichervorrichtung.

Es ist bekannt, dass Brennstoffzellensysteme Speichervorrichtungen aufweisen, um Brenngas, insbesondere in Form von Wasserstoff, für die spätere Nutzung in einem Brennstoffzellensystem zu speichern. Eine solche Speichervorrichtung dient zum Beispiel zur Speicherung von Wasserstoff für die spätere Nutzung in einem angeschlossenen Brennstoffzellensystem unter der Nutzung von PEM-Brennstoffzellen. Hierfür wird das Brenngas in Form von Wasserstoff üblicherweise unter einem hohen Speicherdruck in dem Speichertank gespeichert. Beim Befüllen eines solchen Speichertanks wird Wasserstoff an einer entsprechenden Tankstelle mit einem Kompressor auf den hohen Speicherdruck komprimiert und unter diesem hohen Speicherdruck in den Speichertank gepumpt. Der Speichertank ist ausgelegt für die Lagerung des Brenngases in Form von Wasserstoff unter einem hohen Speicherdruck. Je nach Nutzung, insbesondere beim mobilen Einsatz des Brennstoffzellensystems in Fahrzeugen, sind dabei Speicherdrücke von bis zu 700 bar oder mehr möglich. Bei Nutzfahrzeugen sind auch etwas geringere Speicherdrücke von circa 350 bar im Einsatz.

Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass ein relativ hoher Energiebedarf besteht, um das Brenngas auf den Speicherdruck zu komprimieren. Diese Energie wird verwendet, um die Kompressoren an der Tankstelle zu betreiben, welche das Brenngas auf den Speicherdruck komprimieren und die Befüllung des Speichertanks mit dem komprimierten Brenngas zur Verfügung stellen. Sobald das Brenngas komprimiert im Speichertank vorliegt, kann die Brennstoffzelle betrieben und damit das Fahrzeug bewegt werden. Beim Betrieb der Brennstoffzelle muss das unter dem Speicherdruck gespeicherte Brenngas auf einen Betriebsdruck des Brennstoffzellensystems expandiert werden. Übliche Betriebsdrücke in Brennstoffzellensystemen für Wasserstoff liegen im Bereich zwischen 1 bar und 1,2 bar. Hier ist gut zu erkennen, dass ein sehr hoher Druckunterschied bei voll beladenem Speichertank von circa

700 bar auf einen Betriebsdruck von 1 bis 1,2 bar überwunden werden muss. Bei den bekannten Lösungen ist es ein weiterer Nachteil, dass diese Expansion unter Exergieverlust stattfindet. So gibt es bisher keine Möglichkeit, den Energieaufwand für die Kompression des Brenngases beim Befüllen des Speichertanks zu einem späteren Zeitpunkt bei der Expansion für die Nutzung im Betrieb der Brennstoffzelle wieder zurückzugewinnen. Vielmehr geht die in Form des hohen Speicherdrucks gespeicherte Energie bei der Expansion verloren bzw. wird diese derart umgewandelt, dass diese nicht mehr nutzbar ist.

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 Energierückgewinnung zur Verfügung zu stellen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Speichervorrichtung 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 Speichervorrichtung 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.

Erfindungsgemäß dient eine Speichervorrichtung einer Speicherung von Brenngas in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem. Hierfür weist die Speichervorrichtung einen Speichertank auf, für die Speicherung des Brenngases unter einem Speicherdruck. Es ist weiter ein Befüllanschluss vorgesehen, für ein Befüllen des Speichertanks mit unter Druck stehendem Brenngas. Weiter ist ein Tankauslass vorgesehen mit einer Tankauslassleitung für ein Auslassen für ein unter Druck stehendes Brenngas aus dem Speichertank und die Zufuhr zu dem Brennstoffzellensystem. Dabei ist in der Tankauslassleitung eine Expansionsvorrichtung angeordnet, für eine Expansion des unter Druck stehenden Brenngases auf einen Betriebsdruck des Brennstoffzellensystems. Diese Expansionsvorrichtung weist we-

nigstens eine Expansionsturbine mit einem Expansionsgenerator auf, zur Erzeugung von elektrischem Strom. Darüber hinaus ist die Expansionsvorrichtung thermisch isoliert, für eine Übertragung der Expansionswärme auf das den Brennstoffzellensystem zuzuführende Brenngas.

Eine erfindungsgemäße Speichervorrichtung basiert auf den bekannten Lösungen und erhält einen Drucktank in Form eines Speichertanks. Dieser ist in der Lage, über den Befüllanschluss mit unter Druck stehendem Brenngas befüllt zu werden. Das Brenngas wird also durch einen externen Kompressor auf einen Speicherdruck komprimiert und unter diesem Speicherdruck in den Speichertank eingebracht. Je nach Füllsituation hat der Speichertank dabei einen unterschiedlichen Speicherdruck. Der maximale Speicherdruck, also der Speicherdruck bei vollständig gefülltem Speichertank, liegt üblicherweise im Bereich von 700 bar bei Personenfahrzeugen und im Bereich von circa 350 bar bei Nutzfahrzeugen. Selbstverständlich ist jedoch die vorliegende Erfindung auch für andere Speicherdrücke einsetzbar.

Um nun das gespeicherte Brenngas in dem Brennstoffzellensystem nutzen zu können, muss das Brenngas von dem jeweils vorliegenden Speicherdruck auf einen definierten Betriebsdruck expandiert werden. Wie bereits in der Einleitung erläutert worden ist, liegt der Betriebsdruck bekannter Brennstoffzellensystem deutlich unterhalb der üblichen Speicherdrücke, beispielsweise im Bereich von circa 1 bis 1,2 bar. Bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung ist daher eine Expansionsvorrichtung vorgesehen, welche eine Expansion des Brenngases vom Speicherdruck auf den Betriebsdruck in definierter Weise zur Verfügung stellt. Während bei bekannten Lösungen solche Expansionsvorrichtungen einfache Expansionsdrosseln sein können, ist erfindungsgemäß die Expansionsvorrichtung für eine Energierückgewinnung ausgestaltet.

Für die erwähnte Energierückgewinnung ist die Expansionsvorrichtung zum einen mit einer Expansionsturbine ausgestaltet. Diese wird bei der Expansion des Brenngases vom Speicherdruck auf den Betriebsdruck in eine Rotationsbewegung versetzt. Diese Rotationsbewegung kann mechanisch an den angeschlossenen Expansionsgenerator übertragen werden und auf diese Weise die Rotationsenergie in elektrischen Strom umwandeln. Hier ist gut zu erkennen, dass im Wesentlichen das Umkehrprinzip einer Kompression beim Befüllen des Speichertanks angewendet wird. So wird

bei der Kompression üblicherweise ein Kompressor eingesetzt, um das Brenngas von Umgebungsdruck auf den erhöhten Speicherdruck zu komprimieren. In entgegengesetzter Richtung dient nun die Expansionsturbine mit dem Expansionsgenerator dazu, die Expansion so durchzuführen, dass zumindest ein Teil der durch die Kompression aufgewendeten Energie hier wieder als elektrischer Strom zurück gewonnen werden kann. Später wird noch erläutert, in welcher Weise dieser elektrische Strom innerhalb der Speichervorrichtung oder aber bei anderen elektrischen Verbrauchern des Brennstoffzellensystems eingesetzt werden kann.

Die Rückgewinnung von elektrischer Energie ist jedoch erfindungsgemäß nicht die einzige Möglichkeit die Effizienz des gesamten Brennstoffzellensystems und eines entsprechenden Verfahrens im Vergleich zu den bekannten Lösungen deutlich zu erhöhen. So ist bei der Speicherung von Brenngas in Form von Wasserstoff der sogenannte Joule-Thomson-Effekt zu berücksichtigen. Dieser Effekt führt dazu, dass im Gegensatz zu anderen Gasen bei der Expansion von Wasserstoff sich dessen Temperatur erhöht. Bei einem maximalen Speicherdruck von circa 700 bar und einem Betriebsdruck im Bereich von circa 1 bar ist hier eine maximale Temperaturerhöhung von bis zu 37 Grad Celsius möglich. Mit anderen Worten wird durch die kontrollierte Expansion des Brenngases vom Speicherdruck auf den Betriebsdruck eine Expansionswärme anfallen, die nun in erfindungsgemäßer Weise ebenfalls einen Energiegehalt aufweist. Um zusätzlich auch diesen Wärmeeffekt als Energiegehalt zur Effizienzsteigerung im System zurückgewinnen zu können, ist die Expansionsvorrichtung in erfindungsgemäßer Weise thermisch isoliert ausgebildet, sodass die entstehende Expansionswärme nur in geringem Maße die Expansionsvorrichtung verlassen kann. Der Großteil der durch die Expansion entstehenden Expansionswärme wird demnach durch die thermische Isolierung in der Expansionsvorrichtung verbleiben und auf das Brenngas übertragen. Somit führt die Verwendung der Expansionsvorrichtung zusätzlich zur Erzeugung von elektrischem Strom auch zu einer direkten Erwärmung des Brenngases, welches dem Brennstoffzellensystem zugeführt wird.

Dadurch, dass ein Brennstoffzellensystem üblicherweise mit höheren Temperaturen als der üblichen Umgebungstemperatur betrieben werden muss, ist beim Anfahrprozess eines Brennstoffzellensystems entweder mit einer geringeren Betriebseffizienz oder aber mit Zuheizvorrichtungen zu arbeiten. Dadurch, dass nun in erfindungsge-

mäßiger Weise die Expansionsvorrichtung das Brenngas durch die Ausnutzung der entstehenden Expansionswärme vorheizt, entsteht ein schnellerer Erwärmungseffekt für das Brennstoffzellensystem. Zusätzlich oder alternativ kann eine weitere Zuheizung entweder vollständig unterbleiben oder aber auf ein geringeres Maß reduziert werden.

Wie aus der voranstehenden Erläuterung ersichtlich wird, ist es nun mithilfe einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung möglich, in doppelter Weise die Effizienz in einem Brennstoffzellensystem bei der Nutzung des gespeicherten Brenngases zu steigern. Zum einen kann elektrischer Strom bei der Expansion auf den Betriebsdruck wiedergewonnen werden. Darüber hinaus wird entstehende Expansionswärme im System gehalten und auf das Brenngas zur Erwärmung des nachgelagerten Brennstoffzellensystems übertragen. Beide Energierückgewinnungen dienen dazu, die aufgewendete Kompressionsenergie beim Befüllen des Speichertanks zu einem möglichst großen Anteil im System zu behalten und wiederzugewinnen. Dies führt dazu, dass ein Zusatzaufwand für eine elektrische Beheizung des Brennstoffzellensystems reduziert werden kann und/oder die Zeitdauer bis zum Erreichen eines stationären Betriebszustandes für das Brennstoffzellensystem reduziert wird.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung die Expansionsvorrichtung eine Batterievorrichtung aufweist, für ein Speichern des bei der Expansion erzeugten elektrischen Stroms. Eine solche Batterievorrichtung erlaubt es, den erzeugten elektrischen Strom zwischenspeichern und einer späteren Nutzung zur Verfügung zu stellen. Dabei können klassische chemische Batteriemodule für die Batterievorrichtung eingesetzt werden. Jedoch sind auch Kondensatoren einsetzbar, welche ein kurzfristiges Zwischenspeichern des erzeugten elektrischen Stromes erlauben. Wie später noch erläutert, kann die gespeicherte Energie in Form des gespeicherten elektrischen Stromes zu einem späteren Zeitpunkt unterschiedlichen Nutzungen zugeführt werden. Die Verwendung der Batterievorrichtung erlaubt es dabei, den Zeitpunkt der Erzeugung des elektrischen Stroms von dem Zeitpunkt der Nutzung sowie die Menge des erzeugten elektrischen Stroms von der Menge des zu nutzenden elektrischen Stroms zumindest teilweise zu entkoppeln.

Vorteilhaft ist es darüber hinaus, wenn bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung in der Tankauslassleitung, insbesondere stromaufwärts der Expansionsmaschine, eine elektrische Heizvorrichtung angeordnet ist, für ein elektrisches Heizen des Brenngases. Eine elektrische Heizvorrichtung dient dazu, elektrischen Strom zu verwenden, um das Brenngas vorzuheizen. Insbesondere ist diese elektrische Heizvorrichtung in direkter und/oder in indirekter Weise elektrisch leitend mit dem Expansionsgenerator verbunden, sodass der erzeugte elektrische Strom des Expansionsgenerators für den Betrieb der elektrischen Heizvorrichtung zumindest teilweise verwendet werden kann. Eine direkte Anbindung an den Expansionsgenerator erlaubt es dabei ohne Zwischenspeicherung den erzeugten elektrischen Strom in elektrische Heizenergie umzuwandeln. Wird, wie im voranstehenden Absatz erläutert, zusätzlich eine Batterievorrichtung eingesetzt, so kann auch ein höherer Heizbedarf, welcher die aktuelle Menge an erzeugten elektrischen Strom übersteigt, über die Batterievorrichtung abgedeckt werden. Dabei ist es grundsätzlich unerheblich, an welcher Stelle die elektrische Heizvorrichtung angeordnet ist. Um jedoch die Übertragung von elektrischer Heizenergie auf das Brenngas zu beschleunigen, kann es Vorteile mit sich bringen, wenn die Anordnung auf der Hochdruckseite der Expansionsvorrichtung, also in der Zuführleitung zwischen dem Speichertank und der Expansionsvorrichtung, angeordnet ist. Das hier noch vor dem Erhalt der Expansionswärme kälteres Brenngas weist einen höheren Temperaturunterschied zur entsprechend aktivierten elektrischen Heizvorrichtung auf, sodass ein schnellerer Wärmeübergang erzielt werden kann.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung der Expansionsgenerator eine elektrische Abgabeschnittstelle aufweist für eine Abgabe des erzeugten elektrischen Stroms an wenigstens einen Verbraucher, insbesondere einen der folgenden:

- Antriebsstrang eines Fahrzeugs,
- Batterievorrichtung,
- elektrische Heizvorrichtung,
- Boostvorrichtung,
- Elektrolysezelle.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Der Antriebsstrang des Fahrzeugs wird in Brennstoffzellenfahrzeugen üblicherweise ein elektrischer Antriebsstrang sein. Somit kann der erzeugte elektrische Strom direkt dem Antrieb des entsprechend ausgestatteten Fahrzeugs zugeführt werden. Alternativ oder zusätzlich ist die Zwischenspeicherung in der bereits erläuterten Batterievorrichtung denkbar. Ebenfalls alternativ oder zusätzlich kann in direkter oder indirekter Weise eine elektrische Heizvorrichtung mit dem erzeugten elektrischen Strom betrieben werden, wie es ebenfalls bereits erläutert worden ist. Eine Boostvorrichtung kann es erlauben, einen kurzfristigen Leistungsschub mit dieser zusätzlichen erzeugten elektrischen Energie dem Fahrzeug zur Verfügung zu stellen. Nicht zuletzt ist es auch möglich, den erzeugten elektrischen Strom in einer kleinen Elektrolysezelle dafür zu verwenden aus Wasser über die chemische Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen und somit eine Rückführung von Brenngas in Form von Wasserstoff zu ermöglichen. Auch ist es denkbar, aus dieser Elektrolysezelle den erzeugten Wasserstoff ebenfalls als Brenngas direkt dem Brennstoffzellensystem zuzuführen.

Weitere Vorteile können erzielt werden, wenn bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung die Expansionsvorrichtung wenigstens zwei nacheinander angeordnete Expansionsturbinen als Expansionsstufen aufweist. Je nachdem wie groß der Druckunterschied zwischen dem Speicherdruck und dem Betriebsdruck ist, können unterschiedliche Expansionsturbinen unterschiedlich effizient arbeiten. So ist es zum Beispiel notwendig für hohe Druckunterschiede entsprechend große und stabile Expansionsturbinen einzusetzen. Werden über einzelne Expansionsstufen Zwischendrücke möglich, reduziert sich der jeweilige Druckunterschied zwischen Speicherdruck und Zwischendruck, zwischen benachbarten Zwischendrücken und zwischen dem letzten Zwischendruck und dem Betriebsdruck im Vergleich deutlich. Dies erlaubt es, durch die geringeren Differenzdrücke kleinere, leichtere und kostengünstigere einzelne Expansionsvorrichtungen einzusetzen. Auch können die einzelnen Expansionsvorrichtungen modular ausgestaltet werden, sodass durch die Anpassung der Anzahl der einzelnen Expansionsturbinenmodule eine flexible Einsatzmöglichkeit für unterschiedliche Fahrzeuge mit unterschiedlich hohen Speicherdrücken möglich wird.

Bei einer Speichervorrichtung gemäß dem voranstehenden Absatz bringt es Vorteile mit sich, wenn die Expansionsvorrichtung wenigstens eine Bypassleitung aufweist für

einen Bypass des unter Druck stehenden Brenngases an wenigstens einer Expansions-turbine vorbei. Werden mehrere Expansions-turbinen in Form der beschriebenen Expansionsstufen verwendet, so können durch die Verwendung des Bypasses unterschiedliche Expansionsstufen aktiviert oder deaktiviert werden. Wie bereits erläutert worden ist, hängt die Effizienz beim Betrieb einer Expansions-turbine vom aktuellen Druckunterschied vor und nach der Expansions-turbine ab. Beim Betrieb des Brennstoffzellensystems wird Brenngas verbraucht, sodass kontinuierlich der Speicherdruck im Speichertank sinkt. Während zu Beginn, also bei vollgefülltem Speichertank und dementsprechend hohen Speicherdruck, alle Expansions-turbinen bei der Expansion des Brenngases im Einsatz sind, kann über den Verlauf beim Erreichen eines reduzierten Speicherdruckes durch den Bypass des Brenngases um beispielsweise die erste Expansionsstufe, diese hinsichtlich ihrer Expansionswirkung ausgeschaltet werden. Somit kann durch das Aktivieren oder Deaktivieren einzelner Expansionsstufen die Gesamteffizienz auch bei sinkendem Speicherdruck auf hohen Effizienzgraden gehalten werden.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung wenigstens eine Sensorvorrichtung vorgesehen ist, für die Erfassung eines Druckparameters und/oder eines Temperaturparameters in dem Speichertank und/oder in der Tankauslassleitung. Die Überwachung des Drucks, insbesondere von Druckdifferenzen vor und nach der Expansionsvorrichtung, erlaubt es, beispielsweise beim Einsatz von mehrstufigen Expansionsvorrichtungen, die Effizienz beim Betrieb der Expansionsvorrichtung in kontrollierter Weise zu steigern. Zusätzlich oder alternativ kann auch eine Temperaturüberwachung es erlauben, die gewünschte Erwärmungsfähigkeit unter Nutzung der Expansionswärme mit einer höheren Effizienz dem nachfolgenden Brennstoffzellensystem zur Verfügung zu stellen. Auch ist es möglich, auf diese Weise die Verwendung des erzeugten Stromes in einem nachfolgenden Kontrollalgorithmus verbessert durchzuführen.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellensystem mit wenigstens einer Brennstoffzelle zur Erzeugung von elektrischem Strom aus einem Brenngas in Form von Wasserstoff. Ein solches Brennstoffzellensystem weist wenigstens eine erfindungsgemäße Speichervorrichtung auf und bringt damit die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Speichervorrichtung erläutert worden sind.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren für eine Kontrolle einer Nutzung von erzeugtem elektrischem Strom bei einer Speichervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung. Ein solches Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Erfassen eines Temperaturparameters stromabwärts der Expansions-turbine,
- Erfassen eines Temperaturparameters des Brennstoffzellensystems,
- Bestimmen eines zusätzlichen Wärmebedarfs auf Basis der beiden erfassten Temperaturparameter,
- Nutzung des elektrischen Stroms für ein Aufheizen des Brenngases auf Basis des bestimmten zusätzlichen Wärmebedarfs.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren bringt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Speichervorrichtung erläutert worden sind. Sie erlaubt es, insbesondere durch die Bestimmung von Temperaturdifferenzen, einen zusätzlichen Wärmebedarf zu erkennen und damit in effizienterer Weise die Nutzung des erzeugten elektrischen Stromes zu kontrollieren.

So kann es weitere Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren ein Ladezustand einer Batterievorrichtung erfasst und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird. So kann beispielsweise bei einem sehr niedrigen Ladezustand der Batterievorrichtung ein aktives Aufladen der Batterievorrichtung mit einer entsprechenden Nutzungsanweisung für den elektrischen Strom erzielt werden. Ist die Batterievorrichtung jedoch auf einem hohen Ladezustand, so kann sie mit deutlich geringerer Effizienz elektrischen Strom speichern, sodass ein erfindungsgemäßes Verfahren den elektrischen Strom idealerweise anderen Verbrauchern oder anderen Nutzungsarten zuführt.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren eine Druckdifferenz zwischen dem aktuellen Speicherdruck und dem Betriebsdruck bestimmt wird, wobei auf Basis der Druckdifferenz eine zu erwartende Temperaturerhöhung bestimmt und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird. Wie bereits erläutert worden ist, hängt die Menge der entstehenden Expansi-

onswärme vom Druckunterschied zwischen Speicherdruck und Betriebsdruck ab. Sinkt durch den Verbrauch von Brenngas über die Nutzungsdauer des Brennstoffzellensystems der Speicherdruck und damit diese Druckdifferenz ab, so steht im Verlauf der Nutzung des Brennstoffzellensystems auch immer weniger Expansionswärme zur Verfügung. Somit kann bei der Expansion nun vorausgesehen werden, welche Menge an Expansionswärme zur Verfügung stehen wird und damit welche zusätzliche Zuheizleistung von einer elektrischen Heizvorrichtung zur Verfügung gestellt werden muss.

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. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung,
- Fig. 2 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung,
- Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung,
- Fig. 4 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Speichervorrichtung,
- Fig. 5 eine Möglichkeit einer mehrstufigen Expansionsvorrichtung und
- Fig. 6 eine weitere Möglichkeit einer mehrstufigen Expansionsvorrichtung.

Die Figur 1 zeigt die schematisch einfachste Ausgestaltung einer Speichervorrichtung 10 in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem 100. Über einen Befüllanschluss 22 kann der Speichertank 20 an eine Kompressionstankvorrichtung angeschlossen werden, welche das Brenngas BG in Form von Wasserstoff mithilfe ei-

ner Kompressionsturbine auf einen Speicherdruck von zum Beispiel 350 bar oder zum Beispiel circa 700 bar komprimiert. Dieses komprimierte Brenngas BG wird über den Befüllanschluss 22 in den Speichertank 20 eingespeichert. Ein vollständig beladener Speichertank 20 weist also eine große Menge an Brenngas BG auf, welcher unter dem maximalen Speicherdruck SP gespeichert ist. Wird nun ein Brennstoffzellenfahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem 100 angetrieben, so muss dieses Brennstoffzellensystem 100 und damit die einzelnen Brennstoffzellen 110 mit Brenngas BG versorgt werden. Das sich bewegende Fahrzeug benötigt also die Zufuhr von Brenngas BG aus dem Speichertank 20 in das Brennstoffzellensystem 100.

Der Betriebsdruck BP des Brennstoffzellensystems 100 liegt dabei deutlich unterhalb des jeweiligen Speicherdrucks SP. Daher wird das Brenngas BG aus dem Tankauslass 24 in eine Tankauslassleitung 30 überführt, in welcher eine Expansionsvorrichtung 40 zur Expansion des Brenngases BG vom Speicherdruck SP auf den Betriebsdruck BP erfolgt. Bei der Ausgestaltungsform der Figur 1 ist die Expansionsvorrichtung 40 mit einer Expansionsturbine 42 ausgestattet, welche durch die Expansion vom Speicherdruck SP auf den Betriebsdruck BP in Rotation versetzt wird. Diese Rotationsenergie wird mechanisch an einen Expansionsgenerator 44 übertragen, welcher entsprechend elektrischen Strom aus dieser Rotationsenergie erzeugen kann. Der Expansionsgenerator 44 kann dabei direkt in die Expansionsturbine 42 integriert sein. Zusätzlich ist die Expansionsvorrichtung 40 und hier insbesondere Expansionsturbine 42 thermisch isoliert ausgestaltet, sodass durch den Joule-Thomson-Effekt entstehende Expansionswärme EW in das Brenngas BG übertragen wird, sodass auf diese Weise zusätzlich erwärmtes Brenngas BG anschließend über die Tankauslassleitung 30 dem Brennstoffzellensystem 100 zugeführt wird.

Die Figur 2 zeigt eine Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 1. Hier ist zusätzlich mit dem Expansionsgenerator 44 eine Batterievorrichtung 46 verbunden, welche es erlaubt, elektrischen Strom, der durch die Expansion erzeugt wird, zwischenspeichern. Dieser zwischengespeicherte elektrische Strom oder aber auch der direkt erzeugte elektrische Strom aus dem Expansionsgenerator 44 wird hier nun einer elektrischen Heizvorrichtung 50 zugeführt. Dieser elektrische Strom wird also in eine Heizleistung umgesetzt, sodass bei der Ausführungsform der Figur 2 Brenngas BG, welches aus dem Speichertank 20 über den Tankausfluss 24 austritt, aufgeheizt wird.

Die Figur 3 zeigt eine Variante, bei welcher die entsprechende elektrische Heizvorrichtung 50 der Expansionsvorrichtung 40 stromabwärts nachgeordnet ist. Selbstverständlich kann auch eine Kombination von mehreren elektrischen Heizvorrichtungen vor und/oder nach der Expansionsvorrichtung 40 in erfindungsgemäßer Weise eingesetzt werden. Bei der Ausführungsform der Figur 3 sind zusätzlich noch Sensorvorrichtungen 60 zu erkennen, welche sowohl im Speichertank 20 als auch der Expansionsvorrichtung 40 in der Auslassleitung 30 nachgeordnet Druckparameter und/oder Temperaturparameter aufnehmen können. Dies erlaubt es, insbesondere ein erfindungsgemäßes Verfahren noch exakter zu kontrollieren und damit die Effizienz bei der Rückgewinnung der durch die Kompression in das Brenngas BG eingebrachten Energie zu verbessern.

In der Figur 4 ist eine weitere Variante einer Expansionsvorrichtung 40 dargestellt, bei welcher der Expansionsgenerator 44 mit einer elektrischen Abgabeschnittstelle 45 elektrisch leitend verbunden ist. Über eine solche elektrische Abgabeschnittstelle 45 ist ein Anschluss an elektrische Verbraucher möglich, welchen die erzeugte elektrische Energie zugeführt werden kann

Figur 5 zeigt eine Variante einer Expansionsvorrichtung 40, welche mit mehreren, hier mit drei, Expansionsturbinen 42 ausgestaltet ist. Jede dieser Expansionsturbinen 42 ist mit einem Expansionsgenerator 44 ausgestaltet. Vorzugweise sind diese einzelnen Korrelationen aus Expansionsturbine 42 und Expansionsgenerator 44 als Modul, insbesondere identisch für alle solchen Module in der Expansionsvorrichtung 40, ausgestaltet. Je nach tatsächlicher notwendiger Leistungssituation können nun in der Auslegung der Speichervorrichtung 10 die entsprechende Anzahl an einzelnen Modulen in der Expansionsvorrichtung 40 eingesetzt werden.

Die Figur 6 zeigt eine Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 5, wobei hier die einzelnen Expansionsstufen ein- und ausschaltbar sind. Über entsprechende Ventile und eine Bypassleitung 48 ist es nun möglich, entweder alle drei Expansionsstufen, nur zwei Expansionsstufen oder aber nur eine einzige, nämlich die ganz links angeordnete, Expansionsstufe bei der Expansion auf dem Betriebsdruck BP zu aktivieren. Dies erlaubt es, flexibel auf unterschiedliche Ladungszustände des Speichertankes 20 und entsprechend unterschiedlich hohe Speicherdrücke SP zu reagieren.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**Bezugszeichenliste**

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| 10  | Speichervorrichtung             |
| 20  | Speichertank                    |
| 22  | Befüllanschluss                 |
| 24  | Tankauslass                     |
| 30  | Tankauslassleitung              |
| 40  | Expansionsvorrichtung           |
| 42  | Expansionsturbine               |
| 44  | Expansionsgenerator             |
| 45  | elektrische Abgabeschnittstelle |
| 46  | Batterievorrichtung             |
| 48  | Bypassleitung                   |
| 50  | elektrische Heizvorrichtung     |
| 60  | Sensorvorrichtung               |
|     |                                 |
| 100 | Brennstoffzellensystem          |
| 110 | Brennstoffzelle                 |
|     |                                 |
| BG  | Brenngas                        |
| SP  | Speicherdruck                   |
| BP  | Betriebsdruck                   |
| EW  | Expansionswärme                 |

## Patentansprüche

1. Speichervorrichtung (10) für eine Speicherung von Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Speichertank (20) für die Speicherung des Brenngases (BG) unter einem Speicherdruck (SP), einen Befüllanschluss (22) für ein Befüllen des Speichertanks (20) mit unter Druck stehendem Brenngas (BG), einen Tankauslass (24) mit einer Tankauslassleitung (30) für einen Auslass von unter Druck stehendem Brenngas (BG) aus dem Speichertank (20) und die Zufuhr zu dem Brennstoffzellensystem (100), wobei in der Tankauslassleitung (30) eine Expansionsvorrichtung (40) angeordnet ist für eine Expansion des unter Druck stehenden Brenngases (BG) auf einen Betriebsdruck (BP) des Brennstoffzellensystems (100), wobei weiter die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Expansions-turbine (42) mit einem Expansionsgenerator (44) aufweist zur Erzeugung von elektrischem Strom und die Expansionsvorrichtung (40) thermisch isoliert ist für eine Übertragung der Expansionswärme (EW) auf das dem Brennstoffzellensystem (100) zuzuführende Brenngas (BG).
2. Speichervorrichtung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) eine Batterievorrichtung (46) aufweist für ein Speichern des bei der Expansion erzeugten elektrischen Stroms.
3. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Tankauslassleitung (30), insbesondere stromaufwärts der Expansions-turbine (42), eine elektrische Heizvorrichtung (50) angeordnet ist für ein elektrisches Heizen des Brenngases (BG).
4. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Expansionsgenerator (44) eine elektrische Abgabeschnittstelle (45) aufweist für eine Abgabe des erzeugten elektrischen Stroms an wenigstens einen Verbraucher, insbesondere einen der folgenden:
  - Antriebsstrang eines Fahrzeugs
  - Batterievorrichtung

- Elektrische Heizvorrichtung
  - Boostvorrichtung
  - Elektrolysezelle
5. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens zwei nacheinander angeordnete Expansionsturbinen (42) als Expansionsstufen aufweist.
6. Speichervorrichtung (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Bypassleitung (48) aufweist für einen Bypass des unter Druck stehenden Brenngases (BG) an wenigstens einer Expansionsturbine (42) vorbei.
7. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Sensorvorrichtung (60) vorgesehen ist für die Erfassung eines Druckparameters und/oder eines Temperaturparameters in dem Speichertank (20) und/oder in der Tankauslassleitung (30).
8. Brennstoffzellensystem (100) mit wenigstens einer Brennstoffzelle (110) zur Erzeugung von elektrischem Strom aus einem Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff, aufweisend wenigstens eine Speichervorrichtung (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 7.
9. Verfahren für eine Kontrolle einer Nutzung von erzeugtem elektrischem Strom bei einer Speichervorrichtung (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 7, aufweisen die folgenden Schritte:
- Erfassen eines Temperaturparameters stromabwärts der Expansionsturbine (42),
  - Erfassen eines Temperaturparameters des Brennstoffzellensystems (100),

- Bestimmen eines zusätzlichen Wärmebedarfs auf Basis der beiden erfassten Temperaturparameter,
  - Nutzung des elektrischen Stroms für ein Aufheizen des Brenngases (BG) auf Basis des bestimmten zusätzlichen Wärmebedarfs.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ladezustand einer Batterievorrichtung (46) erfasst und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Druckdifferenz zwischen dem aktuellen Speicherdruck (SP) und dem Betriebsdruck (BP) bestimmt wird, wobei auf Basis der Druckdifferenz eine zu erwartende Temperaturerhöhung bestimmt und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird.

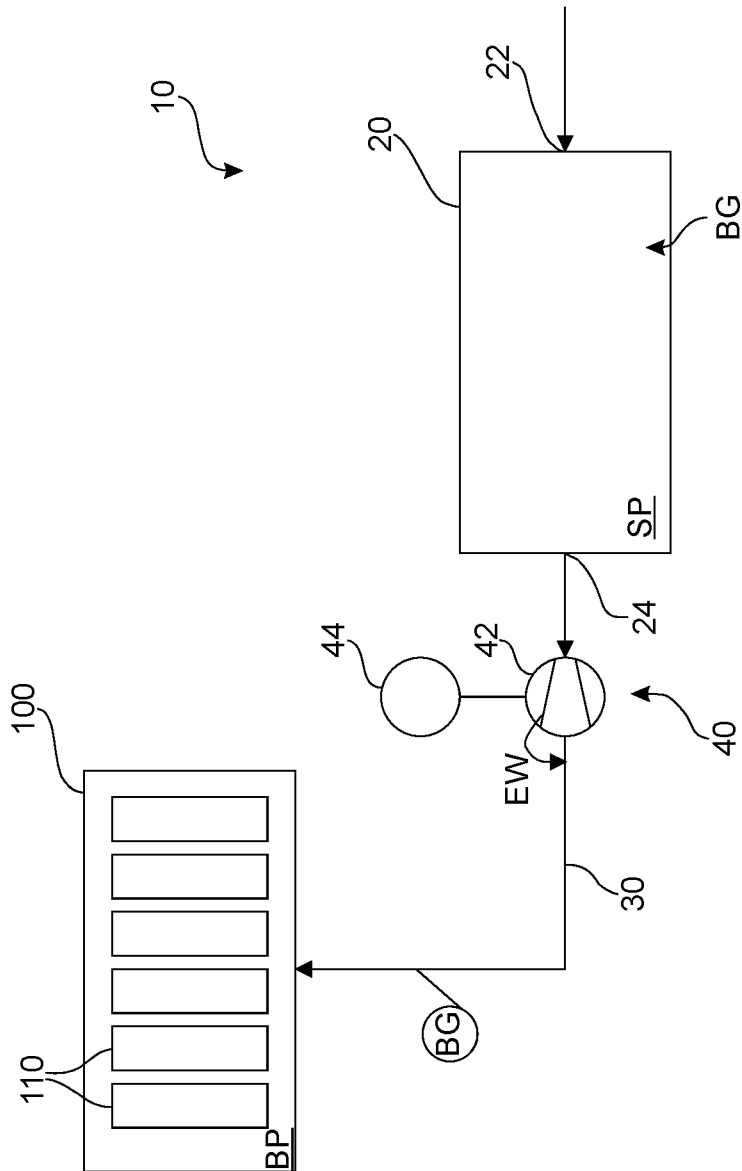


Fig. 1

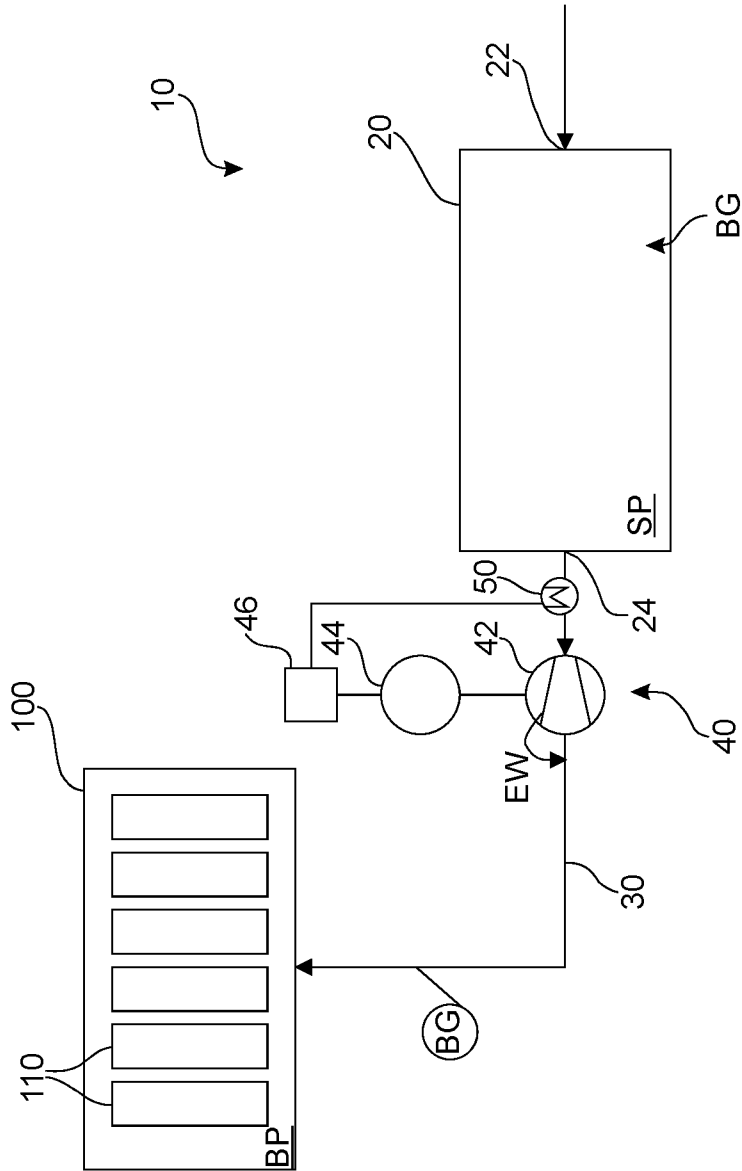


Fig. 2

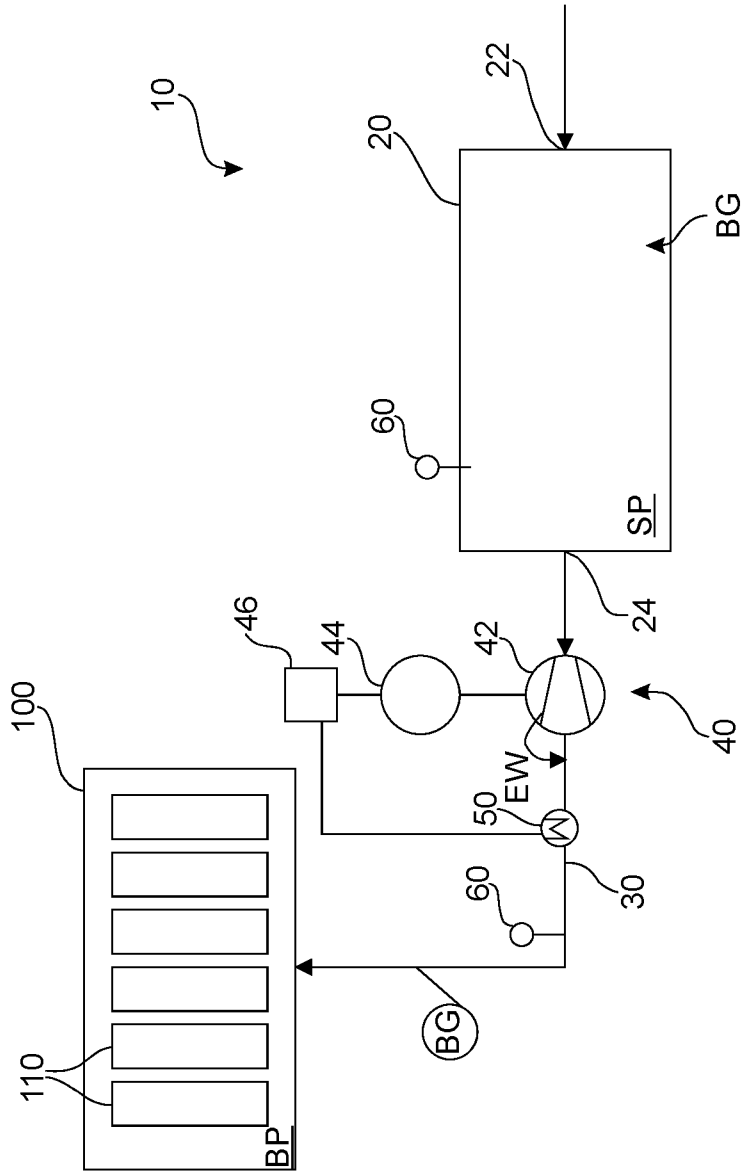


Fig. 3

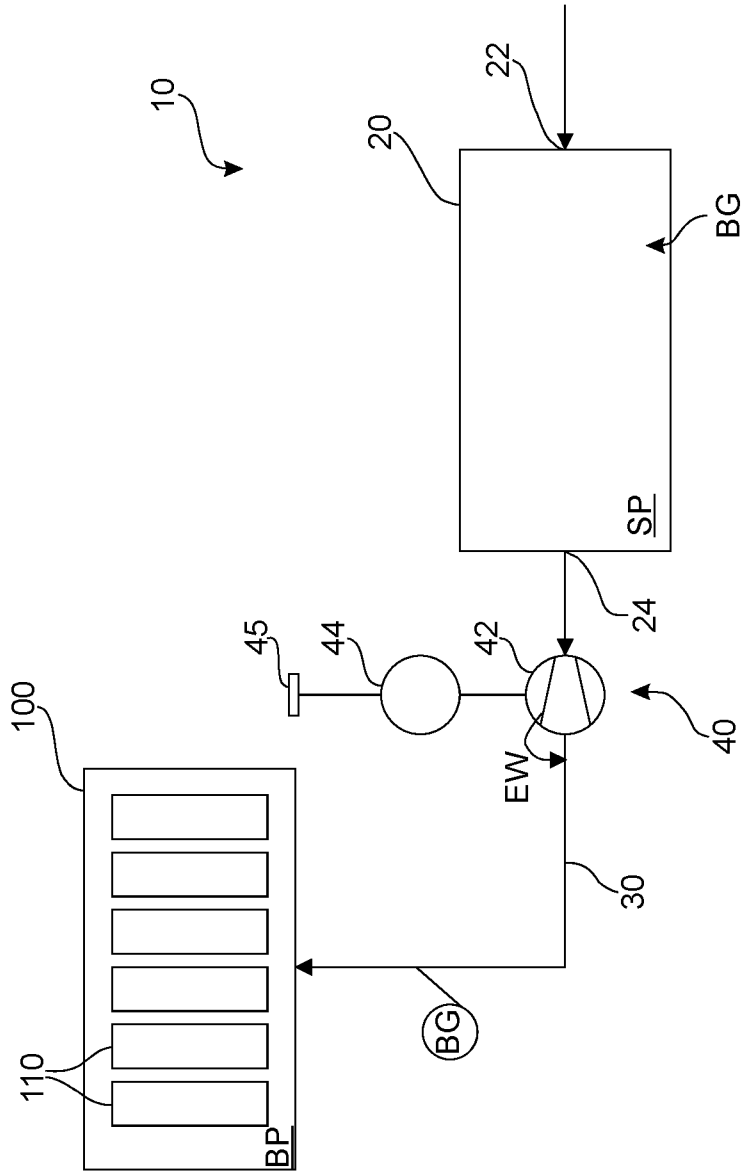


Fig. 4

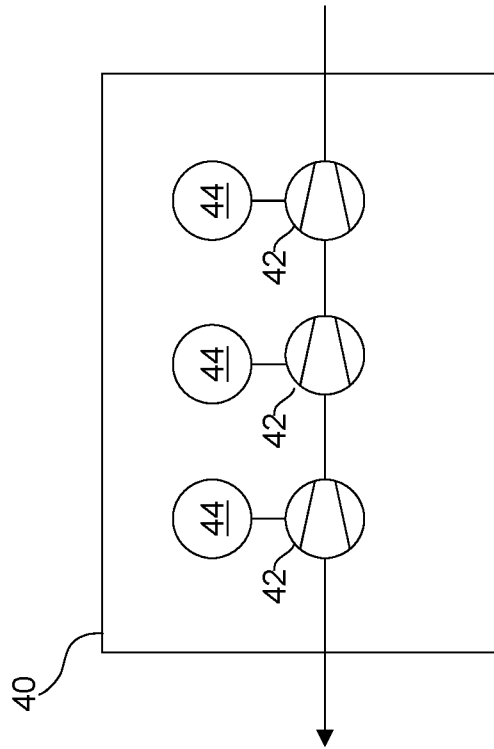


Fig. 5

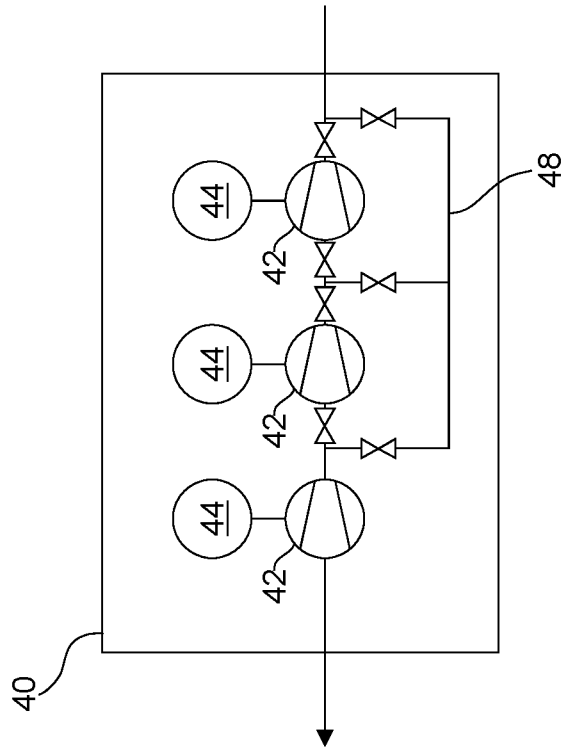


Fig. 6

## Patentansprüche

1. Speichervorrichtung (10) für eine Speicherung von Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff für die Nutzung in einem Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Speichertank (20) für die Speicherung des Brenngases (BG) unter einem Speicherdruck (SP), einen Befüllanschluss (22) für ein Befüllen des Speichertanks (20) mit unter Druck stehendem Brenngas (BG), einen Tankauslass (24) mit einer Tankauslassleitung (30) für einen Auslass von unter Druck stehendem Brenngas (BG) aus dem Speichertank (20) und die Zufuhr zu dem Brennstoffzellensystem (100), wobei in der Tankauslassleitung (30) eine Expansionsvorrichtung (40) angeordnet ist für eine Expansion des unter Druck stehenden Brenngases (BG) auf einen Betriebsdruck (BP) des Brennstoffzellensystems (100), wobei weiter die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Expansions-turbine (42) mit einem Expansionsgenerator (44) aufweist zur Erzeugung von elektrischem Strom, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) thermisch isoliert ist für eine Übertragung der Expansionswärme (EW) auf das dem Brennstoffzellensystem (100) zuzuführende Brenngas (BG).
2. Speichervorrichtung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) eine Batterievorrichtung (46) aufweist für ein Speichern des bei der Expansion erzeugten elektrischen Stroms.
3. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Tankauslassleitung (30), insbesondere stromaufwärts der Expansions-turbine (42), eine elektrische Heizvorrichtung (50) angeordnet ist für ein elektrisches Heizen des Brenngases (BG).
4. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Expansionsgenerator (44) eine elektrische Abgabeschnittstelle (45) aufweist für eine Abgabe des erzeugten elektrischen Stroms an wenigstens einen Verbraucher, insbesondere einen der folgenden:
  - Antriebsstrang eines Fahrzeugs
  - Batterievorrichtung

- Elektrische Heizvorrichtung
  - Boostvorrichtung
  - Elektrolysezelle
5. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens zwei nacheinander angeordnete Expansionsturbinen (42) als Expansionsstufen aufweist.
6. Speichervorrichtung (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Expansionsvorrichtung (40) wenigstens eine Bypassleitung (48) aufweist für einen Bypass des unter Druck stehenden Brenngases (BG) an wenigstens einer Expansionsturbine (42) vorbei.
7. Speichervorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Sensorvorrichtung (60) vorgesehen ist für die Erfassung eines Druckparameters und/oder eines Temperaturparameters in dem Speichertank (20) und/oder in der Tankauslassleitung (30).
8. Brennstoffzellensystem (100) mit wenigstens einer Brennstoffzelle (110) zur Erzeugung von elektrischem Strom aus einem Brenngas (BG) in Form von Wasserstoff, aufweisend wenigstens eine Speichervorrichtung (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 7.
9. Verfahren für eine Kontrolle einer Nutzung von erzeugtem elektrischem Strom bei einer Speichervorrichtung (10) mit den Merkmalen des Anspruchs 7, aufweisend die folgenden Schritte:
- Erfassen eines Temperaturparameters stromabwärts der Expansionsturbine (42),
  - Erfassen eines Temperaturparameters des Brennstoffzellensystems (100),

- Bestimmen eines zusätzlichen Wärmebedarfs auf Basis der beiden erfassten Temperaturparameter,
  - Nutzung des elektrischen Stroms für ein Aufheizen des Brenngases (BG) auf Basis des bestimmten zusätzlichen Wärmebedarfs.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ladezustand einer Batterievorrichtung (46) erfasst und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Druckdifferenz zwischen dem aktuellen Speicherdruck (SP) und dem Betriebsdruck (BP) bestimmt wird, wobei auf Basis der Druckdifferenz eine zu erwartende Temperaturerhöhung bestimmt und bei der Nutzung des elektrischen Stroms berücksichtigt wird.