

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. November 2021 (18.11.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/228508 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F17C 13/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/060171

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. April 2021 (20.04.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 112 830.4
12. Mai 2020 (12.05.2020) DE

(71) Anmelder: BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Petuelring 130, 80809 München (DE).

(72) Erfinder: SZOUCSEK, Klaus; Frühlingstr. 7 A, 85778 Haimhausen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: CONTROL UNIT AND METHOD FOR OPERATING A PRESSURE VESSEL VALVE OF A PRESSURE VESSEL

(54) Bezeichnung: STEUEREREINHEIT UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES DRUCKBEHÄLTER-VENTILS EINES DRUCKBEHÄLTERS

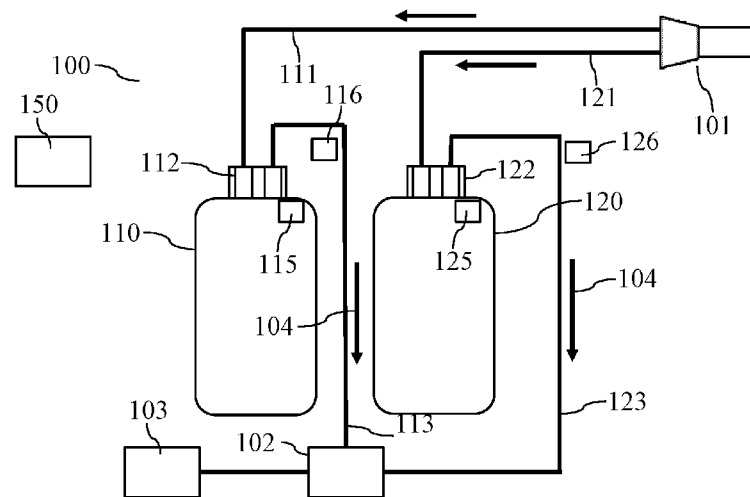


Fig. 1

(57) Abstract: According to the invention, the technology disclosed here relates to a control unit (150) for a pressure vessel system (100) which comprises at least one pressure vessel (110, 120) having a pressure vessel valve (206) which is designed to convey fuel (104) from the pressure vessel (110, 120) into a discharge line (113, 123) in order to supply an energy converter (103). The control unit (150) is configured to determine that a reduced-power operating mode of the energy converter (103) is present, wherein, in a reduced-power operating mode, the fuel mass flow for supplying the energy converter (103) is less than or equal to a predefined mass flow threshold value. The control unit (150) is further configured to cause the pressure vessel valve (206) to be intermittently opened during the execution of the reduced-power operating mode, in order to convey in each case a gush of fuel (104) from the pressure vessel



WO 2021/228508 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(110, 120) into the discharge line (113, 123).

(57) Zusammenfassung: Die hier offenbarte Technologie betrifft erfindungsgemäß eine Steuereinheit (150) für ein Druckbehältersystem (100), das zumindest einen Druckbehälter (110, 120) mit einem Druckbehälter-Ventil (206) umfasst, das ausgebildet ist, Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in eine Entnahmeleitung (113, 123) zur Versorgung eines Energiewandlers (103) zu leiten. Die Steuereinheit (150) ist eingerichtet, zu bestimmen, dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers (103) vorliegt, wobei bei einem leistungsreduzierten Betriebsmodus der Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers (103) kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter Massenstrom-Schwellenwert ist. Die Steuereinheit (150) ist ferner eingerichtet, zu veranlassen, dass das Druckbehälter-Ventil (206) während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in die Entnahmeleitung (113, 123) zu leiten.

Steuereinheit und Verfahren zum Betrieb eines Druckbehälter-Ventils eines Druckbehälters

Die hier offenbarte Technologie betrifft ein Druckbehältersystem mit ein oder
5 mehreren Druckbehältern, z.B. für ein Kraftfahrzeug. Des Weiteren betrifft die
hier offenbarte Technologie ein Verfahren und eine entsprechende Steuereinheit
für den Betrieb eines Druckbehälter-Ventils eines Druckbehälters eines derartigen
Druckbehältersystems.

10 Ein Kraftfahrzeug kann eine Brennstoffzelle aufweisen, die auf Basis eines
Brennstoffs wie z.B. Wasserstoff elektrische Energie für den Betrieb,
insbesondere für den Antrieb, des Fahrzeugs generiert. Der Brennstoff kann in
zumindest einem Druckbehälter des Fahrzeugs gespeichert werden. Der
Brennstoff kann durch Öffnen eines Ventils, insbesondere eines sogenannten On-
15 Tank-Valves (OTV), aus dem Druckbehälter über eine Brennstoffleitung zu der
Brennstoffzelle des Fahrzeugs geführt werden.

Nach Betriebsende der Brennstoffzelle des Fahrzeugs ist typischerweise
sicherzustellen, dass das Ventil des Druckbehälters des Fahrzeugs zuverlässig
20 geschlossen ist, um ein unbeabsichtigtes Austreten von Brennstoff aus dem
Druckbehälter zu vermeiden.

25

Es ist eine bevorzugte Aufgabe der hier offenbarten Technologie,
zumindest einen Nachteil von einer vorbekannten Lösung zu verringern oder zu
beheben oder eine alternative Lösung vorzuschlagen. Es ist eine bevorzugte
Aufgabe der hier offenbarten Technologie, eine effiziente und zuverlässige

Überprüfung der Dichtheit eines Ventils eines Druckbehälters eines
Druckbehältersystems eines Fahrzeugs zu ermöglichen.

Die Aufgabe(n) wird/werden gelöst durch den Gegenstand der unabhängigen
5 Patentansprüche. Die abhängigen Ansprüche stellen bevorzugte Ausgestaltungen
dar.

Gemäß einem Aspekt wird eine Steuereinheit für ein Druckbehältersystem,
insbesondere für ein Druckbehältersystem für ein Kraftfahrzeug (z.B. für einen
10 Personenkraftwagen, für ein Kraftrad, für ein Nutzfahrzeug, etc.), beschrieben.
Das Druckbehältersystem dient dabei typischerweise zur Speicherung von unter
Umgebungsbedingungen gasförmigen Brennstoff. Das Druckbehältersystem kann
beispielsweise in einem Kraftfahrzeug eingesetzt werden, das mit komprimiertem
(auch Compressed Natural Gas oder CNG genannt) oder verflüssigtem (auch
15 Liquid Natural Gas oder LNG genannt) Erdgas oder mit Wasserstoff
(insbesondere H₂) als Brennstoff betrieben wird. Das Druckbehältersystem ist
typischerweise mit mindestens einem Energiewandler fluidverbunden, der
eingerrichtet ist, chemische Energie des Brennstoffs in ein oder mehrere andere
Energieformen umzuwandeln.

20 Ein solches Druckbehältersystem umfasst mindestens einen Druckbehälter,
insbesondere einen composite overwrapped pressure vessel. Der Druckbehälter
kann beispielsweise ein kryogener Druckbehälter oder ein Hochdruckgasbehälter
sein.

25 Hochdruckgasbehälter sind ausgebildet, bei Umgebungstemperaturen Brennstoff
dauerhaft bei einem nominalen Betriebsdruck (auch nominal working pressure
oder NWP genannt) von mindestens 350 barü (= Überdruck gegenüber dem
Atmosphärendruck) oder mindestens 700 barü zu speichern. Ein kryogener
30 Druckbehälter ist geeignet, den Brennstoff bei den vorgenannten Betriebsdrücken

auch bei Temperaturen zu speichern, die deutlich (z.B. mehr als 50 Kelvin oder mehr als 100 Kelvin) unter der Betriebstemperatur des Kraftfahrzeuges liegen.

Das in diesem Dokument beschriebene Druckbehältersystem umfasst zumindest
5 einen Druckbehälter mit einem Druckbehälter-Ventil, wobei das Druckbehälter-Ventil ausgebildet ist, (gasförmigen) Brennstoff aus dem Druckbehälter in eine Entnahmeleitung zur Versorgung eines Energiewandlers zu leiten. Dabei ist typischerweise zwischen der Entnahmeleitung und dem Energiewandler ein Druckwandler angeordnet, der eingerichtet ist, Brennstoff mit einem relativ hohen
10 Druck (z.B. 100barü oder mehr) aus der Entnahmeleitung in Brennstoff mit einem relativ niedrigen Druck (z.B. 2barü oder weniger) zu wandeln.

Das Druckbehälter-Ventil kann ein sogenanntes On-Tank-Valve (OTV) sein. Als On-Tank-Valve (OTV) wird typischerweise eine Kombination aus einem
15 elektromagnetisch betätigten Ventil, einem manuell betätigten Ventil und ggf. einer thermischen Druckentlastungsvorrichtung (TPRD) bezeichnet. Das elektromagnetisch betätigte Ventil und das manuell betätigte Ventil können insbesondere in Reihe verschaltet sein, wobei eines davon oder beide jeweils ein Tankabsperrentil darstellen können.

20 Der Energiewandler ist eingerichtet, chemische Energie des Brennstoffs in ein oder mehrere andere Energieformen umzuwandeln, beispielsweise in elektrische Energie und/oder in Bewegungsenergie. Der Energiewandler kann beispielsweise eine Brennkraftmaschine oder ein Brennstoffzellensystem bzw. ein
25 Brennstoffzellenstapel mit mindestens einer Brennstoffzelle sein.

Die Steuereinheit ist eingerichtet, zu bestimmen, dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers vorliegt. Dabei kann ein leistungsreduzierter Betriebsmodus ein Betriebsmodus sein, bei dem der Brennstoff-Massenstrom
30 (durch das Druckbehälter-Ventil und/oder durch die Entnahmeleitung) zur Versorgung des Energiewandlers kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter

Massenstrom-Schwellenwert ist. Der leistungsreduzierte Betriebsmodus kann sich von einem Leistungs-Betriebsmodus unterscheiden, bei dem der Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers größer als der Massenstrom-Schwellenwert ist. Der Leistungs-Betriebsmodus kann z.B. zum Antrieb eines Kraftfahrzeugs verwendet werden.

Das Druckbehältersystem kann z.B. für einen Nenn-Massenstrom ausgelegt sein (für den Leistungs-Betriebsmodus). Der Massenstrom-Schwellenwert kann bei 10% oder weniger des Nenn-Massenstroms liegen.

10

In einem bevorzugten Beispiel umfasst, insbesondere ist, der Brennstoff Wasserstoff. Des Weiteren umfasst der Energiewandler zumindest eine Brennstoffzelle (insbesondere einen Brennstoffzellenstapel). Ferner kann der leistungsreduzierte Betriebsmodus eine Frostkonditionierung der Brennstoffzelle umfassen, insbesondere sein. Während der Frostkonditionierung kann dabei Brennstoff verwendet werden, um die ein oder mehreren Brennstoffzellen zu spülen, und um dadurch verbliebenes Wasser aus den ein oder mehreren Brennstoffzellen zu entfernen.

Die Steuereinheit ist ferner eingerichtet, zu veranlassen, dass das Druckbehälter-Ventil während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend und/oder pulsartig geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff aus dem Druckbehälter in die Entnahmeleitung zu leiten. Mit anderen Worten, das Druckbehälter-Ventil kann nur zeitweise geöffnet werden (für jeweils eine bestimmte Pulsdauer), um zeitweise bzw. pulsartig Brennstoff aus dem Brennstoff in die Entnahmeleitung zu leiten.

Der intermittierende Betrieb des Druckbehälter-Ventils ermöglicht es, den Brennstoff-Druck in der Entnahmeleitung auf einen Druckwert einzustellen, der unterhalb des Brennstoff-Drucks innerhalb des Druckbehälters liegt, so dass die Dichtheit des Druckbehälter-Ventils in zuverlässiger Weise überprüft werden

30

kann, insbesondere auf Basis der zeitlichen Entwicklung des Brennstoff-Drucks in der Entnahmeleitung (während das Druckbehälter-Ventil geschlossen ist bzw. geschlossen sein sollte).

- 5 Die Steuereinheit kann somit eingerichtet sein, (insbesondere nach Beendigung des leistungsreduzierten Betriebsmodus) Leitungs-Sensordaten in Bezug auf den (Brennstoff-) Druck in der Entnahmeleitung zu ermitteln (z.B. mittels eines Drucksensors in der Entnahmeleitung). Die Leitungs-Sensordaten können insbesondere dann erfasst werden, wenn das Druckbehälter-Ventil (z.B. nach
- 10 Beendigung des leistungsreduzierten Betriebsmodus) geschlossen sein sollte. Es kann dann in zuverlässiger Weise auf Basis der Leitungs-Sensordaten (insbesondere auf Basis der zeitlichen Entwicklung des Brennstoff-Drucks in der Entnahmeleitung) bestimmt werden, ob das Druckbehälter-Ventil dicht ist oder nicht.

15

Des Weiteren kann die Steuereinheit eingerichtet sein, zu bestimmen, dass ein Leistungs-Betriebsmodus des Energiewandlers vorliegt, wobei bei dem Leistungs-Betriebsmodus der Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers größer als der vordefinierte Massenstrom-Schwellenwert ist. Es kann dann

20 veranlasst werden, dass das Druckbehälter-Ventil während der (gesamten) Ausführung des Leistungs-Betriebsmodus dauerhaft geöffnet bleibt, um Brennstoff aus dem Druckbehälter in die Entnahmeleitung zu leiten.

- Durch das dauerhafte Öffnen des Druckbehälter-Ventils kann eine zuverlässige
- 25 Brennstoff-Versorgung des Energiewandlers gewährleistet werden. Andererseits wird durch das dauerhafte Öffnen des Druckbehälter-Ventils typischerweise bewirkt, dass der Brennstoff-Druck in der Entnahmeleitung dem Innendruck in dem Druckbehälter entspricht (so dass nach Schließen des Druckbehälter-Ventils die Dichtheit des Druckbehälter-Ventils meist nicht auf Basis der Leitungs-
- 30 Sensordaten in Bezug auf den Druck in der Entnahmeleitung bestimmt werden kann).

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, das Druckbehälter-Ventil während der (gesamten) Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus derart intermittierend zu öffnen, dass der Druck in der Entnahmeleitung einen vordefinierten oberen Druck-Grenzwert (während der gesamten Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus) nicht überschreitet. Dabei ist der obere Druck-Grenzwert bevorzugt kleiner als der Innendruck in dem Druckbehälter (z.B. um einen bestimmten Offsetwert, etwa 10% oder mehr, oder um 50-60bar, kleiner als der Innendruck in dem Druckbehälter). Alternativ oder ergänzend kann die Steuereinheit eingerichtet sein, das Druckbehälter-Ventil während der (gesamten) Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus derart intermittierend zu öffnen, dass der Druck in der Entnahmeleitung stets um mindestens den vordefinierten Offsetwert kleiner als der Innendruck in dem Druckbehälter ist. Durch einen derartigen Betrieb des Druckbehälter-Ventils kann eine besonders zuverlässige Überprüfung der Dichtheit des Druckbehälter-Ventils (während des leistungsreduzierten Betriebsmodus und/oder im Anschluss an den leistungsreduzierten Betriebsmodus) ermöglicht werden.

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus (ggf. wiederholt, insbesondere periodisch) Leitungs-Sensordaten in Bezug auf den Druck in der Entnahmeleitung zu ermitteln. Die Leistungs-Sensordaten können insbesondere dann ermittelt werden, wenn das Druckbehälter-Ventil geschlossen ist oder geschlossen sein sollte. Das Druckbehälter-Ventil kann dann in zuverlässiger Weise in Abhängigkeit von den Leitungs-Sensordaten intermittierend geöffnet werden. Insbesondere kann die Steuereinheit eingerichtet sein, auf Basis der Leitungs-Sensordaten zu detektieren, dass der Druck in der Entnahmeleitung einen unteren Druck-Grenzwert (z.B. 100barü) erreicht oder unterschreitet. Es kann dann in Reaktion darauf ein Energiepuls bewirkt werden, um das Druckbehälter-Ventil intermittierend (für eine bestimmte, begrenzte Pulsdauer) zu öffnen. So kann auch bei einem

intermittierenden Betrieb des Druckbehälter-Ventils eine zuverlässige Brennstoff-Versorgung des Energiewandlers bewirkt werden.

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein (ggf. wiederholt, insbesondere
5 periodisch), Zustandsdaten in Bezug auf den jeweils aktuellen Zustand des Druckbehältersystems zu ermitteln. Die Zustandsdaten können z.B. Information (insbesondere Leitungs-Sensordaten) in Bezug auf den aktuellen Druck in der Entnahmeleitung umfassen. Alternativ oder ergänzend können die Zustandsdaten Information (insbesondere Sensordaten) in Bezug auf den aktuellen Druck in dem
10 Druckbehälter umfassen. Alternativ oder ergänzend können die Zustandsdaten Information (insbesondere Sensordaten) in Bezug auf die aktuelle Temperatur des Brennstoffs umfassen.

Die Steuereinheit kann ferner eingerichtet sein, einen von den Zustandsdaten
15 abhängigen Energiepuls zu bewirken, um das Druckbehälter-Ventil intermittierend zu öffnen. Dabei können insbesondere ein oder mehrere Parameter des Energiepulses in Abhängigkeit von den Zustandsdaten eingestellt werden. Die ein oder mehreren Parameter können umfassen: die Stromstärke des zum Öffnen des Druckbehälter-Ventils bewirkten Stroms (insbesondere Strompulses); die
20 Spannung der zum Öffnen des Druckbehälter-Ventils bewirkten Spannung; (insbesondere des Spannungspulses); die Zeitdauer des Energiepulses; und/oder die elektrische Leistung und/oder die elektrische Energie des Energiepulses.

Der Energiepuls kann z.B. an einem Elektromagneten des Druckbehälter-Ventils
25 bewirkt werden, um ein pulsartiges Magnetfeld zu erzeugen, durch das das Druckbehälter-Ventil pulsartig geöffnet wird. Die Leistung und/oder die Energie des Energiepulses kann somit an den aktuellen Zustand des Druckbehältersystems (insbesondere an den aktuellen Druck in der Entnahmeleitung, an den aktuellen Druck in dem Druckbehälter und/oder an die Druckdifferenz beider Drücke)
30 angepasst werden. So kann der Druck in der Entnahmeleitung in besonders

präziser Weise eingestellt werden (um eine zuverlässige Überprüfung der Dichtigkeit des Druckbehälter-Ventils zu ermöglichen).

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, den Energiepuls in Abhängigkeit von den Zustandsdaten zu bewirken, um den Druck in der Entnahmeleitung auf einen vordefinierten oberen Druck-Grenzwert einzustellen, und/oder um eine Druckerhöhung in der Entnahmeleitung um einen vordefinierten Druckdifferenzbetrag zu bewirken. Der Energiepuls kann somit auch in Abhängigkeit von dem zu bewirkenden Druck in der Entnahmeleitung und/oder in Abhängigkeit von der zu bewirkenden Druckerhöhung angepasst werden. So können die Güte der Einstellung des Drucks in der Entnahmeleitung und somit die Zuverlässigkeit der Überprüfung der Dichtigkeit des Druckbehälter-Ventils weiter erhöht werden.

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, den Energiepuls in Abhängigkeit von vordefinierten Kenndaten für das Druckbehältersystem zu bewirken. Die Kenndaten können dabei auf einer Speichereinheit des Druckbehältersystems gespeichert sein. Ferner können die Kenndaten experimentell im Vorfeld ermittelt worden sein.

Die Kenndaten können für eine Vielzahl von unterschiedlichen möglichen Zustandsdaten (d.h. für eine Vielzahl von unterschiedlichen möglichen Zuständen des Druckbehältersystems) jeweils Parameterwerte für ein oder mehrere Parameter des Energiepulses anzeigen. Dabei können die Kenndaten ermittelt worden sein, um ausgehend von einem durch Zustandsdaten angezeigten aktuellen Zustand des Druckbehältersystems jeweils eine Druckerhöhung in der Entnahmeleitung um den vordefinierten Druckdifferenzbetrag und/oder auf den vordefinierten oberen Druck-Grenzwert zu bewirken. Durch die Berücksichtigung von im Vorfeld ermittelten Kenndaten für das Druckbehältersystem können die Güte der Einstellung des Drucks in der Entnahmeleitung und somit die

Zuverlässigkeit der Überprüfung der Dichtheit des Druckbehälter-Ventils weiter erhöht werden.

Das Druckbehälter-Ventil kann einen Pilotsitz und einen Hauptsitz aufweisen.

- 5 Dabei kann der Brennstoff-Massenstrom aus dem Druckbehälter kleiner sein (z.B. um den Faktor 2 oder mehr kleiner sein), wenn der Pilotsitz des Druckbehälter-Ventils geöffnet ist, als wenn der Hauptsitz des Druckbehälter-Ventils geöffnet ist. Andererseits kann das Öffnen des Pilotsitzes ggf. einen geringeren Verschleiß des Druckbehälter-Ventils verursachen als das Öffnen des Hauptsitzes.

10

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, das Druckbehälter-Ventil derart intermittierend zu öffnen, dass während der (gesamten) Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus zumindest zeitweise nicht der Hauptsitz oder niemals der Hauptsitz geöffnet wird, und/oder zumindest zeitweise oder

15 ausschließlich nur der Pilotsitz geöffnet wird. So kann in effizienter und zuverlässiger Weise ein intermittierender Betrieb des Druckbehälter-Ventils zur Überprüfung der Dichtheit des Ventils ermöglicht werden.

Das Druckbehältersystem kann ein erstes Druckbehälter-Ventil (z.B. für einen

20 ersten Druckbehälter des Druckbehältersystems) und ein zweites Druckbehälter-Ventil (z.B. für einen zweiten Druckbehälter des Druckbehältersystems) umfassen.

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, während der Ausführung des

25 leistungsreduzierten Betriebsmodus des Energiewandlers und/oder während einer Mehrzahl von aufeinanderfolgenden Ausführungen des leistungsreduzierten Betriebsmodus zumindest zeitweise das erste Druckbehälter-Ventil und zumindest zeitweise das zweite Druckbehälter-Ventil, insbesondere abwechselnd das erste Druckbehälter-Ventil und das zweite Druckbehälter-Ventil, intermittierend zu

30 öffnen. Durch einen abwechselnden Betrieb von unterschiedlichen Druckbehälter-Ventilen kann die Beanspruchung der Druckbehälter-Ventile aufgrund des

intermittierenden Betriebs reduziert werden, was wiederum eine zuverlässige Überprüfung der Dichtheit der Druckbehälter-Ventile ermöglicht.

Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, Massenstrom-Information in Bezug auf
5 den Brennstoff-Massenstrom in den Energiewandler zu ermitteln. Die
Massenstrom-Information kann durch den Energiewandler bereitgestellt werden.
Insbesondere kann der Energiewandler eingangsseitig ein Ventil aufweisen, das
den Eingangsmassenstrom in den Energiewandler einstellt, insbesondere regelt.
Dieses Ventil kann z.B. ein Proportionalventil oder ein oder mehrere Injektoren
10 umfassen. Ein von dem Ventil bereitgestelltes Signal kann dann repräsentativ für
den Eingangsmassenstrom in den Energiewandler sein (und kann somit als
Massenstrom-Information bereitgestellt werden).

Die Vorrichtung kann ferner eingerichtet sein, das intermittierende Öffnen des
15 Druckbehälter-Ventils während der Ausführung des leistungsreduzierten
Betriebsmodus in Abhängigkeit von der Massenstrom-Information zu bewirken.
Dies kann insbesondere derart erfolgen, dass ein durch Öffnen des Druckbehälter-
Ventils bereitgestellter Brennstoff-Massenstrom aus dem Druckbehälter,
zumindest im zeitlichen Mittel, dem Brennstoff-Massenstrom in den
20 Energiewandler entspricht. Mit anderen Worten, das Druckbehälter-Ventil kann
derart gepulst werden, dass der Ausgangsmassenstrom aus dem Druckbehälter
gleich dem Eingangsmassenstrom des Energiewandlers ist. So kann ein besonders
zuverlässiger leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers ermöglicht
werden.

25
Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Druckbehältersystem beschrieben,
insbesondere für ein Kraftfahrzeug. Das Druckbehältersystem umfasst zumindest
einen Druckbehälter mit einem Druckbehälter-Ventil, das ausgebildet ist,
Brennstoff aus dem Druckbehälter in eine Entnahmeleitung zur Versorgung eines
30 Energiewandlers zu leiten. Des Weiteren umfasst das Druckbehältersystem die in

diesem Dokument beschriebene Steuereinheit, die eingerichtet ist, das Druckbehälter-Ventil anzusteuern (für einen intermittierenden Betrieb).

5 Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein (Straßen-) Kraftfahrzeug (insbesondere ein Personenkraftwagen oder ein Lastkraftwagen oder ein Bus) beschrieben, das das in diesem Dokument beschriebene Druckbehältersystem umfasst.

10 Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Betreiben eines Druckbehälter-Ventils eines Druckbehälters beschrieben, wobei das Druckbehälter-Ventil ausgebildet ist, Brennstoff aus dem Druckbehälter in eine Entnahmeleitung zur Versorgung eines Energiewandlers zu leiten.

15 Das Verfahren umfasst das Bestimmen, dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers vorliegt. Dabei kann bei einem leistungsreduzierten Betriebsmodus der Brennstoff-Massenstrom (durch das Druckbehälter-Ventil bzw. durch die Entnahmeleitung) zur Versorgung des Energiewandlers kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter Massenstrom-Schwellenwert sein. Das Verfahren umfasst ferner das Bewirken, dass das Druckbehälter-Ventil während der (gesamten) Ausführung des
20 leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff aus dem Druckbehälter in die Entnahmeleitung zu leiten (und um dabei jeweils einen Brennstoff-Druck in der Entnahmeleitung zu bewirken, der kleiner als der Brennstoff-Druck in dem Druckbehälter ist).

25 Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Software (SW) Programm beschrieben. Das SW Programm kann eingerichtet werden, um auf einem Prozessor (z.B. auf einem Steuergerät eines Fahrzeugs) ausgeführt zu werden, und um dadurch das in diesem Dokument beschriebene Verfahren auszuführen.

30 Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Speichermedium beschrieben. Das Speichermedium kann ein SW Programm umfassen, welches eingerichtet ist, um

auf einem Prozessor ausgeführt zu werden, und um dadurch das in diesem Dokument beschriebene Verfahren auszuführen.

Es ist zu beachten, dass die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren,
5 Vorrichtungen und Systeme sowohl alleine, als auch in Kombination mit anderen
in diesem Dokument beschriebenen Verfahren, Vorrichtungen und Systemen
verwendet werden können. Des Weiteren können jegliche Aspekte der in diesem
Dokument beschriebenen Verfahren, Vorrichtungen und Systemen in vielfältiger
Weise miteinander kombiniert werden. Insbesondere können die Merkmale der
10 Ansprüche in vielfältiger Weise miteinander kombiniert werden.

Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher
beschrieben. Dabei zeigen

Figur 1 ein beispielhaftes Druckbehältersystem mit mehreren Druckbehältern;
15 Figur 2 eine beispielhafte Ventil-Vorrichtung für einen Druckbehälter;
Figur 3 einen beispielhaften zeitlichen Verlauf des Drucks in einer Brennstoff-
Entnahmeleitung des Druckbehältersystems;
Figur 4 beispielhafte Kenndaten zur Ansteuerung eines Druckbehälter-Ventils;
und
20 Figur 5 ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften Verfahrens zum Betrieb eines
Druckbehälter-Ventils.

Wie eingangs dargelegt, befasst sich das vorliegende Dokument mit der
technischen Aufgabe, eine zuverlässige Überprüfung der Dichtheit eines
25 Druckbehälter-Ventils zu ermöglichen, insbesondere bei Betriebsende eines
Energiewandlers, insbesondere einer Brennstoffzelle, eines Fahrzeugs.

In diesem Zusammenhang zeigt Fig. 1 ein beispielhaftes Druckbehältersystem 100
mit einem ersten Druckbehälter 110 und einem zweiten Druckbehälter 120. Die
30 Druckbehälter 110, 120 weisen jeweils Ventil-Vorrichtungen 112, 122 auf, über

die der Zustrom und der Abfluss von Brennstoff 104 zu bzw. aus den Druckbehältern 110, 120 gesteuert werden kann.

Das in Fig. 1 dargestellte Druckbehältersystem 100 umfasst Zuleitungen 111, 121, die ausgebildet sind, Brennstoff 104 von einem Betankungszugang 101 zu den Druckbehältern 110, 120 zu führen. Eine erste Zuleitung 111 wird zu einem Eingang der ersten Ventil-Vorrichtung 112 des ersten Druckbehälters 110 geführt. In entsprechender Weise wird eine zweite Zuleitung 121 zu einem Eingang der zweiten Ventil-Vorrichtung 122 des zweiten Druckbehälters 120 geführt. So können die beiden Druckbehälter 110, 120 aus einem Betankungszugang 101 heraus betankt werden.

Das Druckbehältersystem 100 umfasst ferner eine erste Entnahmeleitung 113, die mit einem Ausgang der ersten Ventil-Vorrichtung 112 verbunden ist, sowie eine zweite Entnahmeleitung 123, die mit einem Ausgang der zweiten Ventil-Vorrichtung 122 verbunden ist. Über die Entnahmeleitungen 113, 123 kann Brennstoff 104 aus den Druckbehältern 110, 120 zu einem Druckwandler 102 geführt werden. Typischerweise ist der Druck in den Druckbehältern 110, 120 höher als der Betriebsdruck eines Energiewandlers 103 (z.B. einer Brennstoffzelle oder eines Brennstoffzellenstapels). Der Betriebsdruck eines Energiewandlers 103 kann z.B. im Bereich von 10-20 bar liegen. Der Druck in einem Druckbehälter 110, 120 kann beispielsweise um den Faktor 2, 5, 10, 20 oder mehr höher sein als der Betriebsdruck eines Energiewandlers 103. Der Druckwandler 102 (insbesondere ein Druckregler) kann eingerichtet sein, den Druck des Brennstoffs 104 aus den Druckbehältern 110, 120 in den erforderlichen Betriebsdruck des Energiewandlers 103 zu wandeln.

Fig. 2 zeigt eine beispielhafte Ventil-Vorrichtung 112, 122 für einen Druckbehälter 110, 120. Die Ventil-Vorrichtung 112, 122 umfasst eine Zufluss-Schnittstelle 201 zur Ankupplung einer Zuleitung 111, 121, sowie eine Abfluss-Schnittstelle 203 zur Ankupplung einer Entnahmeleitung 113, 123. Der über die

Zufluss-Schnittstelle 201 zugeführte Brennstoff 104 kann in einem Zufluss-Filter 202 gefiltert werden, um eine Verunreinigung des Druckbehälters 110, 120 und/oder eines Dichtsitzes der Ventil-Vorrichtung 112, 122 zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

5

Der die Zufluss-Schnittstelle 201 umfassende Zuflusskanal 221 zum Zuführen von Brennstoff 104 und der die Abfluss-Schnittstelle 203 umfassende Abflusskanal 223 zum Abführen von Brennstoff 104 können an einem Kopplungspunkt 216 miteinander und mit einem gemeinsamen Kanal 222
10 gekoppelt werden. Der gemeinsame Kanal 222 kann den Kopplungspunkt 216 mit dem Innenraum eines Druckbehälters 110, 120 verbinden.

Der gemeinsame Kanal 222 kann ein elektrisch betätigbares Ventil 206 aufweisen. Das elektrisch betätigbare Ventil 206 kann über einen Datenbus mit
15 einer Datenschnittstelle 210 der Ventil-Vorrichtung 112, 122 elektrisch leitend verbunden sein. Über die Datenschnittstelle 210 kann ein Steuersignal empfangen werden, dass anzeigt, ob das elektrisch betätigbare (Druckbehälter-) Ventil 206 geöffnet oder geschlossen werden soll. Das elektrisch betätigbare Ventil 206 kann z.B. ein elektromagnetisches Ventil umfassen. Das Steuersignal kann durch eine
20 Steuereinheit 150 des Druckbehältersystems 100 bereitgestellt werden.

Parallel zu dem elektrisch betätigbaren Ventil 206 kann ein Rückschlagventil 215 angeordnet sein. Das Rückschlagventil 215 kann derart angeordnet sein, dass ein Austreten von Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 vermieden wird,
25 dass jedoch durch Überwindung der Rückstellkraft des Rückschlagventils 215 die Zufuhr von Brennstoff 104 in den Druckbehälter 110, 120 (z.B. bei einem Betankungsvorgang) ermöglicht wird. Des Weiteren kann das elektrisch betätigbare Ventil 206 ggf. durch ein manuelles Ventil 207 überbrückt werden. Das manuelle Ventil 207 kann z.B. durch Wartungspersonal manuell geöffnet
30 werden, um den Druckbehälter 110, 120 zumindest teilweise zu enttanken.

Der Zuflusskanal 221 und der Abflusskanal 223 können somit ab dem
Kopplungspunkt 216 über den gemeinsamen Kanal 222 gemeinsam in den
Innenraum des Druckbehälters 110, 120 verlaufen. Dabei kann der gemeinsame
Kanal 222 über ein weiteres manuelles Ventil 214 geführt werden, das dazu
5 genutzt werden kann, einen Druckbehälter 110, 120 manuell zu schließen oder zu
öffnen. Des Weiteren kann der gemeinsame Kanal 222 über einen weiteren
Abfluss-Filter 212 geführt werden, mit dem der Brennstoff 104 vor der Zufuhr zu
dem Energiewandler 103 gefiltert werden kann.

10 Die Ventil-Vorrichtung 112, 122 kann weiter einen Temperatursensor 213 mit
einer Auswerteeinheit 208 umfassen, die mit der Datenschnittstelle 210 verbunden
ist. So können Sensordaten bezüglich der Temperatur des Druckbehälters 110,
120 und/oder des gespeicherten Brennstoffs 104 bereitgestellt werden. Außerdem
kann die Ventil-Vorrichtung 112, 122 eine Druckentlastungseinheit 209 (z.B. ein
15 Thermal Pressure Release Device, TPRD) umfassen, die ausgebildet ist, den
Druckbehälter 110, 120 bei Erreichen oder Überschreiten eines Temperatur-
Schwellenwertes zu öffnen, um Brennstoff 104 über eine Entlüftungseinheit
(insbesondere eine Öffnung) 211 abzulassen und um dadurch den Druck im
Innenraum des Druckbehälters 110, 120 zu reduzieren.

20 Der Abflusskanal 223 kann zwischen dem Kopplungspunkt 216, an dem der
Abflusskanal 223 und der Zuflusskanal 221 zusammengeführt werden, und der
Abfluss-Schnittstelle 203 eine Flussbegrenzungseinheit 205 aufweisen, die
eingerichtet ist, den rückwärtigen Fluss an Brennstoff 104 von der Abfluss-
25 Schnittstelle 203 zu dem Kopplungspunkt 216 zu begrenzen und ggf. zu
unterbinden. Die Flussbegrenzungseinheit 205 kann ein Rückschlagventil
aufweisen, das eingerichtet ist, einen rückwärtigen Fluss gänzlich zu unterbinden.
Alternativ oder ergänzend kann die Flussbegrenzungseinheit 205 (z.B. parallel zu
dem Rückschlagventil) eine Drossel aufweisen, die eingerichtet ist, den
30 rückwärtigen Fluss auf einen bestimmten Maximalwert (z.B. auf einen
Maximalwert des Massenstroms und/oder des Volumenstroms) zu begrenzen.

In entsprechender Weise kann auch auf dem Zuflusskanal 221 zwischen der Zufluss-Schnittstelle 201 und dem Kopplungspunkt 216 eine Flussbegrenzungseinheit 204 angeordnet werden, die den rückwärtigen Strom von Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 heraus auf einem bestimmten Maximalwert begrenzt (z.B. mittels einer Drossel) und/oder blockiert (z.B. durch ein Rückschlagventil). So können Brennstoffströme für einen Druckausgleich über die Zuleitungen 111, 121 (z.B. zu Beginn eines Betankungsvorgangs) begrenzt werden.

10

Bei einer Betriebspause des Druckbehältersystems 100, insbesondere des Energiewandlers 103, soll häufig sichergestellt werden, dass die Druckbehälter-Ventile 206 der ein oder mehreren Druckbehälter 110, 120 des Druckbehältersystems 100 zuverlässig geschlossen sind, um ein unbeabsichtigtes Austreten von Brennstoff 104 aus den ein oder mehreren Druckbehältern 110, 120 zu verhindern. Zu diesem Zweck kann das Druckbehältersystem 100 in den ein oder mehreren Druckbehältern 110, 120 jeweils einen Druckbehälter-Drucksensor 115, 125 umfassen, der eingerichtet ist, Innendruck-Sensordaten in Bezug auf den Innendruck des jeweiligen Druckbehälters 110, 120 zu erfassen. Des Weiteren kann das Druckbehältersystem 100 in den ein oder mehreren Entnahmeleitungen 113, 123 jeweils einen Leitungs-Drucksensor 116, 126 umfassen, der eingerichtet ist, Leitungs-Sensordaten in Bezug auf den Druck des Brennstoffs 105 in der jeweiligen Entnahmeleitung 113, 123 zu erfassen.

Ggf. kann auf Basis der Leitungs-Sensordaten ein Schätzwert in Bezug auf den Innendruck in einem Druckbehälter 110, 120 ermittelt werden. Insbesondere kann bei einer Situation, bei der das Druckbehälter-Ventil 206 eines Druckbehälters 110, 120 offen ist und bei der kein Massenstrom von Brennstoff in der Entnahmeleitung 113, 123 vorliegt, darauf geschlossen werden, dass der Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120 dem Druck in der Entnahmeleitung 113, 123 entspricht. Dieser Druckwert kann dann als Innendruck des

30

Druckbehälters 110, 120 verwendet werden (ggf. korrigiert um etwaige Änderungen der Temperatur).

Die Steuereinheit 150 des Druckbehältersystems 100 kann eingerichtet sein, auf Basis der Leitungs-Sensordaten für eine Entnahmeleitung 113, 123 und/oder auf Basis der Druckbehälter-Sensordaten des entsprechenden Druckbehälters 110, 120 zu überprüfen, ob das Druckbehälter-Ventil 206 des Druckbehälters 110, 120 eine Undichtigkeit aufweist oder nicht. Insbesondere kann auf Basis des Druckunterschieds (insbesondere auf Basis des zeitlichen Verlaufs des Druckunterschieds) zwischen dem Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 und dem Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120 erkannt werden, ob eine Undichtigkeit vorliegt oder nicht. Beispielsweise kann durch einen zeitlichen Anstieg des Leitungsdrucks in der Entnahmeleitung 113, 123 ein Entweichen von Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 erkannt werden.

Bei einem dauerhaften Öffnen des Druckbehälter-Ventils 206 eines Druckbehälters 110, 120 steigt der Druck in der Entnahmeleitung 113, 123 aufgrund des relativ kleinen Volumens der Entnahmeleitung 113, 123 typischerweise relativ schnell an. Dies führt dazu, dass der Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 meist dem Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120 entspricht, und dass somit die Dichtheit des Druckbehälter-Ventils 206 nicht auf Basis des Druckunterschieds zwischen dem Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 und dem Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120 erkannt werden kann.

Das Druckbehältersystem 100, insbesondere der Energiewandler 103, kann ein oder mehrere Betriebsmodi aufweisen, bei denen nur ein relativ geringer Volumenstrom an Brennstoff 104 aus den ein oder mehreren Druckbehältern 110, 120 benötigt wird. Ein derartiger Betriebsmodus wird in diesem Dokument auch als ein leistungsreduzierter Betriebsmodus bezeichnet. Ein beispielhafter Betriebsmodus mit einem reduzierten Brennstoffbedarf ist die

Frostkonditionierung des Energiewandlers 103, bei der Brennstoff 104 durch den Energiewandler 103 geblasen wird, um in Vorbereitung auf eine Deaktivierung des Energiewandlers 103 Wasser aus dem Energiewandler 103 zu treiben.

5 Bei der Frostkonditionierung benötigt der Energiewandler 103 (insbesondere die Brennstoffzelle bzw. der Brennstoffzellenstapel) eine relativ kleine Menge an Brennstoff 104 (insbesondere an H₂), die jedoch typischerweise größer ist, als die Brennstoffmenge, die bereits in den Hochdruck- und/oder Mitteldruck-Leitungen 113, 123 zur Verfügung steht. Es ist somit für die Frostkonditionierung
10 typischerweise erforderlich, Brennstoff 104 aus zumindest einem Druckbehälter 110, 120 an den Energiewandler 103 zu liefern. Zu diesem Zweck können die Druckbehälter-Ventile 206 der ein oder mehreren Druckbehälter 110, 120 während der Frostkonditionierung und/oder bis zum Abschluss der Frostkonditionierung offengehalten werden. Dies führt jedoch dazu, dass nach
15 Abschluss der Frostkonditionierung der Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 eines Druckbehälters 110, 120 dem Innendruck des Druckbehälters 110, 120 entspricht, so dass auf Basis der Sensordaten der Drucksensoren 115, 125, 116, 126 nicht zuverlässig erkannt werden kann, ob das Druckbehälter-Ventil 206 dicht ist oder nicht.

20 Die Steuereinheit 150 kann eingerichtet sein, das Druckbehälter-Ventil 206 eines Druckbehälters 110, 120 intermittierend bzw. gepulst zu betreiben, um schwallweise Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 in die Entnahmeleitung 113, 123 zu leiten. Durch einen gepulsten Betrieb kann bewirkt
25 werden, dass der Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 nach Schließen des Druckbehälter-Ventils 206 geringer ist als der Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120. Als Folge daraus kann auf Basis der Leitungs-Sensordaten des Drucksensors 116, 126 an der Entnahmeleitung 113, 123 zuverlässig überprüft werden, ob das Druckbehälter-Ventil 206 dicht ist oder
30 nicht.

Fig. 3 zeigt einen beispielhaften zeitlichen Verlauf 300 des Leitungsdrucks in der Entnahmeleitung 113, 123. Die Steuereinheit 150 kann eingerichtet sein, den Leitungsdruck auf Basis der Leitungs-Sensordaten zu überwachen. Wenn der Leitungsdruck einen unteren Druck-Grenzwert 301 (z.B. 100barü) erreicht oder unterschreitet, kann ein Ansteuer- bzw. ein Energiepuls 310 zur Ansteuerung des Druckbehälter-Ventils 206 (insbesondere des Elektromagneten des Ventils 206) bewirkt werden, um das Druckbehälter-Ventil 206 pulsartig zu öffnen. Die Ansteuerung mit dem Energiepuls 310 erfolgt an einem Puls-Zeitpunkt 311, 312. Der Energiepuls 310 kann, wie in Fig. 3 beispielhaft dargestellt, eine bestimmte Stromstärke aufweisen.

Als Folge der pulsartigen Öffnung des Druckbehälter-Ventils 206 steigt der Leitungsdruck (z.B. bis zu einem oberen Druck-Grenzwert 302, etwa 200barü) an. Im Anschluss daran sinkt der Leitungsdruck aufgrund des Brennstoff-Verbrauchs des Energiewandlers 103 wieder ab, und es kann bei Erreichen des unteren Druck-Grenzwertes 301 wiederum ein Energiepuls 310 bewirkt werden, um Brennstoff 104 in die Entnahmeleitung 113, 123 zu leiten, und um damit den Leitungsdruck wieder zu erhöhen.

Das Druckbehälter-Ventil 206 kann somit derart pulsartig betrieben werden, dass der Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 zu jedem Zeitpunkt zwischen einem unteren Druck-Grenzwert 301 und einem oberen Druck-Grenzwert 302 liegt, wobei der obere Druck-Grenzwert 302 kleiner als der Innendruck in dem Druckbehälter 110, 120 ist. Es kann somit eine Regelung des Leistungsdrucks in der Entnahmeleitung 113, 123 bewirkt werden, wobei ein oder mehrere Parameter des Energiepulses 310 (z.B. die Pulsdauer und/oder die Pulsenergie) Steuergrößen des Regelkreises sind. Durch die Einstellung des Leitungsdrucks auf ein bestimmtes Druckintervall kann sichergestellt werden, dass der Leitungsdruck nach Beendigung des Betriebs des Druckbehälter-Ventils 206 kleiner als der Innendruck des Druckbehälters 110, 120 ist, so dass die Dichtheit des Druckbehälter-Ventils 206 zuverlässig überprüft bzw. überwacht werden kann.

Wie bereits weiter oben dargelegt, ist das Volumen der Entnahmeleitung 113, 123 typischerweise relativ klein, so dass auch ein relativ kurzer Öffnungspuls des Druckbehälter-Ventils 206 zu einem signifikanten Anstieg des Leitungsdrucks in der Entnahmeleitung 113, 123 führen kann. Als Folge daraus ist es ggf. nicht möglich, den Energiepuls 310 (ggf. allein) in Abhängigkeit von den Leitungs-Sensordaten anzupassen, um den Leitungsdruck auf den oberen Druck-Grenzwert 302 zu begrenzen. Insbesondere kann typischerweise keine Regelung des Leitungsdrucks (allein) auf Basis der Leitungs-Sensordaten erfolgen.

10

Fig. 4 zeigt beispielhafte Kenndaten 400, insbesondere eine Kennlinie, die dazu verwendet werden können, den Energiepuls 310 zur Ansteuerung des Druckbehälter-Ventils 206 an die jeweilige Situation anzupassen, um zu bewirken, dass der Leitungsdruck auf den oberen Druck-Grenzwert 302 begrenzt ist. Die Kenndaten 400 können im Vorfeld experimentell ermittelt und auf einer Speichereinheit (nicht dargestellt) des Druckbehältersystems 100, insbesondere der Steuereinheit 150, gespeichert werden.

Die Kenndaten 400 können Parameter 402 des Energiepulses 310 zur Ansteuerung des Druckbehälter-Ventils 206, insbesondere Parameter 402 in Bezug auf die Energie des Energiepulses 310, als Funktion von Zustandsdaten 401 in Bezug auf den Zustand des Druckbehältersystems 100 anzeigen.

Beispielhafte Parameter 402 sind dabei

- 25
- die Stromstärke des Energiepulses 310;
 - die Spannung des Energiepulses 310;
 - die zeitliche Dauer des Energiepulses 310;
 - die elektrische Leistung des Energiepulses 310; und/oder
 - die kumulierte elektrische Energie des Energiepulses 310.

30

Beispielhafte Zustandsdaten 401 sind

- der (aktuelle) Innendruck des Druckbehälters 110, 120;
 - die Temperatur des Brennstoffs 104 in dem Druckbehälter 110, 120;
 - der (aktuelle) Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 110, 120; und/oder
 - die (aktuelle) Druckdifferenz zwischen dem Innendruck und dem
- 5 Leitungsdruck.

Die Kenndaten 400 können derart ermittelt werden, dass ausgehend von dem aktuellen Zustand des Druckbehältersystems 100 durch den gemäß den ermittelten Parametern 402 generierten Energiepuls 310 ein bestimmter, vordefinierter

10 Druckanstieg in der Entnahmeleitung 113, 123 bewirkt wird, z.B. ein Druckanstieg von dem unteren Druck-Grenzwert 301 auf den oberen Druck-Grenzwert 302.

Die Steuereinheit 150 kann eingerichtet sein, an einem Puls-Zeitpunkt 311, 312

15 Zustandsdaten 401 in Bezug auf den aktuellen Zustand des Druckbehältersystems 100 zu ermitteln. Auf Basis der Kenndaten 400 können dann Parameter 402 für den zu bewirkenden Energiepuls 310 ermittelt werden. Der Energiepuls 310 kann dann gemäß den ermittelten Parametern 402 generiert werden, z.B. um zu bewirken, dass das Druckbehälter-Ventil 206 derart weit und/oder lang geöffnet

20 wird, dass der Leitungsdruck in der Entnahmeleitung 113, 123 (nach Möglichkeit genau) auf den oberen Druck-Grenzwert 302 erhöht wird.

Mit anderen Worten, das Druckbehälter-Ventil 206 eines Druckbehälters 110, 120 kann derart betrieben werden, dass das Druckbehälter-Ventil 206 nur zeitweise

25 bzw. gepulst geöffnet wird. Beispielsweise kann für eine relativ kurze Zeit von z.B. 20ms das Druckbehälter-Ventil 206 bestromt werden, und danach kann die Bestromung unterbrochen werden. Innerhalb des Bestromungs-Zeitintervalls öffnet der Ventilsitz kurzzeitig und es strömt ein Schwall von Brennstoff 104 in die Leitung 113, 123. Der Druck in der Hochdruckleitung 113, 123 steigt an, wird

30 dabei aber nicht so groß wie der Innendruck im Druckbehälter 110, 120.

Durch diese Betriebsweise kann der Druck in der Hochdruckleitung 113, 123 innerhalb eines Druckfensters zwischen einem unteren Druck-Grenzwert 301 (z.B. 100bar) und einem oberen Druck-Grenzwert 302 (z.B. 200bar) eingestellt, insbesondere geregelt, werden. Dadurch ist es zu jedem Zeitpunkt möglich, die

5 Schließdiagnose des Druckbehälter-Ventils 206 durchzuführen. Ein weiterer Vorteil durch den reduzierten Druck in der Hochdruckleitung 113, 123 ist, dass sich darin auch weniger Brennstoff-Masse befindet, so dass in einem Fehlerfall während des Frostkonditionierungsvorgangs mit anschließender Leckage weniger Brennstoff 104 in die Umgebung freigesetzt wird.

10

Der gepulste Betrieb des Druckbehälter-Ventils 206 erlaubt die Bereitstellung von relativ kleinen Brennstoff-Massenströmen, wie dies z.B. während der Frostkonditionierung gegeben ist. Die in diesem Dokument beschriebenen Maßnahmen sind aber generell für Betriebsmodi des Druckbehältersystems 100

15 anwenderbar, die einen (gegenüber dem Normalbetrieb) reduzierten Brennstoff-Massenstrom aufweisen.

Wie bereits oben dargelegt, ist der in die Leitung 113, 123 strömende Schwall abhängig von dem Innendruck im Druckbehälter 110, 120 und dem Leitungsdruck

20 in der Leitung 113, 123. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die für unterschiedliche Öffnungszeitdauern des Druckbehälter-Ventils 206 und/oder für unterschiedliche Innendrucke des Druckbehälters 110, 120 bewirkten Druckerhöhungen in der Entnahmeleitung 113, 123.

Innendruck	Öffnungszeit	Druckerhöhung
700bar	50ms	158bar
700bar	30ms	70bar
700bar	20ms	12bar
700bar	10ms	0bar
500bar	50ms	340bar

500bar	30ms	330bar
500bar	20ms	30bar
500bar	10ms	0bar

Tabelle 1

Es zeigt sich aus Tabelle 1, dass bei niedrigerem Innendruck und gleich langem Puls die Schwallmenge an Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 größer ist. Das liegt daran, dass der Magnet des Druckbehälter-Ventils 206 das Druckbehälter-Ventil 206 gegen den Innendruck des Druckbehälters 110, 120 öffnen muss. Bei einem kleineren Innendruck reicht bereits eine kleinere Magnetkraft aus, um die Gegenkraft durch den Innendruck zu überwinden. Mit anderen Worten, das Ventil 206 ist bei einem Innendruck von 500bar länger offen als bei einem Innendruck von 700bar. Aus Tabelle 1 zeigt sich auch, dass bei einer Pulsdauer von 10ms durch die Trägheit des Ventils 206 keine Öffnung des Ventils 206 erfolgt.

Auf Basis derartiger Messungen kann ein Kennfeld 400 für die durch einen Energiepuls 310 bewirkte Druckerhöhung in Abhängigkeit von dem Innendruck des Druckbehälters 110, 120 und/oder dem Leitungsdruck der Entnahmeleitung 113, 123 erstellt werden. Dieses Kennfeld 400 kann in dem Steuergerät 150 des Druckbehältersystems 100 hinterlegt und für die Regelung des Leitungsdrucks, z.B. im Bereich zwischen dem unteren Druck-Grenzwert 301 und dem oberen Druck-Grenzwert 302, verwendet werden.

Um die Anzahl der Öffnungszyklen eines Druckbehälter-Ventils 206 zu reduzieren, können bei einem Druckbehältersystem 100 mit mehreren Druckbehältern 110, 120 abwechselnd das Druckbehälter-Ventil 206 des ersten Druckbehälters 110 und das Druckbehälter-Ventil 206 des zweiten Druckbehälters 120 geöffnet werden. Alternativ können abwechselnd bei unterschiedlichen Betriebsvorgängen (z.B. bei unterschiedlichen Frostkonditionierungsvorgängen)

das Druckbehälter-Ventil 206 des ersten Druckbehälters 110 und das Druckbehälter-Ventil 206 des zweiten Druckbehälters 120 verwendet werden.

Das Druckbehälter-Ventil 206 kann mehrstufig ausgebildet sein. Insbesondere kann das Druckbehälter-Ventil 206 einen Pilotsitz (mit einer relativ kleinen Querschnittsfläche) und einen Hauptsitz (mit einer relativ großen Querschnittsfläche) aufweisen. Das Druckbehälter-Ventil 206 kann derart angesteuert werden (z.B. durch Verwendung einer relativ niedrigen Stromhöhe), dass infolge des Energiepulses 310 nur der Pilotsitz aber nicht der Hauptsitz geöffnet wird. Das Druckbehälter-Ventil 206 kann dabei derart ausgebildet sein, dass durch das ausschließliche Öffnen des Pilotsitzes ein reduzierter (oder gar kein) Verschleiß des Druckbehälter-Ventils 206 bewirkt wird. Insbesondere kann das Druckbehälter-Ventil 206 in Bezug auf den Pilotsitz als Dauerfest ausgelegt sein, so dass die Anzahl von Öffnungs-/Schließzyklen nicht begrenzt ist. So kann ein besonders zuverlässiger Betrieb des Druckbehälter-Ventils 206 ermöglicht werden. Ferner kann aufgrund des relativ geringen Massenstroms durch das Druckbehälter-Ventil 206 bei ausschließlichem Öffnen des Pilotsitzes das Fenster zwischen dem unteren Druck-Grenzwert 301 und dem oberen Druck-Grenzwert 302 relativ klein gehalten werden.

Fig. 5 zeigt ein Ablaufdiagramm eines (ggf. Computer-implementierten) Verfahrens 500 zum Betreiben eines Druckbehälter-Ventils 206 eines Druckbehälters 110, 120. Dabei ist das Druckbehälter-Ventil 206 ausgebildet, Brennstoff 104 (insbesondere H_2) aus dem Druckbehälter 110, 120 in eine Entnahmeleitung 113, 123 zur Versorgung eines Energiewandlers 103 (insbesondere einer Brennstoffzelle) zu leiten.

Das Verfahren 500 umfasst das Bestimmen 501, dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers 103 vorliegt. Dabei kann ein leistungsreduzierter Betriebsmodus vorliegen, wenn der Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers 103 (ggf. an jedem Zeitpunkt während der

Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus) kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter Massenstrom-Schwellenwert ist. Das Druckbehältersystem 100 kann z.B. für einen Nenn-Massenstrom ausgelegt sein (wenn das Druckbehälter-Ventil 206 dauerhaft geöffnet bleibt). Der Massenstrom-Schwellenwert kann z.B. bei 50% oder weniger, oder bei 30% oder weniger, oder bei 10% oder weniger des Nenn-Massenstroms liegen. Ein beispielhafter leistungsreduzierter Betriebsmodus ist die Frostkonditionierung des Energiewandlers 103.

Das Verfahren 500 umfasst ferner das Bewirken 502, dass das Druckbehälter-Ventil 206 während der (gesamten) Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend (d.h. pulsweise) geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff 104 aus dem Druckbehälter 110, 120 in die Entnahmeleitung 113, 123 zu leiten. Das intermittierende Öffnen des Druckbehälter-Ventils 206 kann dabei derart erfolgen, dass der Brennstoff-Druck in der Entnahmeleitung 113, 123 stets um zumindest einen vordefinierten Offsetwert (von z.B. 10% oder mehr) unterhalb des Brennstoff-Drucks in dem Druckbehälter 110, 120 liegt. Durch den intermittierenden Betrieb des Druckbehälter-Ventils 206 kann so eine zuverlässige Überprüfung der Dichtheit des Druckbehälter-Ventils 206 während und/oder nach Beendigung des leistungsreduzierten Betriebsmodus ermöglicht werden (auf Basis der zeitlichen Entwicklung des Brennstoff-Drucks in der Entnahmeleitung 113, 123).

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere ist zu beachten, dass die Beschreibung und die Figuren nur das Prinzip der vorgeschlagenen Verfahren, Vorrichtungen und Systeme veranschaulichen sollen.

Bezugszeichenliste

	100	Druckbehältersystem
	101	Betankungszugang
5	102	Druckwandler
	103	Energiewandler
	104	Brennstoff
	110, 120	Druckbehälter
	111, 121	Zuleitung
10	112, 122	Ventil-Vorrichtung
	113, 123	Entnahmeleitung
	115, 125	Drucksensor (Druckbehälter)
	116, 126	Drucksensor (Entnahmeleitung)
	150	Steuereinheit
15	201	Zufluss-Schnittstelle
	202	Zufluss-Filter
	203	Abfluss-Schnittstelle
	204, 205	Flussbegrenzungseinheit
	206	elektrisch betätigbares Ventil
20	207	manuelles Ventil (parallel zu dem elektrisch betätigbaren Ventil)
	208	Auswerteeinheit
	209	Druckentlastungseinheit
	210	Datenschnittstelle
	211	Entlüftungseinheit
25	212	Abfluss-Filter
	213	Temperatursensor
	214	manuelles Ventil (in Serie zu dem elektrisch betätigbaren Ventil)
	215	Rückschlagventil (parallel zu dem elektrisch betätigbaren Ventil)
	216	Kopplungspunkt
30	221	Zuflusskanal
	222	gemeinsamer Kanal

	223	Abflusskanal
	301, 302	Druck-Grenzwert
	300	zeitlicher Druckverlauf
	310	Energiepuls (zur Ansteuerung eines Druckbehälter-Ventils)
5	311, 312	Puls-Zeitpunkte
	400	Kenndaten (insbesondere Kennlinie)
	401	Zustandsdaten
	402	Parameter eines Energiepulses
	500	Verfahren zum Betrieb eines Druckbehälter-Ventils
10	501, 502	Verfahrensschritte

Patentansprüche

- 1) Steuereinheit (150) für ein Druckbehältersystem (100), das zumindest einen Druckbehälter (110, 120) mit einem Druckbehälter-Ventil (206) umfasst, das ausgebildet ist, Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in eine Entnahmeleitung (113, 123) zur Versorgung eines Energiewandlers (103) zu leiten; wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,
- zu bestimmen, dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers (103) vorliegt; wobei bei einem leistungsreduzierten Betriebsmodus ein Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers (103) kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter Massenstrom-Schwellenwert ist; und
 - zu veranlassen, dass das Druckbehälter-Ventil (206) während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in die Entnahmeleitung (113, 123) zu leiten.
- 2) Steuereinheit (150) gemäß Anspruch 1, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,
- einen Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) zu ermitteln; und
 - das Druckbehälter-Ventil (206) in Abhängigkeit von dem Druck in der Entnahmeleitung intermittierend zu öffnen.
- 3) Steuereinheit (150) gemäß Anspruch 2, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,
- zu detektieren, dass der Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) einen unteren Druck-Grenzwert (301) erreicht oder unterschreitet; und
 - in Reaktion darauf einen Energiepuls (310) zu bewirken, um das Druckbehälter-Ventil (206) intermittierend zu öffnen.

- 4) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,
- Zustandsdaten (401) in Bezug auf einen aktuellen Zustand des Druckbehältersystems (100) zu ermitteln; und
- 5
- einen von den Zustandsdaten (401) abhängigen Energiepuls (310) zu bewirken, um das Druckbehälter-Ventil (206) intermittierend zu öffnen.
- 5) Steuereinheit (150) gemäß Anspruch 4, wobei die Zustandsdaten (401)
- 10
- umfassen,
- Information in Bezug auf einen aktuellen Druck in der Entnahmeleitung (113, 123); und/oder
 - Information in Bezug auf einen aktuellen Druck in dem Druckbehälter (110, 120); und/oder
- 15
- Information in Bezug auf eine Temperatur des Brennstoffs (104).
- 6) Steuereinheit (150) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 5, wobei
- die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, ein oder mehrere Parameter (402) des Energiepulses (310) in Abhängigkeit von den Zustandsdaten (401) einzustellen; und
- 20
- die ein oder mehreren Parameter (402) umfassen,
 - eine Stromstärke eines zum Öffnen des Druckbehälter-Ventils (206) bewirkten Stroms;
 - eine Spannung einer zum Öffnen des Druckbehälter-Ventils (206) bewirkten Spannung;
- 25
- eine Zeitdauer des Energiepulses (310); und/oder
 - eine elektrische Leistung und/oder eine elektrische Energie des Energiepulses (310).

- 7) Steuereinheit (150) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, den Energiepuls (310) in Abhängigkeit von den Zustandsdaten (401) zu bewirken, um
- einen Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) auf einen vordefinierten oberen Druck-Grenzwert (302) einzustellen; und/oder
 - eine Druckerhöhung in der Entnahmeleitung (113, 123) um einen vordefinierten Druckdifferenzbetrag zu bewirken.
- 8) Steuereinheit (150) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei
- die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, den Energiepuls (310) in Abhängigkeit von vordefinierten Kenndaten (400) für das Druckbehältersystem (100) zu bewirken; und
 - die Kenndaten (400) für eine Vielzahl von unterschiedlichen möglichen Zustandsdaten (401) jeweils Parameterwerte für ein oder mehrere Parameter (402) des Energiepulses (400) anzuzeigen.
- 9) Steuereinheit (150) gemäß Anspruch 8, wobei
- die Kenndaten (400) experimentell im Vorfeld ermittelt wurden; und/oder
 - die Kenndaten (400) ermittelt wurden, um ausgehend von einem durch Zustandsdaten (401) angezeigten aktuellen Zustand des Druckbehältersystems (100) jeweils eine Druckerhöhung in der Entnahmeleitung (113, 123) um einen vordefinierten Druckdifferenzbetrag und/oder auf einen vordefinierten oberen Druck-Grenzwert (302) zu bewirken.
- 10) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, das Druckbehälter-Ventil (206) derart intermittierend zu öffnen, dass
- ein Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) einen vordefinierten oberen Druck-Grenzwert (302) nicht überschreitet; wobei der obere

Druck-Grenzwert (302) kleiner als ein Innendruck in dem Druckbehälter (110, 120) ist; und/oder

- der Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) stets um mindestens einen vordefinierten Offsetwert kleiner als der Innendruck in dem Druckbehälter (110, 120) ist.

5

11) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- das Druckbehälter-Ventil (206) einen Pilotsitz und einen Hauptsitz aufweist;
- der Brennstoff-Massenstrom aus dem Druckbehälter (110, 120) kleiner ist, wenn der Pilotsitz des Druckbehälter-Ventils (206) geöffnet ist, als wenn der Hauptsitz des Druckbehälter-Ventils (206) geöffnet ist;
- das Öffnen des Pilotsitzes einen geringeren Verschleiß des Druckbehälter-Ventils (206) verursacht als das Öffnen des Hauptsitzes; und
- die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, das Druckbehälter-Ventil (206) derart intermittierend zu öffnen, dass während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus
 - zumindest zeitweise nicht der Hauptsitz oder niemals der Hauptsitz geöffnet wird; und/oder
 - zumindest zeitweise oder ausschließlich nur der Pilotsitz geöffnet wird.

10

15

20

12) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- das Druckbehältersystem (100) ein erstes Druckbehälter-Ventil (206) und ein zweites Druckbehälter-Ventil (206) umfasst; und
- die Steuereinheit (150) eingerichtet ist, während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus des Energiewandlers (103) und/oder während einer Mehrzahl von aufeinanderfolgenden Ausführungen des leistungsreduzierten Betriebsmodus zumindest zeitweise das erste Druckbehälter-Ventil (206) und zumindest

25

30

zeitweise das zweite Druckbehälter-Ventil (206) intermittierend zu öffnen.

5 13) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,

- nach Beendigung des leistungsreduzierten Betriebsmodus Leitungs-Sensordaten in Bezug auf einen Druck in der Entnahmeleitung (113, 123) zu ermitteln; wobei das Druckbehälter-Ventil (206) nach Beendigung des leistungsreduzierten Betriebsmodus geschlossen ist;
- 10 und

- auf Basis der Leitungs-Sensordaten zu bestimmen, ob das Druckbehälter-Ventil (206) dicht ist oder nicht.

15 14) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,

- zu bestimmen, dass ein Leistungs-Betriebsmodus vorliegt; wobei bei einem Leistungs-Betriebsmodus der Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers (103) größer als der vordefinierte Massenstrom-Schwellenwert ist; und

20 – zu veranlassen, dass das Druckbehälter-Ventil (206) während der Ausführung des Leistungs-Betriebsmodus dauerhaft geöffnet bleibt, um Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in die Entnahmeleitung (113, 123) zu leiten.

25 15) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- der Brennstoff (104) Wasserstoff umfasst;
- der Energiewandler (103) eine Brennstoffzelle umfasst; und
- der leistungsreduzierte Betriebsmodus eine Frostkonditionierung der Brennstoffzelle umfasst.

16) Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (150) eingerichtet ist,

- Massenstrom-Information in Bezug auf einen Brennstoff-Massenstrom in den Energiewandler (103) zu ermitteln; und
- 5 – das intermittierende Öffnen des Druckbehälter-Ventils (206) während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus in Abhängigkeit von der Massenstrom-Information zu bewirken, insbesondere derart, dass ein durch Öffnen des Druckbehälter-Ventils (206) bereitgestellter Brennstoff-Massenstrom aus dem Druckbehälter
10 (110, 120), zumindest im zeitlichen Mittel, dem Brennstoff-Massenstrom in den Energiewandler (103) entspricht.

17) Druckbehältersystem (100), das umfasst,

- zumindest einen Druckbehälter (110, 120) mit einem Druckbehälter-
15 Ventil (206), das ausgebildet ist, Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in eine Entnahmeleitung (113, 123) zur Versorgung eines Energiewandlers (103) zu leiten; und
- eine Steuereinheit (150) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, die eingerichtet ist, das Druckbehälter-Ventil (206) anzusteuern.

20

18) Verfahren (500) zum Betreiben eines Druckbehälter-Ventils (206) eines Druckbehälters (110, 120); wobei das Druckbehälter-Ventil (206) ausgebildet ist, Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in eine Entnahmeleitung (113, 123) zur Versorgung eines Energiewandlers (103) zu
25 leiten; wobei das Verfahren (500) umfasst,

- Bestimmen (501), dass ein leistungsreduzierter Betriebsmodus des Energiewandlers (103) vorliegt; wobei bei einem leistungsreduzierten Betriebsmodus ein Brennstoff-Massenstrom zur Versorgung des Energiewandlers (103) kleiner als oder gleich wie ein vordefinierter
30 Massenstrom-Schwellenwert ist; und

- Bewirken (502), dass das Druckbehälter-Ventil (206) während der Ausführung des leistungsreduzierten Betriebsmodus intermittierend geöffnet wird, um jeweils einen Schwall von Brennstoff (104) aus dem Druckbehälter (110, 120) in die Entnahmeleitung (113, 123) zu leiten.

Zeichnungen

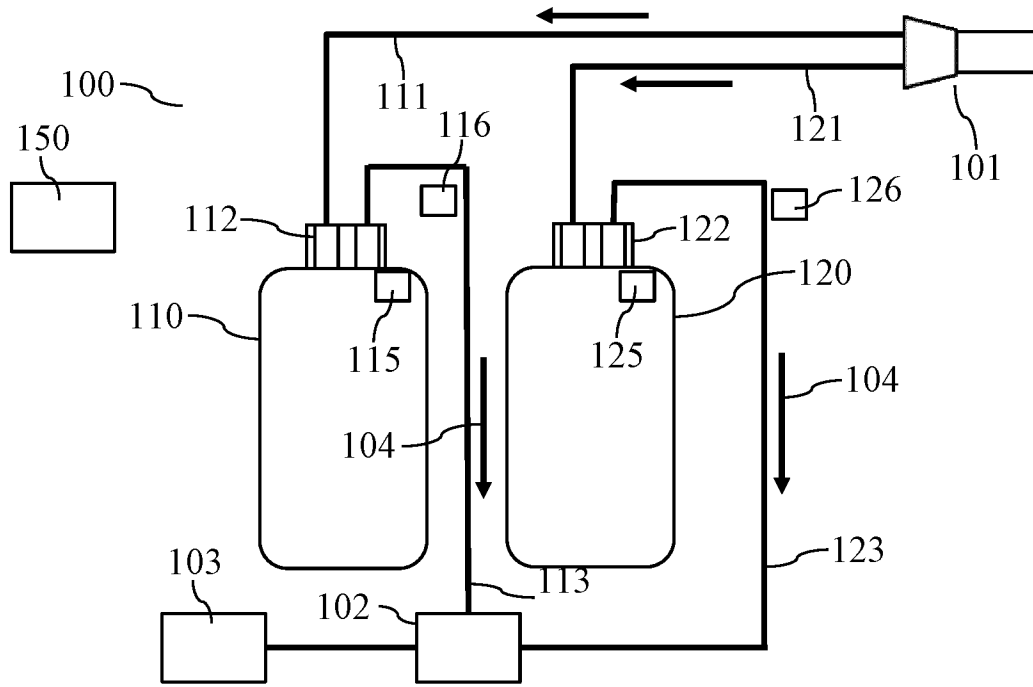


Fig. 1

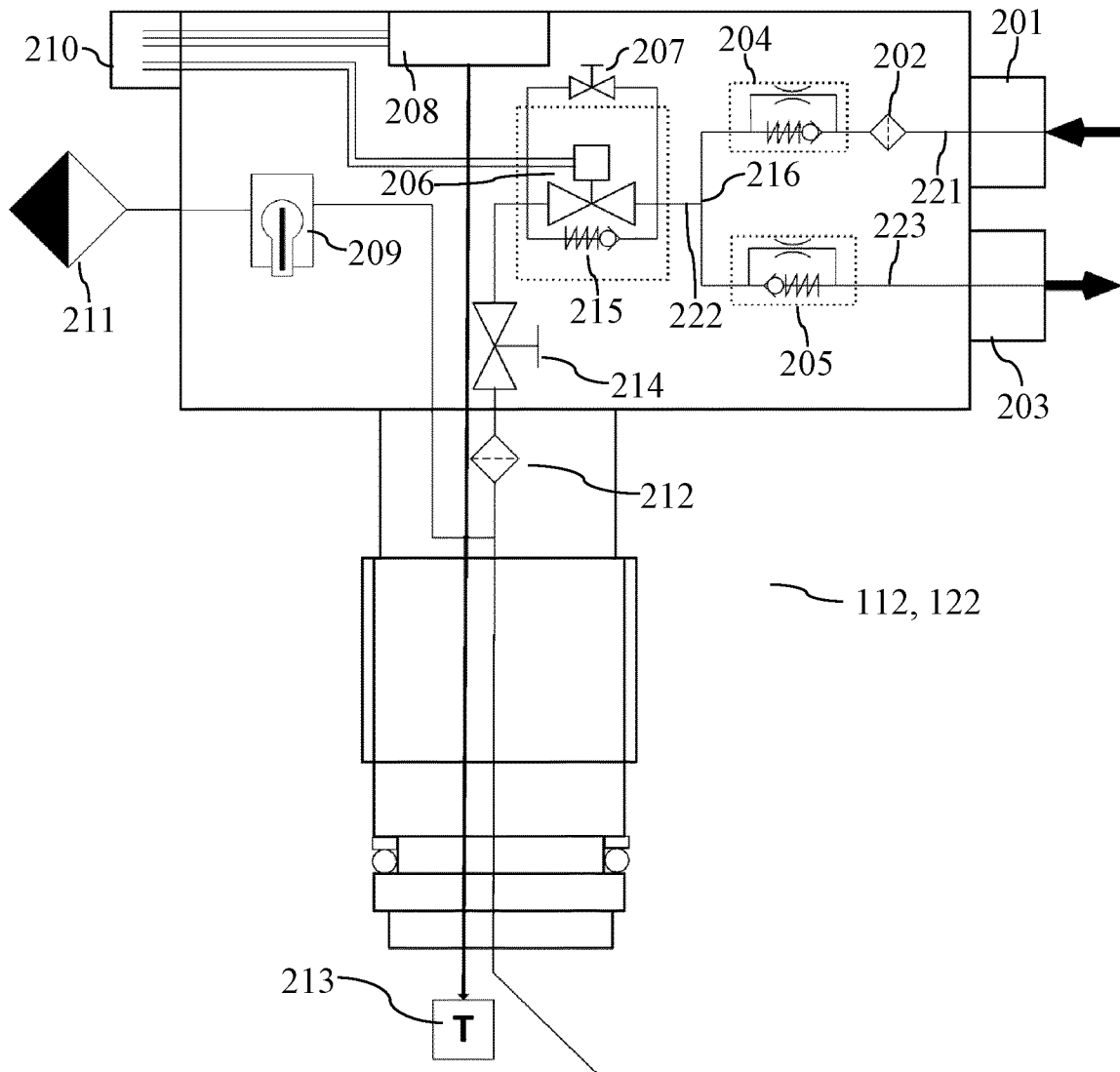


Fig. 2

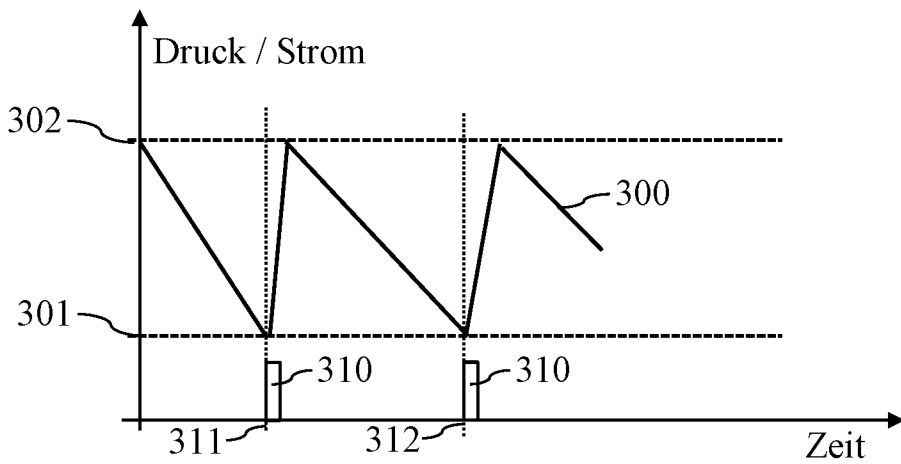
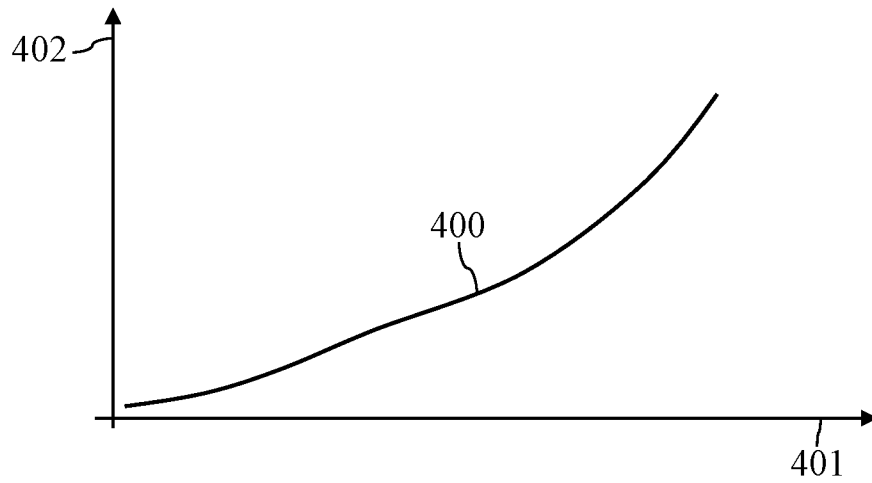
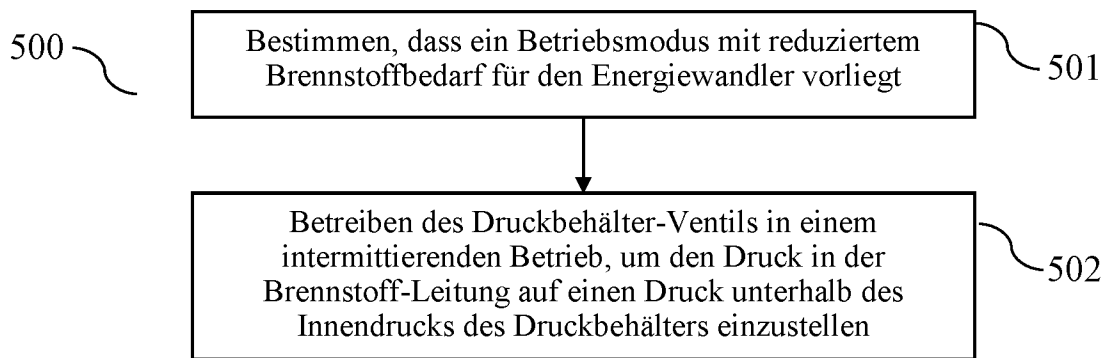


Fig. 3

**Fig. 4****Fig. 5**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/060171

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F17C 13/04</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F17C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2009014089 A1 (TAKESHITA MASAHIRO [JP] ET AL) 15 January 2009 (2009-01-15) paragraphs [0034], [0049], [0051]; figures 1,2	1-14,16-18 15
A	US 8945787 B2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 03 February 2015 (2015-02-03) column 1, line 57 - column 2, line 31 column 6, lines 15-49; figures 1,6	1
A	US 2019178448 A1 (PELGER ANDREAS [DE] ET AL) 13 June 2019 (2019-06-13) paragraphs [0010], [0011], [0015]; figure 1	11
A	EP 2828569 A2 (AUDI AG [DE]) 28 January 2015 (2015-01-28) paragraph [0014]; figure 1	12
X	US 2007154751 A1 (KATANO KOJI [JP]) 05 July 2007 (2007-07-05) abstract; figures 1,2	1,15
A	US 2006246177 A1 (MIKI YOSHIYUKI [JP] ET AL) 02 November 2006 (2006-11-02) paragraphs [0070], [0075]; figures 1,2	13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 25 June 2021		Date of mailing of the international search report 06 July 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Fritzen, Claas Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/060171

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2009014089	A1	15 January 2009	CN	101395423	A	25 March 2009
				DE	112007000513	T5	18 June 2009
				JP	2007242304	A	20 September 2007
				US	2009014089	A1	15 January 2009
				WO	2007102297	A1	13 September 2007
US	8945787	B2	03 February 2015	JP	6004925	B2	12 October 2016
				JP	2013149601	A	01 August 2013
				US	2013164648	A1	27 June 2013
US	2019178448	A1	13 June 2019	CN	109312898	A	05 February 2019
				DE	102016215323	A1	22 February 2018
				US	2019178448	A1	13 June 2019
				WO	2018033295	A1	22 February 2018
EP	2828569	A2	28 January 2015	CN	104204651	A	10 December 2014
				DE	102012005689	B3	22 August 2013
				EP	2828569	A2	28 January 2015
				US	2015047711	A1	19 February 2015
				WO	2013139459	A2	26 September 2013
US	2007154751	A1	05 July 2007	CN	1914760	A	14 February 2007
				DE	112005000324	T5	28 December 2006
				JP	4779301	B2	28 September 2011
				JP	2005228491	A	25 August 2005
				US	2007154751	A1	05 July 2007
				WO	2005076393	A2	18 August 2005
US	2006246177	A1	02 November 2006	EP	1653148	A1	03 May 2006
				JP	4622857	B2	02 February 2011
				JP	WO2005010427	A1	14 September 2006
				KR	20060037393	A	03 May 2006
				US	2006246177	A1	02 November 2006
				WO	2005010427	A1	03 February 2005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F17C13/04 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F17C		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 2009/014089 A1 (TAKESHITA MASAHIRO [JP] ET AL) 15. Januar 2009 (2009-01-15) Absätze [0034], [0049], [0051]; Abbildungen 1,2 -----	1-14, 16-18 15
A	US 8 945 787 B2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 3. Februar 2015 (2015-02-03) Spalte 1, Zeile 57 - Spalte 2, Zeile 31 Spalte 6, Zeilen 15-49; Abbildungen 1,6 -----	1
A	US 2019/178448 A1 (PELGER ANDREAS [DE] ET AL) 13. Juni 2019 (2019-06-13) Absätze [0010], [0011], [0015]; Abbildung 1 -----	11
A	EP 2 828 569 A2 (AUDI AG [DE]) 28. Januar 2015 (2015-01-28) Absatz [0014]; Abbildung 1 -----	12
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
25. Juni 2021		06/07/2021
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Fritzen, Claas

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/154751 A1 (KATANO KOJI [JP]) 5. Juli 2007 (2007-07-05) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 -----	1,15
A	US 2006/246177 A1 (MIKI YOSHIYUKI [JP] ET AL) 2. November 2006 (2006-11-02) Absätze [0070], [0075]; Abbildungen 1,2 -----	13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/060171

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009014089 A1	15-01-2009	CN 101395423 A	25-03-2009
		DE 112007000513 T5	18-06-2009
		JP 2007242304 A	20-09-2007
		US 2009014089 A1	15-01-2009
		WO 2007102297 A1	13-09-2007

US 8945787 B2	03-02-2015	JP 6004925 B2	12-10-2016
		JP 2013149601 A	01-08-2013
		US 2013164648 A1	27-06-2013

US 2019178448 A1	13-06-2019	CN 109312898 A	05-02-2019
		DE 102016215323 A1	22-02-2018
		US 2019178448 A1	13-06-2019
		WO 2018033295 A1	22-02-2018

EP 2828569 A2	28-01-2015	CN 104204651 A	10-12-2014
		DE 102012005689 B3	22-08-2013
		EP 2828569 A2	28-01-2015
		US 2015047711 A1	19-02-2015
		WO 2013139459 A2	26-09-2013

US 2007154751 A1	05-07-2007	CN 1914760 A	14-02-2007
		DE 112005000324 T5	28-12-2006
		JP 4779301 B2	28-09-2011
		JP 2005228491 A	25-08-2005
		US 2007154751 A1	05-07-2007
		WO 2005076393 A2	18-08-2005

US 2006246177 A1	02-11-2006	EP 1653148 A1	03-05-2006
		JP 4622857 B2	02-02-2011
		JP WO2005010427 A1	14-09-2006
		KR 20060037393 A	03-05-2006
		US 2006246177 A1	02-11-2006
		WO 2005010427 A1	03-02-2005
